

Machine Vision을 이용한 기둥형 물체의 3차원 측정

3-Dimensional Measurement of the Prismatic Polyhedral Object using Machine Vision.

조철규(부산대 대학원), 이석희(부산대 공대)

Chul-Kyu Cho(Graduate School, Pusan National Univ.), Seok-Hee Lee(Pusan National Univ.)

ABSTRACT

This paper presents a method to measure the position and orientation of a prismatic polyhedral object (of unknown width, length, height, and number of vertices) using machine vision. The width, length, and origin of workplace where an object is lying are defined as preliminary operation. The edges of an object are detected from captured image using least sum of square error. The information of an object is determined from the geometric relationships between edges. As an user interface, a versatile image processing program is developed in several modules, and renders a very useful 3D measurement at a limited constraints when adopted in automation of production process. The flexibility of camera position from the algorithm developed can be used for automated pick and place operations and feeding workpiece using assembly robot.

Key Words : machine vision (영상인식), 3-Dimensional measurement (3차원 측정), workplace (작업대), prismatic polyhedral object (기둥형 물체), geometric relationship (기하학적 관계)

1. 서론

생산시스템의 자동화에 따라 작업의 적응성 및 유연성을 부여하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 물류자동화는 공장내의 물류의 흐름을 자동제어함으로써 효과적인 생산시스템을 구축할 수 있도록 해주는 것을 말한다. 이를 구현하기 위한 핵심기술로는 물류기계의 제어기술을 들 수 있다. 만일 대상 물체가 정해진 위치에 놓이지 않으면 전체 물류 흐름의 지연이나 부품 및 기계의 손상이 발생하게 될뿐만아니라 정위치에 있지 않은 부품을 운반하기 위하여 사람이 자동기계의 작업영역에 들어가서 작업할 경우 작업자의 사소한 실수나 기계의 오동작으로 인하여 안전사고가 발생할 위험성이 매우 크다. 건동이나 회전장치를 사용하여 물체를 정해진 위치에 놓는 방법도 있지만, 제품 생산여건이 변경될 때마다 다시 설계하는 고충이 따른다. 현재까지는 로보트나 크레인을 이용하여 대상 물체가 정해진 위치에 놓여져 있을 경우에 한하여 수동적인 운반 작업(Pick-and-Place)정도이다. 이처럼 물류 흐름의 제어는 많은 문제점을 지니고 있기 때문에 자동화의 병목현상이 되고 있다. 따라서 시각 센서는 작업 환경에 융통성 있게 대응할 수 있을 뿐만 아니라 지능을 부여할 수 있어 감지능력이 높고 평가되어 로봇이 시각장치를 이용한 지각 능력을 부여함으로써 스스로 작업 환경의 변화에 적응하며 조립작업, 물건 옮기는 작업등 다양하게 응용되어 질 수 있을 것이다.

일반적으로 3차원 측정은 스테레오 비전(Stereo

vision)을 이용하여 왔는데, 이는 계산과정이 매우 복잡하며 대응점(correspondence problem)을 찾는 데 문제가 있어서 경우에 따라서 잘못된 해를 구하거나 전혀 구하지 못할 수도 있다. 그러나 약간의 제약 조건과 물체의 기하학적인 특징을 알고 있으면 단정한 대의 카메라만 사용하여도 간단한 수식으로 3차원 측정이 가능하다.

카메라로 획득한 영상은 2차원인데 반하여 대상물체는 3차원 영역에 존재하기 때문에 한대의 카메라만 사용하여 물체영상의 외곽선(Contour)으로부터 그 물체의 위치를 측정 3차원 위치를 복원하는 것은 매우 어렵다. 단일 영상만을 이용하여 3차원 모양을 복원하는 기법은 1971년 Binford⁽¹⁾에 의해 처음 일반원통(Generalized cylinders)모델이 제안된 후 Shafer⁽²⁾에 의해 더욱 체계화되었다. 1970년대에서 80년대 초기까지는 다면체(Polyhedrons)의 직선 외곽선에서 3차원 위치를 복원하는 연구^(7,8,9,10)가 많이 수행되었으며 1980년대 이후에는 비다면체(Non-polyhedrons)의 곡선 외곽선을 분석하는 기술들이 개발되었다^(3,4,5,6). 그러나 대부분의 연구들이 완전한 3차원 복원을 하지 못하고 있다. 국내에서는 아직 원통형 물체⁽¹¹⁾나 직육면체⁽¹²⁾정도에 대해서 연구하고 있으며 유연성있는 위치측정이나 다양한 다각형 물체의 측정에 대해서 광범위한 연구는 아직 미숙한 편이다.

본 논문에서는 원통형 물체뿐만 아니라 다각형 단면의 기둥형 물체에 대하여 고찰하였다. 그리고 작업장의 위치나 카메라의 움직임에도 유연성을 두고 위치를 측정할 수 있도록 하였다. 기둥형 모양은 실

제 공장에서 흔히 볼수 있고 적용범위가 매우 넓고 대부분 비교적 단순하기 때문에 3차원 복원이 가능하다.

2. 준비작업

카메라는 물체를 평면으로 투영하여 보기 때문에 single vision으로 3차원 물체를 측정한다는 것은 불가능하다. 그러나 제한적 정보(작업대의 크기)만 알고 있으면 기동형 물체의 3차원 측정도 가능하다. 우선 작업대 좌표계의 크기를 인식하기 위하여 작업대의 가로, 세로의 크기를 입력한다. 그리고 작업대의 각 모서리를 찾아서 위치를 파악하고, 각 꼭지점을 연결해서 사각형을 그린다. 각 변을 각각 10등분하여 Fig.2와 같이 연결하면 크기와 모양이 각각 다른 매쉬가 생성된다. 카메라의 위치에 따라 물체를 평면에 투영하기 때문에 왜곡질현상(accumulated)이 생긴다. 따라서 화면상의 각 매쉬는 크기와 모양은 다르지만 실제크기는 같다. 작업대의 원점(origin)은 작업대의 왼쪽, 하단꼭지점으로 정의했다. 이런 식으로 작업대에 물체가 놓이게 되면 상대값을 구하므로 물체의 위치를 측정할 수 있게 된다 그리고 일반적인 vision시스템은 카메라의 각도, 위치가 제약적인데 반하여 이 방법을 이용하면 부득이한 사정으로 카메라를 옮기거나 다른 물체로 교체할 때 카메라의 위치를 고려하거나 프로그램을 수정할 필요없이 다시 작업대 좌표계를 인식하기만 하면 된다

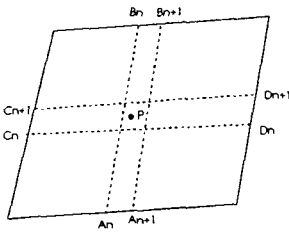


Fig. 1 Work place

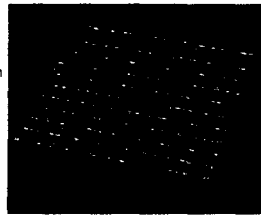


Fig. 2 preliminary operator

작업대 x축 길이 : x_length

작업대 y축 길이 : y_length

각변을 10등분한 점을 각각 A_n, B_n, C_n, D_n

($n=1,2,3 \dots \dots 9$)이라고 하고 측정하고자 하는 점 P는 $A_n B_n$ 과 $A_{n+1} B_{n+1}$ 사이에 있고 $C_n D_n$ 과 $C_{n+1} D_{n+1}$ 사이에 있다고 할 때, 우선 직선 $A_n B_n$ 에 P.x를 대입하여 그때의 testy_n값과 직선 $A_{n+1} B_{n+1}$ 에 P.x를 대입하여 그때의 testy_{n+1}값을 얻는다.

if (P.y \geq testy_n and P.y < testy_{n+1})

P점이 $A_n B_n$ 과 $A_{n+1} B_{n+1}$ 사이에 있다.

A_n 과 A_{n+1} 사이의 거리 D_1

$$D_1 = \sqrt{(A_n.x - A_{n+1}.x)^2 + (A_n.y - A_{n+1}.y)^2} \quad (1)$$

직선 $A_n B_n$ 과 P점 사이의 수직거리를 측정

$$D_2 = \frac{|A_n.x B_n.y + B_n.x P.y + P.x A_n.y|}{2 \times \sqrt{(A_n.x - B_n.x)^2 + (A_n.y - B_n.y)^2}} - \frac{|A_n.y B_n.x + B_n.y P.x + P.y A_n.x|}{2 \times \sqrt{(A_n.x - B_n.x)^2 + (A_n.y - B_n.y)^2}} \quad (2)$$

실제거리를 계산하면

$$D_3 = \frac{X_length}{10} \times n + \frac{D_1}{D_2} \times X_length \quad (3)$$

같은 방법으로 y좌표를 구하면

$$D_1 = \sqrt{(C_n.x - C_{n+1}.x)^2 + (C_n.y - C_{n+1}.y)^2} \quad (4)$$

$$D_2 = \frac{|C_n.x D_n.y + C_n.x P.y + P.x C_n.y|}{2 \times \sqrt{(C_n.x - D_n.x)^2 + (C_n.y - D_n.y)^2}} - \frac{|C_n.y D_n.x + D_n.y P.x + P.y C_n.x|}{2 \times \sqrt{(C_n.x - D_n.x)^2 + (C_n.y - D_n.y)^2}} \quad (5)$$

$$D_3 = \frac{Y_length}{10} \times n + \frac{D_1}{D_2} \times Y_length \quad (6)$$

3. 꼭지점 추출 및 형상인식

물체의 윤곽을 인식하면서 대부분이 직선이다 그러나 잡음, 모니터의 해상도, 화소 단위의 계산(정수 계산), 카메라의 해상도 등에 의해서 보이는 선들은 사실상 직선이 아니다. 물체의 꼭지점을 인식하기 위하여 윤곽선 검지방식으로 물체의 윤곽선을 따라가며 꼭지점을 찾는 방법을 많이 쓰고 있으며 주로 물체의 직선성분을 기준으로 인식하는 것이 편리하다. 따라서 화상에 나타난 윤곽선에서 직선의 성분만을 취하여 최적인 직선으로 추정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 최소자승법(least sum of square method)를 이용하여 직선뿐만 아니라 원의 중심과 반경을 추정한다. 최소자승법은 추정오차가 발생한다. 그렇지만 추정오차에 의한 추정 bias가 생기면 매우 작거나 또는 data point가 증가하면 bias를 0으로 근접할 수 있다.

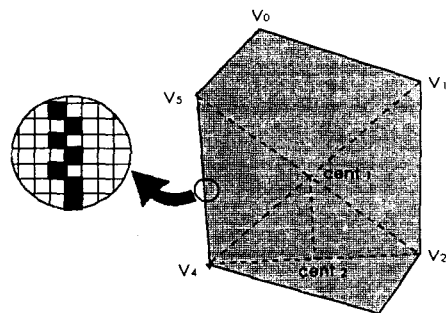


Fig. 3 형상인식

임의의 직선식을 정의하고 추정오차 J를 다음과 같이 정의한다.

$$y_i = Ax_i + B \quad (7)$$

$$J = \sum_1^N (y_i - (Ax_i + B))^2 \quad (8)$$

(8)식을 A와 B에 대하여 미분한 후 $\frac{\partial J}{\partial A} = 0$,

$\frac{\partial J}{\partial B} = 0$ 으로 하여 A, B를 구하면 다음과 같다.

$$A = \frac{(C_1 \times B_2 - C_2 \times B_1)}{(A_1 \times B_2 - A_2 \times B_1)} \quad (9)$$

$$B = \frac{A_1 \times C_2 - A_2 \times C_1}{(A_1 \times B_2 - A_2 \times B_1)} \quad (10)$$

여기서 $A_1 = \sum_{i=1}^N x_i^2$, $B_1 = \sum_{i=1}^N x_i$

$$A_2 = B_1, \quad B_2 = N$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^N x_i y_i, \quad C_2 = \sum_{i=1}^N y_i$$

이다.

직선은 10개의 data 점을 가지며, 물체의 좌측 직선과 우측 직선으로 나누어진다.

생성된 직선들은 10개의 data 점을 가진 직선이므로 같거나 비슷한 직선들이 많다. 이런 직선들을 선별하고 원래의 직선을 찾는 방법은 다음과 같다.

```
if ( ( abs(C_1[k][0]-C_1[k+1][0]) ≥ ε1 ) and
    ( abs(C_1[k][1]-C_1[k+1][1]) ≥ ε2 ) ) {
    line[lcount][0]=C_1[k+1][0];
    line[lcount][1]=C_1[k+1][1];
    lcount++;
}
```

원의 중심 및 반경 추정방법은 일정한 면적 πR^2 과 (x_c, y_c) 에 중심을 둔 원의 면적 사이의 차이를 추정 오차로 한다.

$$R_i^2 = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 \quad (11)$$

따라서 오차의 제곱을 합하면

$$E(R, x_c, y_c) = \sum_{i=1}^N [\pi R^2 - \pi \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\}]^2 \quad (12)$$

또는

$$J = \frac{E}{\pi^2} = \sum_{i=1}^N [R^2 - \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\}]^2 \quad (13)$$

함수 $E(R, x_c, y_c)$ 는 R, x_c, y_c 에 대하여 최소화되야 함으로 (3.18)식을 R에 대하여 미분하면

$$\frac{\partial J}{\partial R} = 2 \sum_{i=1}^N [R^2 - \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\}] \times (2R) = 0 \quad (14)$$

$$\text{또는 } NR^2 = \sum_{i=1}^N \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\} = 0 \quad (15)$$

(13)식을 x_c 에 대하여 미분하면

$$\frac{\partial J}{\partial x_c} = 2 \sum_{i=1}^N [R^2 - \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\}] \times (-2) \times (x_i - x_c) = 0 \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N [R^2 - \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\}] \times (x_c) = 0 \quad (17)$$

(15)식과 (17)식을 이용하여 정리하면

$$R^2 \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\} \times (x_i) \quad (18)$$

이 된다 또한 (13)식을 y_c 에 대하여 미분하면 아래와 같이 식을 얻을 수 있다.

$$R^2 \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N \{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2\} \times (y_i) \quad (19)$$

(14), (18), (19)식을 간단히 표현하면

$$NR^2 = \sum x^2 - 2 \sum x \times x_c + N \times x_c^2 + \sum y^2 - 2 \sum y \times y_c + N y_c^2 \quad (20)$$

$$R^2 \sum x = \sum x^3 - 2 \sum x^2 \times x_c + \sum x \times x_c^2 + \sum x y^2 - 2 \sum x y \times y_c + \sum x \times y_c^2 \quad (21)$$

$$R^2 \sum y = \sum x^2 y - 2 \sum x y \times x_c + \sum y \times x_c^2 + \sum x y^3 - 2 \sum y^2 \times y_c + \sum y \times y_c^2 \quad (22)$$

식(20), (21), (22)로 부터 (20)식에 $\sum x$ 를 곱하고 (21)식에 $-N$ 을 곱하여 더하면 다음과 같이 된다.

$$\sum x^2 \sum x - N \sum x^3 + \sum x \sum y^2 - N \sum x y^2 - 2 x_c \sum x^2 - 2 y_c \sum x \sum y - N \sum x y = 0 \quad (23)$$

(20)식에 $\sum y$ 를 곱하고 (22)식에 $-N$ 을 곱한 후 두 식을 더하면 다음과 같이 된다.

$$\sum x^2 \sum y - N \sum x^2 y + \sum x \sum y^2 - N \sum y^3 - 2 x_c \sum x \sum y - 2 y_c \sum x \sum y = 0 \quad (24)$$

(23), (24)식을 x_c, y_c 에 대하여 행렬 형태로 정리하면

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

이 된다.

$$\text{여기서 } A_1 = 2((\sum x)^2 - N \sum x^2),$$

$$B_1 = 2(\sum x \sum y - N \sum x y)$$

$$A_2 = B_1, \quad B_2 = 2((\sum y)^2 - N \sum y^2)$$

$$C_1 = \sum x^2 \sum x - N \sum x^3 + \sum x \sum y^2 - N \sum x y^2$$

$$C_2 = \sum x^2 \sum y - N \sum x^2 y + \sum y \sum y^2 - N \sum y^3$$

이다.

$$\text{따라서 } x_c = \frac{(C_1 \times B_2 - C_2 \times B_1)}{(A_1 \times B_2 - A_2 \times B_1)} \quad (26)$$

$$y_c = \frac{(A_1 \times C_2 - A_2 \times C_1)}{(A_1 \times B_2 - A_2 \times B_1)} \quad (27)$$

$$R^2 = \frac{\sum x^2 - 2 \sum x \times x_c + N x_c^2}{N} + \frac{\sum y^2 - 2 \sum y \times y_c + N y_c^2}{N} \quad (28)$$

이다. 식(26), (27), (28)은 원의 중심의 좌표를 계산하는데 사용될 수 있으며 그것이 곧 원을 fitting했을 때 최적의 식이 된다 또 식(25)는 항상 해를 갖는다고 할 수는 없다. 예를 들어 단지 두개의 점만 있을 때 그들을 지나는 유일한 원을 구할 수 없으며 식(25)에 있는 행렬은 singular가 된다.

추정된 꼭지점은 물체의 크기, 물체의 orientation,

가려진 꼭지점의 예측 및 물체의 중심을 찾는데 사용되어 진다. 물체의 중심점 $cent_1$ 은 직선 $\overline{V_2V_3}$ 와 $\overline{V_1V_4}$ 의 교점이다. 실제 평면의 좌표는 $cent_1$ 점의 물체 밑평면에 투영된 점 $cent_2$ 이다. $cent_2$ 점은 직선 $\overline{V_4V_5}$ 와 $\overline{V_1V_2}$ 의 기울기의 평균값을 가지고 점 $cent_1$ 을 지나는 직선과 직선 $\overline{V_2V_4}$ 와의 교점이다.

물체의 가로, 세로는 각각 직선 $\overline{V_2V_3}$ 과 $\overline{V_3V_4}$ 길이를 구하면 된다. 물체의 가로, 세로의 실제길이는 작업대와의 비로 구하기 때문에 실제값과 오차가 적다. 그렇지만 높이는 작업대와의 비로 구하기 어렵고 단지 예측할 수 밖에 없다. 우선 직선 $\overline{V_2V_4}$ 의 실제길이를 구한다.

$$D_{24} = \sqrt{(V_2.x - V_4.x)^2 + (V_2.y - V_4.y)^2} \quad (29)$$

$$D_{c_1c_2} = \sqrt{(V_{c_1}.x - V_{c_2}.x)^2 + (V_{c_1}.y - V_{c_2}.y)^2} \quad (30)$$

R_{24} : 직선 $\overline{V_2V_4}$ 실제 거리

$R_{cent_1, cent_2}$: 직선 $\overline{V_{cent_1}V_{cent_2}}$ 실제거리

$$\text{높이 } H \text{는 } H = 2 \times R_{cent_1, cent_2} \quad (31)$$

단 이 방법으로 H를 구하면 카메라의 경사각이 커면 클수록 오차가 더 커지는 경향이 있다.

4. 실험장치 및 결과

화상 보드 (Frame grabber): Ci-512

입력 해상도 : 512×480×7 bit gray×1 화면

256K BYTE VIDEO MEMORY

Input Signal Output Signal : RS-170

MONO VIDEO SIGNAL

Gray level : 128 gray (2^7)

카메라 : VIDEO Camera

조명 : 일반 확산조명 2개(SS700DY : 36W×2)

Computer : 486DX-33MHz

제안된 알고리즘을 이용하여 작업대 위에 놓인 직사각형 물체를 대상으로 검증하였다. 검증 물체의 크기와 모양은 그림과 같다.

사용된 이미지의 해상도는 512×480이다.

물체를 각각 4곳(1-4)에서 위치 변경하여 측정하였으며 카메라 위치도 4곳(A-D)에서 변경하여 물체의 위치, 길이, 크기를 측정하였다.

작업장의 크기는 150mm×150mm 이다.

	A	B	C	D	실제위치
1	71, 77	66, 78	67, 79	72, 78	70, 80
2	72, 47	65, 48	71, 51	67, 53	70, 50
3	102, 47	101, 49	100, 46	99, 51	100, 50
4	101, 96	96, 97	98, 101	96, 95	100, 100

Fig.6 위치 측정표

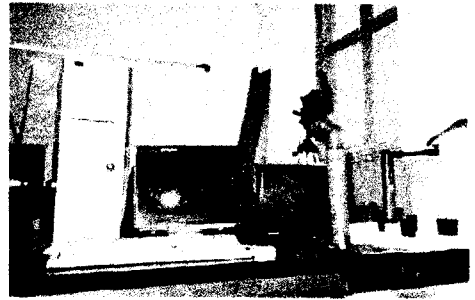
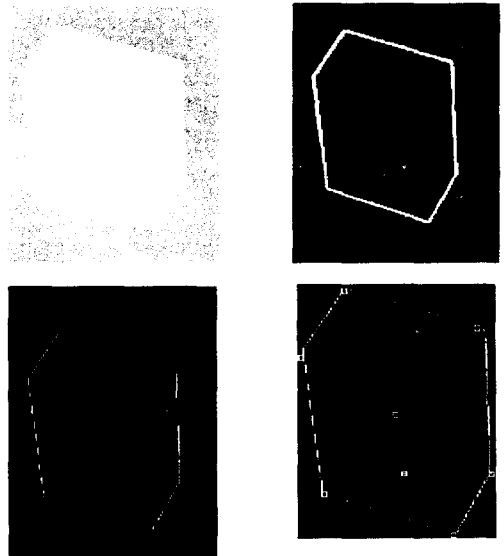


Fig.4 전체 실험장비



	A	B	C	D	실제
1	3.10, 4.98	3.11, 5.10	3.04, 4.95	2.95, 4.88	3, 5
2	2.71, 5.12	3.23, 4.78	3.14, 5.11	3.09, 5.32	3, 5
3	2.88, 4.89	2.75, 5.13	3.31, 5.21	2.89, 4.88	3, 5
4	3.03, 5.01	3.04, 4.98	3.09, 5.07	3.10, 5.12	3, 5

Fig.7 크기 측정표

	A	B	C	D	실제높이
1	6.3	7.1	6.6	7.0	7
2	6.5	7.0	7.1	6.7	7
3	6.6	7.2	6.7	7.3	7
4	6.7	7.0	6.9	6.8	7

Fig.8 높이 측정표

단위는 cm 이다.

측정결과 위치오차는 최대 x축으로 5mm정도 y축으로 4mm정도 였다. 물체를 운반하는 로봇이나 크레인 이 작업가능한 최대 허용오차를 충분히 만족한다. 크기는 비교적 정확하여 최대 2mm정도 오차가 났다. 각 가로, 세로의 길이가 상대값을 구하여 계산하므로 오차가 작다. 높이는 보통 5mm정도 차이가 났다. 특히 카메라가 비추는 각이 클 경우 더 심하였다.

실제 공장처럼 환경을 설정하고 실험하였음에도

불구하고 실험결과 오차가 작았다. 이와 같이 기하학적 관계식을 유도하여 외곽선의 모양을 추출하고 측정하는데 오차를 최소화 하였기 때문이다.

6. 결론 및 고찰

본 연구에서는 machine vision을 이용하여 공장에서 흔히 볼 수 있는 드럼형 물체뿐만 아니라 다각형 단면의 기동형 물체의 위치, 크기, 자세를 빠른 속도로 알아 낼 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 본 연구의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 카메라의 위치나 각도등에 변화가 생기면 프로그램의 수정이나, 카메라의 위치와 각도의 교정없이 Preliminary operation에 의해서 세팅함으로써 카메라의 위치나 각도등에 유연성을 부여하였다.

(2) 최소자승법에 의한 직선화 방법은 잡음과 진동등의 외란과 낮은 하드웨어의 해상도등에 의한 디지털 영상 경계정보에 대하여 적절한 정보 추출방법이다.

(3) 좌표계의 변환이 없이 단지 측정된 꼭지점만으로 형상의 크기 및 위치, 자세를 판단하므로 계산 속도가 빨라서 실시간으로 사용할 수가 있다.

그러나 아직 일반적인 물체에는 적용할 수 없는 단점이 있다. 앞으로 일반적인 물체에 적용할 수 있도록 연구가 이루어져야 할 것이다. 또 카메라의 평면 투사 각도가 크면 물체의 왜곡 굴절현상이 심하여 물체의 높이를 측정하는데 어려움이 많다. 이 부분에 대해서 더 많은 연구가 있어야 할 것이며 보다 향상된 하드웨어를 이용하여 전체적인 오차를 줄여 나가는 연구를 해야 할 것이다.

차후 연구과제로서는 인공지능을 사용하여 형상인식 방법을 개선해야 할 것이다.

참고문헌

1. T. O. Binford, "Visual perception by computer", IEEE Conf. on systems and Controls, Miami, Fla., Dec. 1971.
2. Steven A. Shafer, Takeo Kanade and John Kender, "Gradient Space under orthography and perceptive.", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol.24 pp.182-199, 1983.
3. Faith Ulupinar and Ramakant Nevatia, "Shape from Contour: Straight Homogeneous Generalized Cylinders and Constant Cross Section Generalized Cylinders.", IEEE Transaction on Pattern analysis and machine Intelligence, vol.17, pp.120-135, 1995.
4. Jean Ponce, David Chelberg and Wallace B. Mann, "Invariant Properties of Straight Homogeneous Generalized Cylinders and Their Contour.", IEEE Transaction on Pattern analysis and machine Intelligence, vol.11, pp.951-966, 1989.
5. Michael Brady and Alan Yuille, "An Extremum

Principle for Shape form Contour.", IEEE Transaction on Pattern analysis and machine Intelligence, vol.6 pp.288-301, 1984.

6. Kent A Stevens, "The Visual Interpretation of Surface Contours.", Artificial Intelligence, vol.17 pp.47-73, 1981.
7. A. Rosenfeld, "Techniques for 3-D Machine perception".
8. M. B. Clowes, "On seeing things.", Artificial Intelligence, vol.2 No.1 pp.79-116, 1971.
9. Mundy, "Geometric Invariance in Computer Vision".
10. A. K. Mackworth, "Interpreting pictures of polyhedral scones.", Artificial Intelligence, vol.4 pp.121-137, 1973.
11. 한민홍, "컴퓨터 비전을 이용한 원기동형 물체의 3차원 측정", 한국정밀공학회지, 제12권 제12호 pp. 38-44. 1995. 12.
12. 이길재, "직사각형 형태의 부품조립 자동화를 위한 비전 알고리즘에 관한 연구". 한국과학기술원 석사학위논문, 1987. 12.

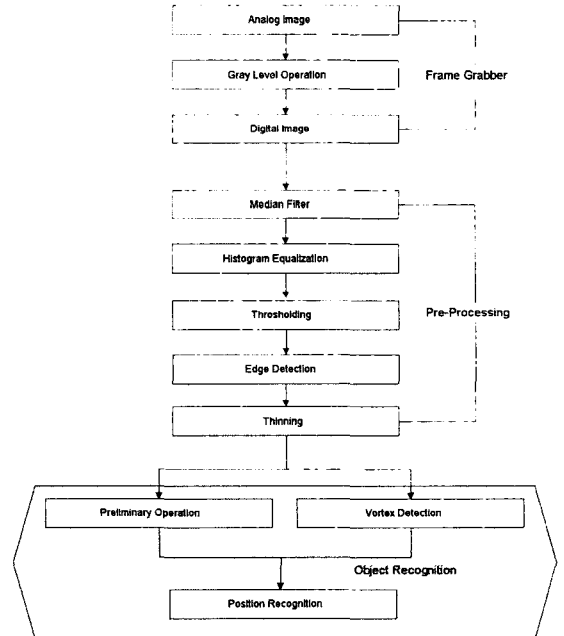


Fig. 9 Flow chart



Fig. 10 User Interface