

<論 文>

품질검사를 위한 영상처리 기법 개발

정 규 원* · 조 형 석*

(1984년 9월 1일 접수)

Development of an Image Processing Algorithm for Product Quality Inspection

K. W. Jeong and H. S. Cho

Abstract

This paper presents an algorithm for recognition of simple curved two dimensional objects. The algorithm is divided into four steps, determining threshold, edge finding, feature extracting and model matching. To evaluate the performance of this algorithm some experiments were conducted for various objects and illuminations. The results shows that the proposed algorithm can be effectively used for part recognition and quality inspection.

1. 서 론

생산성의 향상을 위하여 생산공정은 고도의 유연성을 갖도록 발전하고 있다. 이러한 생산체계에서 컴퓨터를 이용하여 지능을 갖춘 측정장치(sensor)와 이를 기초로한 자동화 기계가 중요한 역할을 한다. 지능측정장치의 하나로써 기계적인 시각장치를 들 수 있으며 산업용 로봇의 인공눈(eye)으로 사용되어 진다. 이때 시각장치는 대상물체를 인식하고, 위치와 방향을 계산한다. 이외에도 시각장치의 응용분야는 많이 연구되고 있는데 품질검사(inspection) 조립(assembly) arc-welding 등에 이용되어 질 수 있다.

시각장치는 CC TV 카메라와 같은 영상입력 장치를 통하여 빛 에너지(energy)를 받아들여 영상처리를 한다.

영상처리는 크게 2 단계로 이루어진다. 첫단계는 영상으로부터 대상물체를 표시할 수 있는 특징(descriptor)을 계산하는 것이며, 다음 단계는 대상 물체의 특징들과 미리 주어진 모델들의 특징을 비교하여 인식하고, 다음 공정에 필요한 결정을 내리는 것이다. 첫 단계에서는 영상데이터가 매우 많기 때문에 처리속도를 높이기 위하여 먼저 물체의 윤곽선을 찾는다. 이 과정에서 잡음(noise)을 제거하고 빠른 시간내에 하나의 화소(pixel)두께의 윤곽선을 찾는 방법을 개발하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 특징을 계산하는 과정에서는 그 물체에 고유한 특징을 구하고자 한다. 두번째 단계에서는 새로운 모델을 쉽게 입력시키고, 많은 모델들로부터 효과적으로 물체를 인식하는 방법에 연구의 중점이 주어지고 있다.

윤곽선 추출방법으로 Hueckel^(1,2)은 윤곽선을 표시할 수 있는 변수와 윤곽선 양변에서의 대표적인 gray level을 화소의 수가 32, 52 또는 69개 등의 작은 원

*정회원, 한국과학기술원 생산공학과

형의 영역내에서 실제의 영상과 가정되어진 영상과의 차이를 최소화방법에 의해서 구했다. 이 방법을 디지털 영상(digital image)에 적합하도록 O'Gorman⁽³⁾이 수정했으나, 이와같은 방법들은 복잡한 계산에 의하기 때문에 대형전자계산기를 사용해야 하며 또한 시간이 많이 걸린다. 윤곽선 추출방법으로 가장 많이 사용되는 Sobel⁽⁴⁾의 방법은 두 개의 서로 수직인 gradient template 를 사용하여 gray level의 gradient 를 계산하고 그 값이 주어진 threshold 이상일 때 윤곽선으로 표시한다. 그러나 영상의 변화에 따른 threshold 를 구하기 어렵고, 주어진 threshold 에 따라서 매우 두껍거나, 끊어진 윤곽선이 나오므로 가늘게 하고(thinning), 그들을 이어주는 (completion)과정을 거쳐야 한다. 본 논문에서 대상으로 하는 영상은 2차원 물체에 대한 영상으로서 하나의 영역을 이루는 화소는 좁은 범위 내의 gray level 을 갖고 있으며, 서로 다른 영역의 gray level 은 상당한 차이가 있다고 가정한다. 이 문에서는 이와 같은 가정을 반영하는 인자를 사용하여 조명의 변화, 표면의 반사 또는 대상물체의 변화에 적응하여, gray level 이 다른 몇개의 영역으로 이루어진 영상으로부터 윤곽선을 찾을 수 있는 적응 threshold 를 찾고, 그것을 이용하여 가느다란 윤곽선을 찾을 수 있는 방법을 개발했다. 또한 이를 이용하여 대상 물체를 인식했다.

2. 영상처리 기법의 개발

본 논문에서 개발한 윤곽선 추출 방법의 전체적인 과정은 Fig. 1 과 같다. 폐회로 TV 카메라를 통하여 전기적인 신호로 바뀐 영상을 A/D converter 를 거쳐서 m bit 의 $N \times N$ 화소의 디지털 영상으로 만든다. 그 후에 gray level 의 분포도를 사용하여 threshold 를 구하여 윤곽선을 찾는다. 이들 과정을 다음에서 자세히 설명한다.

2.1. Threshold 결정방법

Gray level 을 x_i 라 할때 x_i 에 대한 화소의 갯수로 gray level 의 분포도(histogram)를 만든다.

$$x_i : 0 \leq x_i \leq 2^n \text{ gray level}$$

$$f(x_i) : \text{gray level 이 } x_i \text{ 인 화소의 갯수}$$

한 예로 Fig. 7(a)와 같은 영상에 대한 분포도가 Fig. 7(b)와 같이 주어진다. 이와 같은 분포도는 같은 물체에 대해서 조명의 세기가 변화될 때, 대상물체의 표면의 반사를 또는 반사각이 변화됨에 따라서 다르게 된

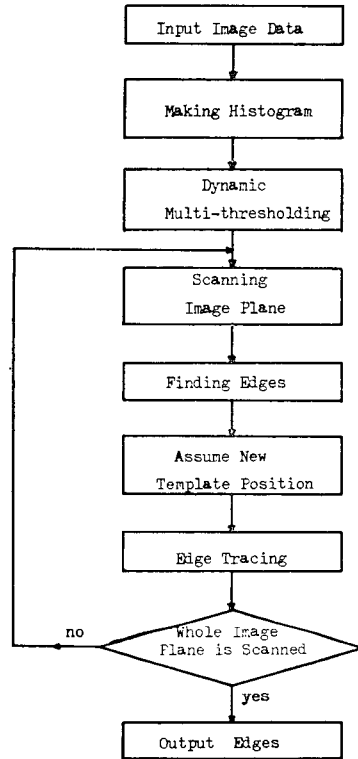


Fig. 1 Block diagram of edge finding algorithm

다. 그럼에도 불구하고 대상물체의 영역을 잘 구별해주는 적응 threshold 를 구해야 한다. 이를 위해 그 물체에 고유한 3가지의 인자를 사용하여 다음과 같은 방법에 의하여 threshold 을 구한다.

gray level 이 디지털 값을 갖으므로 분포도의 극소점은 다음과 같이 3경우가 있다. 즉

$$\Delta f_i = f(x_{i+1}) - f(x_i) \tag{1}$$

이라 할 때

$$(1) \Delta f_i < 0 \text{ and } \Delta f_{i+1} = 0$$

$$(2) \Delta f_i = 0 \text{ and } \Delta f_{i+1} > 0 \tag{2}$$

$$(3) \Delta f_i < 0 \text{ and } \Delta f_{i+1} > 0$$

일때 x_i 는 극소점이며, $f(x_i)$ 는 극소값이 된다. 영상이 복잡할수록 극소점은 매우 많아지게 되며, 이러한 극소점들 중에는 조명의 변화 또는 대상물체의 표면의 불균일 등에 의하여 나타난 것들이 있다. 이와같은 극소점들을 제거시키기 위하여 다음과 같은 방법을 사용한다. 극소값의 크기, 즉 골(valley)의 깊이를 결정하기 위한 인자를 Fac 라 할 때 그 극소점과 이웃한 양쪽의 극대값들과의 차이가 극대값/Fac 보다 클때는 극소점으로 인정하고, 그렇지 못할 때는 그 극소점 양쪽

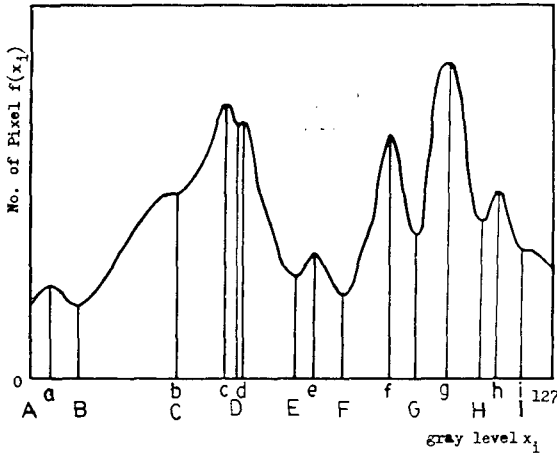


Fig. 2 Typical histogram

의 산들을 합친다. 즉 Fig. 2에서

$$F(c) - f(D) < f(c) / \text{Fac} \tag{3}$$

$$f(d) - f(D) < f(d) / \text{Fac} \tag{4}$$

이므로 gray level band c-D와 D-d를 합친다. 이와 같이 전체 분포도에 대하여 D와 같이 깊이가 얇은 극소점들을 제거한 후에, 대상물체의 실제영역을 나타낼 수 있는 gray level의 범위 다시 말하면 핵 영역(nuclear band)을 구한다. 가정한 바와 같이 하나의 영역은 주어진 갯수 NBP개 이상의 화소를 가져야 하므로 gray level band내의 화소의 수가 NBP개 이상일 때는 핵 영역으로 간주한다. 또한 서로 다른 영역은 상당히 큰 gray level의 차이를 갖고 있으므로 이것을 표시할 수 있는 인자로 Diff를 사용한다. 핵 영역이 아닌 gray level band와, 이웃한 핵 영역과 극대점의 gray level의 차이가(최대 graylevel)/Diff 보다 적은 핵 영역은 가까운 핵 영역에 포함시킨다. 이와같은 과정을 통하여 핵영역을 사이에서 threshold가 결정된다. 최대 gray level을 g_{max} 라 할 때 Fig. 2를 보면

$$(1) \sum_{i=B}^E f(x_i) > NBP \text{ 이며}$$

$|x_e - x_c| > g_{max} / \text{Diff}$ 이므로 B-E는 핵영역이다.

$$(2) \sum_{i=F}^G f(x_i) > NBP \text{ 이다.}$$

$|x_g - x_f| < g_{max} / \text{Diff}$ 이므로 F-G와 G-H는 하나의 영역으로 합친다.

$$(3) \sum_{i=E}^F f(x_i) < NBP \text{ 이며}$$

$|x_e - x_c| < |x_g - x_c|$ 이므로 E-F를 B-E에 합친다.

(1), (2), (3)으로부터 threshold는 $x_i = F$ 가 된다.

2.2. 윤곽선 추출방법

앞절에서 주어진 threshold를 사용하여 대상 물체의 윤곽선을 추출한다. 먼저 디지털 영상에서 대상물체를 제외한 배경의 gray level band를 정한다. 배경의 gray level band를 G_B 라 할 때 G_B 의 gray level- x_{GB} 는

$$x_{GB} = \{x_i | T_1 < x_i < T_2\} \tag{5}$$

T_1 : 디지털 영상의 2번째와 $N-1$ 번째 행과 열의 화소들을 가장 많이 포함하는 gray level band의 threshold

와 같다.

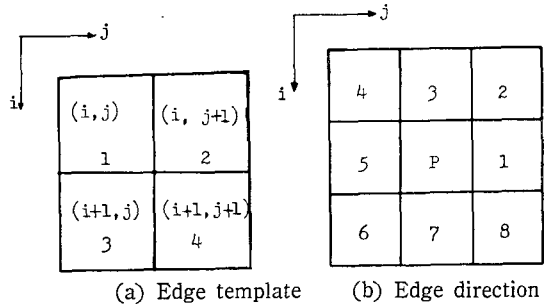


Fig. 3 Edge template and edge direction

영상처리 시간을 단축시키며, 윤곽선의 방향을 알 수 있도록 Fig. 3(a)와 같은 4개의 화소로 이루어진 template를 사용한다. Template내의 화소들을 x_{pi} $i=1, 2, 3, 4$ 라고 할 때

$$x_{p1} \in G_B \text{ 이면 } x_{pi} \in G_B \text{ 일 때 } x_{pi} : \text{true} \tag{6}$$

$i=2, 3, 4 \quad i=2, 3, 4$

$$x_{p1} \notin G_B \text{ 이면 } x_{pi} \in G_B \text{ 일 때 } x_{pi} : \text{true} \tag{7}$$

$i=2, 3, 4 \quad i=2, 3, 4$

이라 한다. 이때 true인 화소가 1, 2 또는 3개일 때 윤곽선이 그 위치에 있다. 이때 true인 화소가 3개일 때는 두번째 true pixel은 영역내에 있으므로 제외시킨다. 윤곽선의 방향은 디지털 영상에서는 Fig. 3(b)와 같이 8개의 방향이 있으므로 위에서 구한 최후의 2개의 윤곽선의 화소로부터 그 방향을 결정하여, 다음의 template가 놓여질 위치를 결정한다. 새로운 template는 그 이전까지 찾은 윤곽선을 역으로 추적하지 않으며, 또한 윤곽선이 있을 가능한 모든 위치를 찾아야 한다. 이와같이하여 Fig. 4와 같이 디지털 영상을 처음부터 행을 따라서 주사(scanning)한다. 윤곽선을 찾았을 때는 그 윤곽선을 추적하며, 폐쇄된 윤곽선이 찾아졌을 때는 추적을 멈추고 다시 행을 따라 주사한다. 윤곽선이 그림자 등으로 인해 끊어졌을 때

는 그 윤곽선의 시작점부터 다시 주사한다.

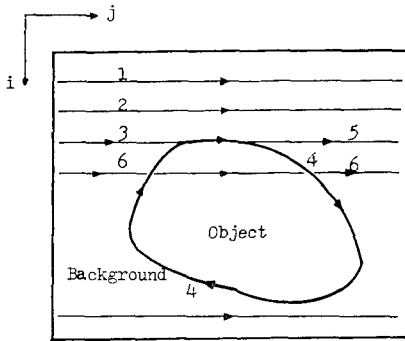


Fig. 4 Image scanning

2.3. 특징계산 및 인식과정

윤곽선을 찾는 작업은 결국 대상물체의 형상을 인식하는데 중요한 과정이다. 대상물체를 그들의 윤곽선으로 표시함으로써 영상데이터를 현저하게 줄일 수 있다. 그러나 대상물체를 모델과 비교하여 인식하는 과정에서 대상물체의 위치와 방향은 임의로 바뀌므로 윤곽선의 좌표를 직접 비교하는 것은 불가능하다. 그러므로 대상물체에 고유한 특징(descriptor)을 찾아서 미리 주어진 모델에 대한 값들과 비교하여 물체를 인식한다. 대상물체의 전체적인 특징을 표시할 수 있는 특징으로 다음과 같은 위상학적인 값을 들 수 있다.

- (1) 면적
- (2) 2차관성능률
- (3) 윤곽선의 길이
- (4) 최대반경
- (5) 최소반경

이러한 특징을 계산하기 위하여 Riemann 공식을 사용하여 면적분을 경로 적분으로 바꾼다. 식 (8)과 같은 Riemann 공식에 적절한 P, Q 를 대입하면 다음과 같은 특징을 계산하는 식이 주어진다.

Riemann 공식

$$\iint_D \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy = \oint (P dx + Q dy) \quad (8)$$

윤곽선의 좌표 (x_i, y_i) , $i=1, \dots, N$ 가 디지털이므로

$$\begin{aligned} dx &= x_{k+1} - x_k \\ dy &= y_{k+1} - y_k \end{aligned} \quad (9)$$

이며 $(x_1, y_1) = (x_N, y_N)$ 이다.

- (1) 면적

$$P = -\frac{1}{2}y \quad Q = \frac{1}{2}x \quad (10)$$

를 식 (8)에 대입하고, discrete 형태로 바꾼다.

$$\text{면적 } A = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N-1} (x_k y_{k+1} - y_k x_{k+1}) \quad (11)$$

면적은 윤곽선의 추적 방향에 따라 부의 값이 나올 수 있는데 이때는 반시계 방향으로 윤곽선을 바꾸어 준다.

- (2) 2차관성능률

물체의 중심 (x_c, y_c) 에 대한 관성능률은 다음과 같이 구해진다.

- (a) x 축에 관한 관성능률 : M_{xx}

$$P = -\frac{1}{3}(y - y_c)^3, \quad Q = 0 \quad (12)$$

$$M_{xx} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{N-1} (y_k - y_c)^3 (x_k - x_{k+1}) \quad (13)$$

- (b) y 축에 관한 관성능률 : M_{yy}

$$P = 0, \quad Q = \frac{1}{3}(x - x_c)^3 \quad (14)$$

$$M_{yy} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{N-1} (x_k - x_c)^3 (y_{k+1} - y_k) \quad (15)$$

- (c) z 축에 관한 관성능률 : M_{zz}

$$M_{zz} = M_{xx} + M_{yy} \quad (16)$$

- (d) 관성곱 : M_{xy}

$$P = -\frac{1}{4}(x - x_c)(y - y_c)^2 \quad (17)$$

$$Q = \frac{1}{4}(x - x_c)^2(y - y_c) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} M_{xy} &= \frac{1}{4} \sum_{k=1}^{N-1} (x_k - x_c)(y_k - y_c) [(y_k - y_c)(x_k - x_{k+1}) \\ &\quad + (x_k - x_c)(y_{k+1} - y_k)] \end{aligned} \quad (19)$$

- (3) 윤곽선의 길이

두점 (x_k, y_k) 와 (x_{k+1}, y_{k+1}) 사이의 거리 d_k 는

$$d_k = [(x_{k+1} - x_k)^2 + (y_{k+1} - y_k)^2]^{1/2} \quad (20)$$

이다. 따라서 윤곽선의 길이 P 는

$$P = \sum_{k=1}^{N-1} d_k \quad (21)$$

- (4) 최대반경

물체의 중심으로부터 윤곽선의 한점간의 거리가 최대인 점의 거리를 구한다. 최대반경 R_{max} 는

$$R_{max} = \text{Max}_{k=1, N-1} [(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2]^{1/2} \quad (22)$$

- (5) 최소반경

최대반경에서의와 같은 방법으로

$$R_{min} = \text{Min}_{k=1, N-1} [(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2]^{1/2} \quad (23)$$

대상물체에 대하여 위의 특징들을 TM_i , $i=1, \dots, 5$ 라 하고 모델 j 의 특징들을 M_{ij} 라 할 때, 각각의 모델에 대하여

$$E_j = \sum_{i=1}^5 W_i |TM_i - M_{ij}| \quad (24)$$

W_i : Weighting vector

를 계산하여, E_j 가 최소인 모델과 같은 물체로 간주한다. 이와같이 인식된 물체에 대하여 중심의 위치와

방향을 계산한다. 물체의 방향은 기준축으로부터 주축의 방향으로 정의한다. 식 (8)에서

$$Q = \frac{x^2}{2}, P = 0 \tag{25}$$

를 사용하면 중심의 좌표 (X_c, Y_c) 는

$$x_c = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N-1} x_k^2 (y_{k+1} - y_k) / A \tag{26}$$

$$y_c = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N-1} y_k^2 (x_k - x_{k+1}) / A \tag{27}$$

A : 면적

기준축으로부터 주축의 방향을 θ 라 하면

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2M_{xy}}{M_{yy} - M_{xx}} \right) \tag{28}$$

arctangent는 $-\frac{\pi}{2} < 2\alpha < \frac{\pi}{2}$ 에서 주어지므로 $\tag{29}$

$M_{xx} - M_{yy} > 0$ 일 때 $\theta = \alpha$

$M_{xx} - M_{yy} < 0$ 일 때 $\theta = \alpha - \text{Sig}(M_{xy}) \frac{\pi}{2}$ $\tag{30}$

3. 실험결과 및 고찰

컴퓨터 영상처리장치의 블록선도는 Fig. 5와 같으며 Fig. 6에 실험장치의 전경을 보였다. 컴퓨터는 64K byte의 RAM을 갖고 있으며, cpu로 Z-80A를 사용하는 마이크로컴퓨터 Cromemco Z-2를 사용하였다. A/D 변환기로서 Colorado video Inc의 Video Frame Store 274 D를 사용하였다. VFS 274 D는 실시간으로 애널로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어서 영상기억장치로서 내장하고 있는 256 K byte의 RAM에 저장한다.

이 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 다음과 같은 실험을 하였다. 실험은 크게 두 가지로 나누어지는데 먼저 조명과 대상물체의 명암을 변화시켜 주위환경의 변화에 대한 적응성을 실험하였다. 두 번째로 특징

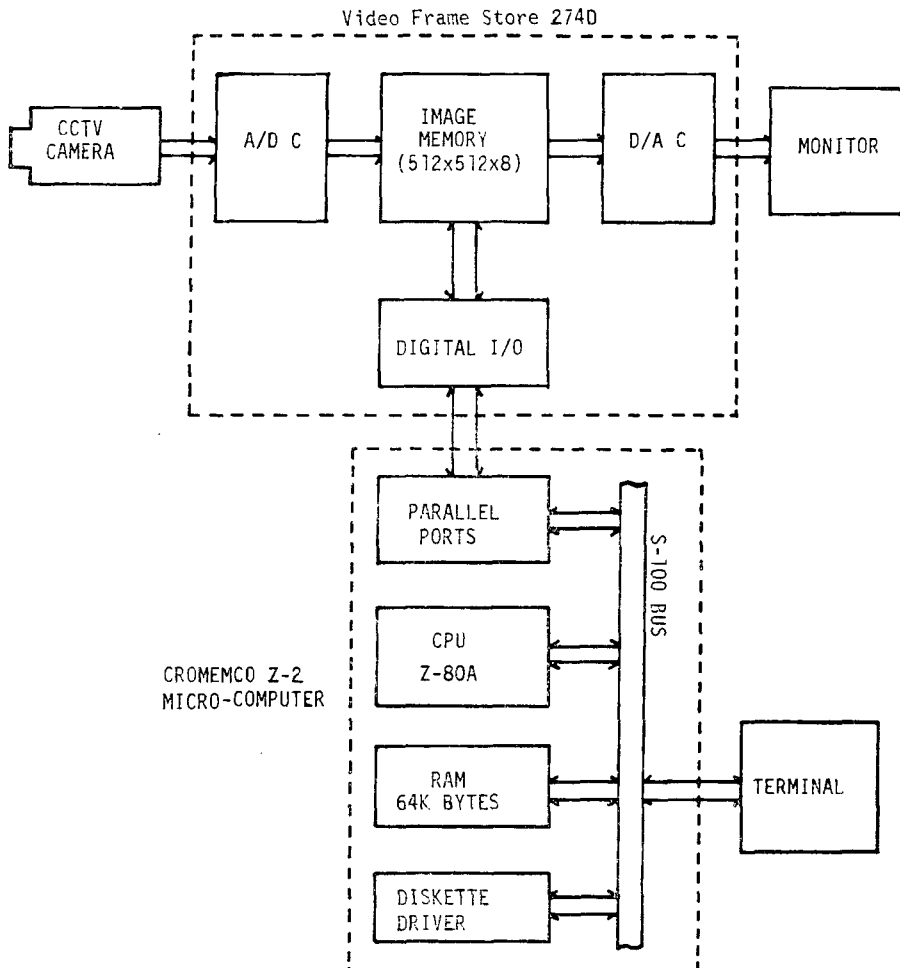
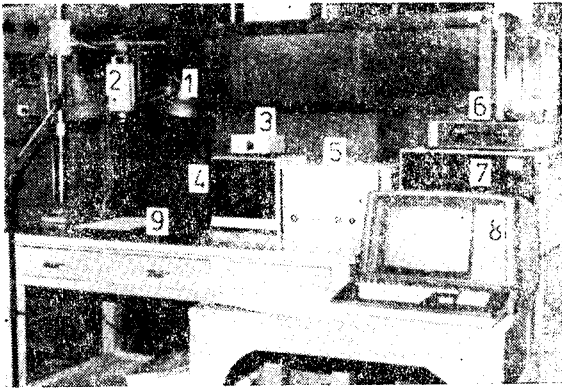


Fig. 5 Block diagram of the computer vision system



1. Stand light
2. CCTV camera
3. Switch box
4. Monitor
5. 274 D video frame store
6. Diskette driver
7. Cromemco computer
8. Terminal
9. Objects

Fig. 3 Over view of computer vision system

계산의 기기도 측정을 위한 실험과 부품인식실험을 하였다. 실험에 사용한 디지털 영상은 7 bit 로 0-127의 gray level을 갖는 128×128 화소로 이루어져 있다.

(1) 조명의 영향

Fig. 7에 디지털 영상, 분포도, 그리고 윤곽선이 중첩된 영상을 보였다. 그림의 경우 Fac=1.5, NBP=300, Diff=10을 사용하여 threshold를 구하고 윤곽선을 찾았다. 조명이 밝아짐에 따라 gray level의 분포도가 밝은쪽으로 이동하였으며 threshold도 높아졌다. 윤곽선을 원래 영상과 비교하여 보면 잘 일치하고 있다. 윤곽선은 조명의 밝기에 따라 배경으로부터의 영향으로 윤곽선의 위치가 1~2화소 정도의 변화를 보이며 윤곽선의 길이는 거의 일정하다. 그림자는 그것의 밝기에 따라 대상물체 또는 배경과 같은 영역으로 간주되어 윤곽선이 주어진다. 그러므로 다음 단계의 영상 처리 과정에서 대상물체에 대한 선행 지식을 이용하여 그림자와 대상물체를 구별하는 과정이 있어야 한다.

(2) 다단계 thresholding

명암이 다른 두 개의 물체에 대하여 threshold를 구하고 그 값을 사용하여 윤곽선을 구했다. Fig. 8의 실험에서는 Fac=1.5, NBP=1000, Diff=10을 사용하였다. Gray level의 분포도는 대상물체의 명암에 대응하여 세 부분으로 나타나고, 2개의 threshold가 주어졌다. 배경과 인접한 부분의 화소는 배경의 영향으로 명암이 변하여 요철이 심한 윤곽선이 나타났다.

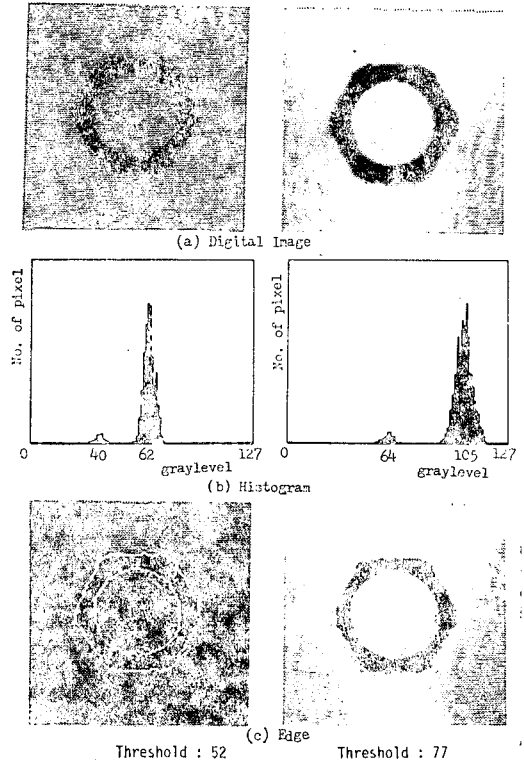
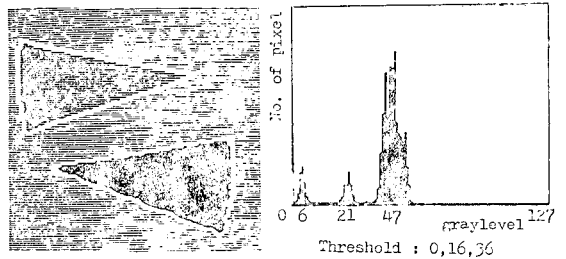


Fig. 7 Model, histogram, edge showing the effect of illumination



(a) Digital image with edge (b) Histogram of (a)

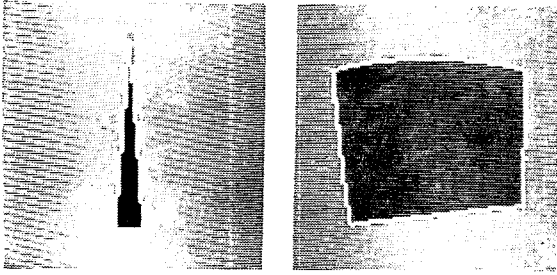
Fig. 8 Multithresholding

(3) 디지털화에 의한 영향

영상을 디지털화 함에 의해서 생긴 오차를 알아보기 위해 Fig. 9에서와 같이 물체의 방향과 영역의 내각을 변화시켜 실험하였다. 내각이 10°인 경우에 방향에 따라 큰 오차를 보여주나 그 이상인 경우에는 물체의 방향에 따른 영향은 무시할 수 있다. 또한 반경이 20cm인 원주에 대하여 실험한 결과 주사선에 접하거나 그에 수직인 원호는 상당히 긴 부분이 원호로 나타난다.

Table 1 Comparison of the experimental results for rectangular plate

Descriptor	Area	Polar moment of inertia	Length of perimeter	Max. Radius	Min. Radius
Theoretical results	50 cm ²	520.84 cm ⁴	30 cm	5.59 cm	2.5 cm
Experimental results	52.27 cm ²	553.53 cm ⁴	32.266 cm	5.658 cm	2.544 cm



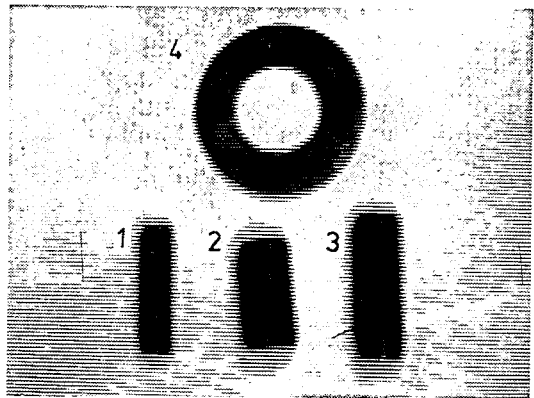
(a) Inner angle of 10° (b) Circle radius=20 cm
Fig. 9 Digitizing effect of inner angle and large circle

(4) 부품 인식 실험

예비실험으로서 5cm×10cm의 반사광이 없는 평판에 대하여 실험하였다. 계산된 값과 실험에서 구한 값들을 Table 1에 보였다. 실험결과는 1.2~7.5%의 오차를 보여준다. 이러한 오차는 주로 digitizing의 영향과 캘리브레이션의 영향으로 생각된다.

본 실험으로는 각각 크기가 다른 로울러와 와셔를 인식하는 실험을 하였다. 시편으로부터 반사광이 없도록 조명을 했으며 배경은 흰색으로 하였다. 먼저 Fig. 10과 같은 각각의 시편에 고유번호를 주고, 카메라에 보여주면 컴퓨터는 앞에서 설명한 알고리즘에 의하여 그들의 윤곽선을 찾고 특징을 계산하여 기억한다. 그 후에 임의의 위치와 방향으로 놓여있는 시편에 대하여 Fig. 11과 같이 윤곽선을 찾고, 특징을 계산하여 주어진 모델에 대한 값과 비교하여 인식하고 그들의 위치와 회전각을 출력한다. 실험에서 가중치는 $W_i=[20, 1, 10, 1, 1]$ 을 사용하였다. 예비 실험에서 알 수 있듯이 면적과 윤곽선의 길이는 물체의 위치와 방향에 대하여 비교적 정확하며, 판성능률은 매우 민감하게 나오므로 가중치를 위에서와 같이 주었다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 가중치가 적절히 주어졌음을 알 수 있다. 대상 물체를 인식하는데 걸리는 시간은 대상물체의 형태, 모델의 갯수, 사용한 컴퓨터에 따라 다르다. 본 논문에서는 VFS 274D와 컴퓨터와의 인터페이스에는 Z-80 어셈블리어를 사용하고, 윤곽선 추출과정과 특징 계산 및 인식에서는 FORTRAN IV를 사용하였다. 이때

영상의 디지를 변환으로부터 대상물체의 인식까지 약 25초의 실행시간(runtime)이 걸렸다. 이것은 주로 지능적인 방법으로 threshold를 구하고, 윤곽선을 찾는 과정과 특징 계산에서 소요되었다.



1, 2, 3 rollers, 4 washer
Fig. 10 Models

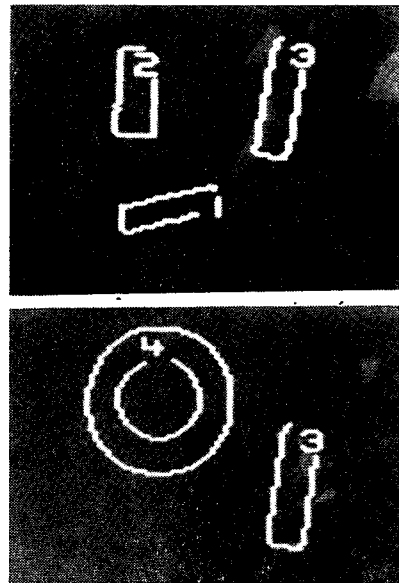


Fig. 11 Recognition of objects

4. 결 론

참 고 문 헌

본 논문에서는 영상 데이터의 분포로부터 threshold를 구하여 물체의 윤곽선을 찾는 방법을 개발했다. 윤곽선으로부터 물체의 특징을 계산하여 인식하는 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 적응 threshold와 대상물체에 따른 변수들을 사용하여 조명과 주위환경에 대한 제한을 완화시키고 가느다란 윤곽선을 구했다.

(2) 해상도(resolution)가 제한되어 있기 때문에 정밀한 측정에는 한계가 있으며 보조 장치를 사용해야 한다.

(3) 많은 영상 데이터를 처리해야 하고, 특징을 계산하기 때문에 많은 시간이 걸리며, 처리속도를 높이기 위하여 특별한 하드웨어가 필요하다.

(4) 현재의 알고리즘은 2차원 물체를 대상으로 하는데 조립공정 등에 이용하기 위해서는 3차원 물체를 대상으로 한 알고리즘이 필요하다.

(5) 이 논문의 알고리즘은 부품의 분류, 품질검사, 로봇 시각장치로서 사용될 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학기술원 CAD/CAM실의 지원으로 연구되었기에 심심한 사의를 포함한다.

- (1) M.H. Hueckel, "An Operator which Locates Edges in Digitized Pictures", J. of Ass. Comp. Mach., Vol. 18, No. 1, pp.113~125, 1971
- (2) M.H. Hueckel, "Local Visual Operator which Recongnizes Edges and Lines", J. of Ass. Comp. Mach. Vol. 20, No. 4, pp.634~647, 1973
- (3) F. O'Gorman, "Edge Detection using Walsh Function", Artificial Intelligence, Vol. 10, pp. 215~223, 1978
- (4) R.C. Gonzalez and Paul Wintz, "Digital Image Processing" Addison-wesly Pub. Co. 1977
- (5) J.W. McKee and J.K. Aggarwal, "Finding the Edges of the surfaces of Three Dimensional Curved Objects", Pattern Recognition, Vol. 7 pp. 22~52, 1975
- (6) W. Myers, "Industry Begins to Use Visual Pattern Recognition", IEEE computer, pp.21~31, May 1980
- (7) T. Pavlidis, "Structural Pattern Recognition", Springer-Verlag, 1977
- (8) E. Persoon, "A New Edge Detection Algorithm and its Applications in Picture Processing", CGIP 5, pp. 425~446, 1976
- (9) K.W. Jeong, "Finding the Edges of Mechanical Parts using Histogram, MS thesis Dept. of Mech. Eng. KAIST 1984