

원전 증기 발생기 세관 검사용 비전시스템 개발에 관한 연구

A Study on Development of a Vision System for the Test of Steam Generator in Nuclear Power Plants

왕 한 흥*, 김 중 수, 배 길 호(경남대 원), 심 상 한(한국중공업), 한 성 현(경남대)
 H. H. Wang, S. S. Kim, G. H. Bae(Kyungnam Graduate School), S. H. Sim(Korea Heavy Ind.)
 S. H. Han(Kyungnam Univ.)

Abstract

It is a great number of problem for the man to perform maintenance and repairing work owing to radioactive effusion for a nuclear fuel and the pollution of an related equipment in nuclear power plants.

Therefore, the vision processing system presented in this research requires to maintain the good performance under the radioactive circumstances and to safety the real time processing. The proposed vision scheme adapts the gradient and Laplacian operator to perform the high speed processing in an edge detection and the centroid formula at each direction to obtain the center position of a holes using DSPs.

1. 서론

원자력 발전소에서는 핵연료 및 관련 설비의 오염으로 인한 방사능 방출때문에 인간이 유지 보수작업을 하기에는 많은 어려움이 있다. 특히 원자력 발전소의 증기 발생기(steam generator)는 고온 고압의 방사선 물질을 함유한 유체 분위기에서 운전되며, 사용중 스투라지에 의한 튜브 침식, 튜브 진동에 의한 응력부식 파손, 제작시의 가공 잔류 응력(residual stress)에 의한 파손 및 기동, 정지의 반복으로 인한 열피로응력(thermal fatigue stress)등으로 증기 발생기 tubesheet와 tube의 접합부위에 응력부식 파손이 발생하고 있다. 이렇게 파손된 튜브는 plugging되거나 sleeving되어야만 방사선 누출 없이 열효율을 떨어뜨리지 않고 계속 사용할 수 있게 된다. plugging이나 sleeving 공정은 좁은 입구를 통해 폐공간내에서 작업이 이루어져야 하기 때문에 보수작업의 정확성을 보장할 수가 없고 작업 시간이 길어져 관련 작업자의 피로량이 커지는 등 많은 문제점이 대두되고 있다. 그래서 최근에는 로봇트를 개발하여 이러한 문제를 해결하는 것이 원자력 발전소의 유지 보수에 필수적인 요소가 되고 있다. 이런 용도의 활용을 위한 로봇트는 기존의 산업 현장에서 운용되고 있는 로봇트와 같은 단순반복작업이 아닌 보다 능동적인 태스크(task)를 요구하고 있다. 증기 발생기 세관 검사 및 보수에 필요한 태스크는 정해진 반복작업이 아니라 폐공간 내에서 증기 발생기 하부에 있는 18,000여개의 홀(hole) 중에서 결함이 있는 홀의 위치를 찾아낸후 그 홀에 대해 plugging이나 sleeving 작업이 행해져야 한다. 로봇트가 폐공간내에서 18,000여개의 홀 중에서 결함이 있는 홀의 정확한 위치를 찾아내고 plugging이나 sleeving 작업의 정확성과 신뢰성을 보장하기 위해서는 이 태스크에 맞는 비전 시스템의 개발이 필수적이라 할 수 있겠다.

이와 같은 목적을 위하여 컴퓨터 비전을 이용하여 원형 홀의 공간적인 위치와 형상을 판단할 수 있는 연구를 수행하였다. 일반적으로 홀의 정확한 공간 위치를 측정하기 위해서는 두대의 카메라를 사용하는 스테레오 비전(stereo vision)을 사용하여야 하지만, 계산 과정의 복잡성과, 많은 계산 시간의 소요 그리고 경우에 따라서는 잘못된 해를 구하거나 전혀 구하지 못할 수도 있다. 하지만 대상체가 원형

홀이고 수직 상방향에서 검사가 시행되는 특성을 고려한다면 한대의 카메라만 사용하여도 정확한 위치 측정이 가능하다.

2. 이론적 배경

2.1 카메라 보정

실공간에서의 좌표계를 WCS(world coordinate system), z축이 광축(optical axis)과 일치하며 x, y축은 영상좌표계의 x, y축에 대응하는 카메라 좌표계를 CCS(camera coordinate system)라 규정할때 다음과 같이 주요 기호들을 정의한다.

- W : WCS에 대한 3차원상의 점의 위치벡터
- W_0 : WCS에 대한 3차원상의 end-effector 위치벡터
- c : WCS에 대한 3차원상의 점이 영상면에 투사된 영상면의 위치벡터
- r : end-effector로부터 CCS의 원점까지의 offset거리
- T : WCS에서 CCS로의 변환행렬

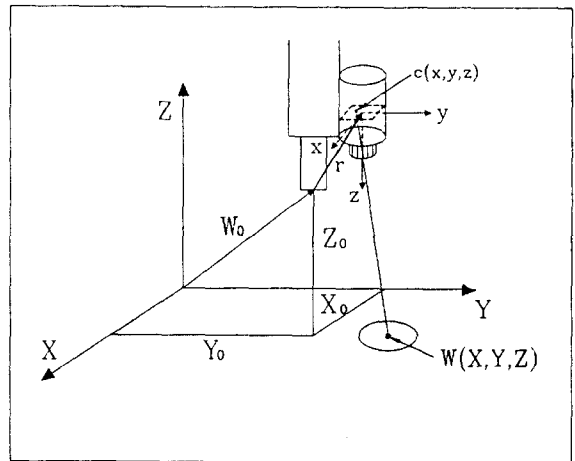


Fig. 1 The imaging geometry of the world coordinate system (X, Y, Z) and the camera coordinate system (x, y, z).

- P : WCS에서 CCS로의 투사변환행렬
- G : WCS원점에서 end-effector의 끝점까지의 offset에 대한 병진변환행렬
- R : WCS에 대한 CCS 좌표축 회전변환행렬
- C : 로봇트 end-effector로부터 CCS 원점까지의 offset에 대한 병진변환행렬

WCS상의 임의의 점 W 를 CCS에 대한 위치벡터로 변환하면

$$c_h = TW_h \quad (1)$$

$c_h = [kx, ky, kz, k]^T$: CCS에 대한 영상면 좌표의 동차표현

$W_h = [kX, kY, kZ, k]^T$: WCS에 대한 공간좌표의 동차표현

이 된다. 여기서 좌표축 변환행렬 $T (= PCRG)$ 는 WCS에 대한 end-effector에 관계되는 병진변환행렬, WCS에 대한 CCS 좌표축 회전변환행렬, end-effector와 CCS좌표계의 원점에 관계되는 병진변환행렬 그리고 투사변환행렬을 순차적인 적용으로 구해진다. 한대의 카메라를 사용하면 실공간상의 점을 영상화 하였을때 CCS에 대한 두개의 좌표 $c[x, y]$ 만을 얻어낼 수 있다.

실제로 결합이 있는 세관을 교체하기 위해서는 로봇의 end-effector를 세관 홀(hole) 중심의 수직 상방향으로 움직여야 한다. 그래서 우리가 필요로하는 정보는 3차원 공간상의 물체를 영상화 하였을때 구하여지는 영상면좌표 $c[x, y]$ 가 아니라 이 정보를 이용하여 로봇의 end-effector를 원하는 위치로 이동시키기 위해서는 어느 정도의 움직임이 필요한가를 아는 것이다. 위의 Fig. 1에서 WCS좌표계에 기준 좌표 $W_0(X_0, Y_0, Z_0)$ 에 로봇의 end-effector가 위치한 상태에서 증기 발생기 세관 홀 중심의 2차원 좌표인 WCS에 기준한 좌표 $W[X, Y]$ 의 수직 상방향에 로봇의 end-effector를 위치시키려 한다. 여기서 로봇 end-effector의 현재위치 $W_0(X_0, Y_0, Z_0)$ 는 우리가 알수있는 좌표이다. 다음으로 목표점좌표 $W[X, Y]$ 는 위의 식 (1)의 역변환을 사용하여 다음과 같이 구할 수가 있다.

$$W_h = T^{-1} c_h \quad (4)$$

여기서 변환행렬 $T^{-1} = G^{-1}R^{-1}C^{-1}P^{-1}$ 가 된다. WCS원점에서 end-effector의 끝점까지의 offset에 대한 병진변환행렬의 역행렬

$$G^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

이 된다. WCS에 대한 CCS 좌표축 회전변환행렬의 역행렬

$$R^{-1} = \begin{pmatrix} C_1 & -S_1C_2 & -S_1S_2 & 0 \\ S_1 & C_1C_2 & -C_1S_2 & 0 \\ 0 & S_2 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

이 된다. 이때 $C_1 = \cos\theta$, $C_2 = \cos\alpha$, $S_1 = \sin\theta$, $S_2 = \sin\alpha$ 이다. 로봇 end-effector로부터 CCS 원점까지의 offset에 대한 병진변환행렬의 역행렬

$$C^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & r_1 \\ 0 & 1 & 0 & r_2 \\ 0 & 0 & 1 & r_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

이 된다. WCS에서 CCS로의 투사변환행렬의 역행렬

$$P^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

그러므로, 식 (4)에서 (8)까지를 사용하여 목표점 좌표 $W[X, Y]$ 는 다음의 식으로 구할 수가 있다.

$$X = xC_1 - yS_1S_2 + r_1C_1 - r_2S_1C_2 - r_3S_1S_2 + X_0 \quad (9)$$

$$Y = xS_1 - yC_1C_2 + r_1S_1 - r_2C_1C_2 - r_3C_1S_2 + Y_0 \quad (10)$$

그리고 목표점 위치의 WCS에 대한 Z 좌표는 Fig. 1에서 보여진것 처럼 카메라가 인식할 수 있는 범위(최소인식높이 < Z < 최대인식높이)이면 가능하다.

본 연구에서 검사하고자 하는 증기 발생기 세관은 세관의 크기가 일정하고 형상이 원형이다.

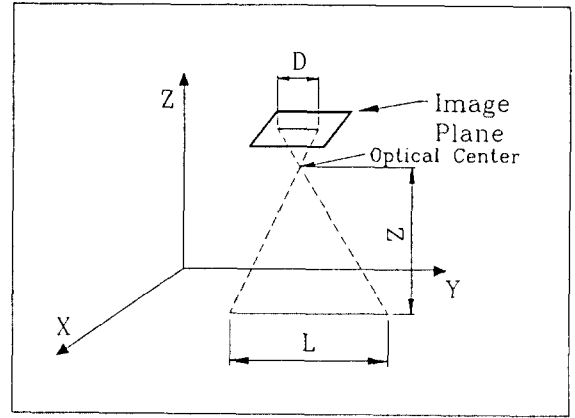


Fig. 2 The scheme of three-dimensional line and it's image.

그렇기 때문에 홀의 중심으로부터 카메라의 광학중심(optical center)까지의 높이 Z_c 는

$$Z_c = k_H \frac{L}{D} \quad (11)$$

L : 공간상의 증기 발생기 세관의 지름

D : 영상면으로부터 측정된 세관의 지름

k_H : 카메라와 렌즈에 의해서 결정되는 카메라 계수

이 된다. 카메라 계수는 위에서 자세히 설명된다. 여기서 구한 Z_c 는 현재의 카메라의 공간상의 높이가 되기 때문에 end-effector의 현재 위치 Z_c 는

$$Z_c = Z_c - r_3 + \lambda \quad (12)$$

λ : 렌즈의 초점거리

여기서 end-effector의 현재 위치 Z_c 는 Z_0 와 일치하여야 한다.

다음 단계의 움직임을 위해서 필요한 end-effector의 WCS에 대한 좌표는 식 (9), (10) 그리고 (12)에서 구한 좌표는 $[X, Y, Z_c]$ 가 된다. 그러므로 실제로 로봇의 end-effector가 움직여야 할 변위는 end-effector의 현재위치 $W_0(X_0, Y_0)$ 와 여기서 계산한 좌표 $[X, Y, Z_c]$ 의 차에 의해서 결정된다.

$$X_m = X - X_0 \quad (13)$$

$$Y_m = Y - Y_0 \quad (14)$$

$$Z_m = Z_H - Z_c \quad (15)$$

Z_H : 로봇의 end-effector가 움직인 후의 위치로서

사용된 카메라가 주어진 작업 환경과 조명하에서 대상체를 뚜렷하게 인식할 수 있는 범위안에서 결정되는 높이이다.

최소인식높이 < Z_H < 최대인식높이

2.2 카메라 계수 결정

카메라 계수 k_H 는 카메라와 렌즈에 의해서 결정되는 값이다. 본 연구에서는 해상도 640×480 pixel(수평 \times 수직)인 카메라와 16mm 렌즈를 사용하여 실험적으로 구하였다.

길이가 일정한 물체의 수직 상방향에서 높이를 일정하게 변화시켜가며 영상화한 후 영상면(크기 640×480)에서 측정된 길이 D 를 이용하여 다음과 같이 근사적인 카메라 계수를 구할 수가 있다.

Table 1. 카메라 계수

	높이 (mm)	실제길이 (mm)	측정된 길이 (pixel)	카메라계수 k_H	오차(mm)
1	300	300	175	174.5	$\frac{1}{10}$
2	310	"	169		
3	320	"	163		
4	330	"	158	173.28	$\frac{1}{10}$
5	340	"	153		
6	350	"	148		
7	360	"	144	172.57	$\frac{1}{10}$
8	370	"	140		
9	380	"	136		
10	390	"	132	171.8	$\frac{1}{10}$
11	400	"	129		

위의 Table 1. 에서 나타나듯이 높이가 달라짐에 따라 서로 다른 k_H 를 적용해야함을 알수 있다. 그 이유는 영상화할 물체로부터 카메라까지의 거리가 멀어질수록 카메라의 분해능(mm/pixel)이 저하되는 것이 주요인이다. 분해능을 향상시키는 방법으로 해상도가 높은 카메라를 사용하거나 촛점거리가 먼 렌즈를 사용하므로써 보완할 수 있다.

3. 형상 추출

3.1 에지 검출

에지 검출은 머신 비전 태스크에서 중요한 역할을 한다. 에지는 영상내에서 농도 불연속에 해당한다. 대부분의 머신 비전 태스크에서, 에지맵은 운동 해석과 피사체 인식 혹은 그보다 높은 단계의 비전처리에 있어서 없어서는 안 될 요소이다. 에지는 주로 어떤 장면에서 피사체들의 경계에 해당한다. 하지만 때로는 그림자나 표면을 표시하는 영상요소일 수도 있고 노이즈나 손상의 결과일 수도 있다. 많은 에지 검출자들이 제안되었으나, 그것들의 대부분은 노이즈가 없는 단순한 영상에 대해서는 합리적으로 에지를 검출해내지만 노이즈 영상에 대해서는 실패하는 경향이 있다. 일반적으로, 영상 평활화(image smoothing)은 해가 없다. 하지만 더 나은 방법은 에지 전후 관계의 정보를 사용하는 것이다.

에지 검출의 최종 목적은 농도변화를 일으키는 물리적인 과정의 향으로 영상의 농도변화를 특정화하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위해서는 적어도 두단계가 요구된다는 것은 일반적이다.

- 1) 농도변화의 특징화
- 2) 실제경계를 찾기 위해서 구조적이고 높은 단계의 지식 사용

농도 변화는 농도함수의 미분에 의해 검출된다. 1차 농도 미분의 국부 최대치와 2차 농도 미분의 제로 교차가 일반적으로 사용되는 두개의 특징이다. 이 미분 연산자들의 결과는 영상농도 변화를 기술하는 거친 에지맵이다.

영상면의 위치벡터 $c(x, y)$ 를 검출해내기 위해서 사용한 영상처리 전에 카메라로부터 취득된 영상으로부터 각각의 홀출 원형(prototype)에 가깝게 검출해내기 위해서 중위수 필터와 실험장치의 하드웨어적인 처리를 사용하여 노이즈와 그림자의 효과를 줄인다.

그림자와 노이즈에 의한 홀의 일그러짐 현상으로 인하여 홀이 타원 형상으로 나타날 수가 있다. 이런 홀 주위의 농도 변화는 완만하여 잘못된 결과에 이룰 수도 있다. 이런 홀들의

정확한 원형(prototype)복원을 위해서 취득된 영상 $f(x, y)$ 의 3×3 마스크를 이용한 각 방향의 1차 농도미분을 계산한다.

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x} \quad (16)$$

$$G_y = \frac{\partial f}{\partial y} \quad (17)$$

우리가 에지 검출을 위해서 필요한 것은 방정식(16) 과 (17)이 아니라 이 식들의 절댓값으로 나타나고 $G[f(x, y)]$ 로 표기되는 그레디언트(gradient)의 크기에 관심이 있다.

$$G[f(x, y)] = |G_x| + |G_y| \quad (18)$$

하지만 그레디언트만으로 노이즈나 그림자에 의해서 손상되고 일그러진 형상을 정확하게 복원할 수 없기 때문에 농도의 미세한 변화에도 민감한 2차 농도미분인 라플라시안 연산자(Laplacian operator)를 계산한다.

$$L[f(x, y)] = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (19)$$

여기서 라플라시안을 계산하기 위해서 우리는 앞에서 사용하였던 3×3 마스크중 4개의 인접 이웃 $N_4[f(x, y)]$ 의 정보를 사용한다.

원형홀의 경계를 검출해 내기 위해서 앞에서 제시된 방정식 (18) 과 (19)를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } G[f(x, y)] > T_G \text{ and} \\ & L[f(x, y)] > T_L \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (20)$$

$g(x, y)$: 검출된 2진 화상

T_G : 그레디언트의 크기조건에 사용된 임계치

T_L : 라플라시안의 크기조건에 사용된 임계치

위의 방정식 (20)을 사용하여 검출된 홀들로부터 우리가 필요로하는 정보인 중심점 좌표(CCS에 대한)와 홀들에 대한 지름의 길이를 계산할 수 있다. 먼저 중심점의 좌표 (\bar{x}, \bar{y}) 는 다음의 식들을 이용하여 계산한다.

$$\bar{x} = \frac{\int x dA}{\int dA} \quad (21)$$

$$\bar{y} = \frac{\int y dA}{\int dA} \quad (22)$$

A : 검출된 영역의 면적

x : 미소면적 dA 까지의 수평거리

y : 미소면적 dA 까지의 수직거리

여기서 단위는 pixel이다. 위의 방정식 (21) 과 (22)를 사용하여 영역분할법에 의해서 중심점의 좌표를 모두 구할 수 있다. 다음으로 영상으로부터 지름의 길이 측정은 각각의 홀의 중심점좌표 (\bar{x}, \bar{y}) 를 중심으로 수평 스캔시 나타나는 에지의 첫번째 픽셀의 x 좌표(x_1)과 마지막 픽셀의 x 좌표(x_2) 그리고 수직 스캔시 나타나는 에지의 첫번째 픽셀의 y 좌표(y_1)과 마지막 픽셀의 y 좌표(y_2)의 차에 의해서 계산한다.

$$D_H = x_2 - x_1 \quad (23)$$

$$D_L = y_2 - y_1 \quad (24)$$

D_H : CCS에 대한 x축 스캔시 측정된 길이(단위 : pixel)

D_L : CCS에 대한 y축 스캔시 측정된 길이(단위 : pixel)

방정식 (23) 과 (24)에 의해서 측정된 길이 중에서 더 긴 것이 선택된다.

$$D = \text{MAX}(D_H, D_L) \quad (25)$$

최종적으로 우리는 방정식 (21), (22) 그리고 (25)에 의해서 얻어진 정보를 이용하게 된다.

4. 실험

4.1 실험장치

본 연구에서 실험에 사용한 영상처리용 하드웨어는 MVB-02를 사용하였다. 이 영상처리용 보드에서 사용한 CPU는 디지털 영상을 고속으로 처리하기 위해서 TI사의 DSP TMS320C30를 채용하였다.

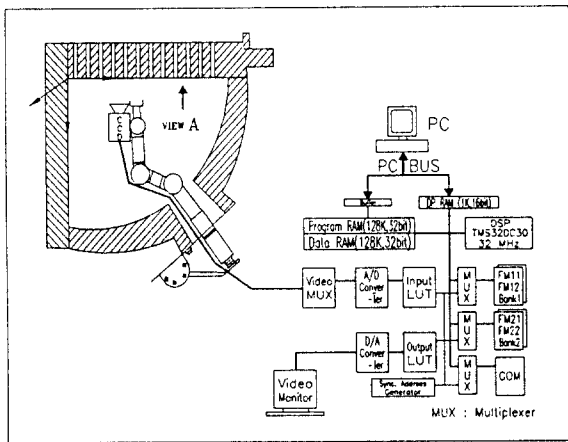


Fig. 3 The configuration of vision system.

Fig. 3은 비전 시스템의 전체 구조를 나타내는 것으로, 전체 비전 시스템의 구성은 카메라로부터 취득된 아날로그 영상은 video 멀티플렉서로 4:1 멀티플렉싱을 하여 A/D 변환기에 의해 디지털 영상 데이터로 변환되어 입력 LUT(look up table)로 입력된다. LUT를 통과한 영상 데이터는 비전 버스에 연결되며, <BANK1> 또는 <BANK2>의 프레임 메모리(frame memory, FM)에 입력되기 위해 MUX를 통과하게 된다. 이 멀티플렉서는 FM에 연결되는 어드레스 및 데이터 버스의 신호인 2개, 즉 vision bus와 DSP bus를 선택하는 역할을 한다. 출력 LUT를 통과한 영상 데이터는 D/A변환기를 통과함으로써 아날로그 비디오 신호로 변환되어 모니터에 출력된다. LUT는 A/D변환기를 거쳐서 디지털 변환된 데이터를 프레임 메모리에 저장하기전에 하드웨어적으로 일차원적인 변환을 하기위해서 메모리로 구성된 변환 테이블로서 이 LUT를 적절히 사용하므로써 영상 처리 시간을 단축시켜 영상속 물체의 실시간 윤곽 추출이 가능하게 한다.

586 PC에 FARA MVB-02비전 보드가 연결되어 서로 통신을 하면서 데이터나 파라메타들을 주고 받는데, 비전 보드의 CPU인 DSP와 PC와의 데이터 교신은 듀얼 포트 램(Dual-Port RAM, 1K x 16bit)을 통해서 이루어진다. 두 CPU간에 전달되는 데이터의 내용은 각 비전 함수들마다 정해져 있으며, 인터럽트 핸드셰이크에 의해 데이터 교신이 이루어진다.

4.2 실험방법및 결과

제안된 방법의 타당성을 입증하기 위하여 실 영상에 의한 실험을 수행하였다. 아래의 Fig. 4는 Fig. 3에서 스텝 제너레이터를 A부에서 보았을때 취득된 영상을 나타낸다.

본 실험에서 사용한 실험 대상체는 Fig. 3과 같은 구성을 모형화하여 실험하였다. 실험에 사용된 대상체는 가로x세로의 크기가 500x300mm 두께 20mm인 철판에 직경 30mm인 구멍을 구멍의 중심간의 거리가 60mm가 되도록 정방형으로 직경 30mm로 28개를 만들어 이 철판을 상부에 장착하

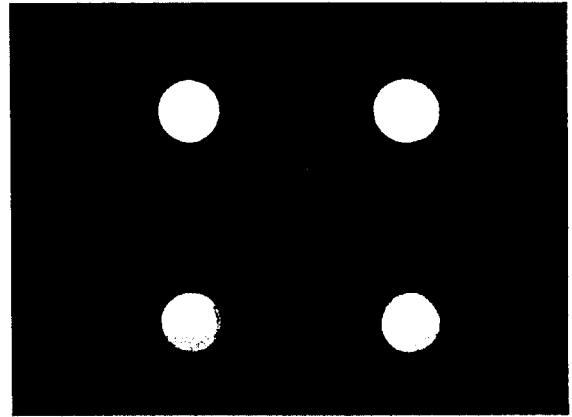


Fig. 4 The acquired image from camera when viewing A in Fig. 3.

고 CCD카메라로 수직 하방향에서 영상을 취득하는 모의 실험을 수행하였다. 조명은 카메라와 같은 방향에서 100w의 섬유광학조명기를 사용하였고 렌즈는 16mm렌즈를 사용하였다.

아래 Fig. 5는 Fig. 4에서 홀 주위의 농도값의 변화를 나타내는 것으로 첫번째 라인은 홀 주위에서 농도값의 변화가 분명한 것을 알수 있으나 세번째 라인은 홀의 경계 주변

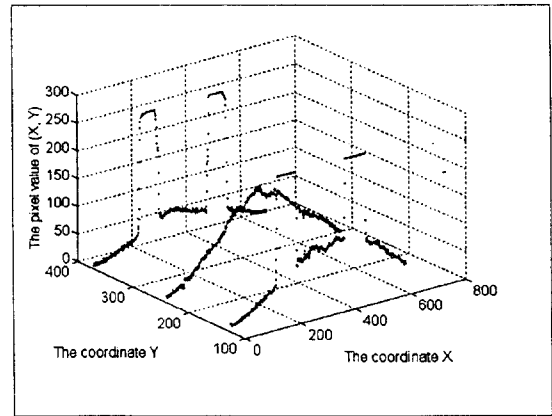


Fig. 5 The intensity distribution around circular holes and middle area.

에서 농도의 변화가 그림자와 노이즈에 의해서 완만하게 변화하는 것을 볼수가 있다.

Fig. 4의 원영상을 중위수 필터법에 의해서 영상 평활화 처리를 한후 방정식 (20)에 제시된 영상 처리 알고리즘으로 2진 영상으로 만들어 경계를 추출한다. 경계추출된 영상으로써 우리가 필요로하는 정보중의 하나인 홀의 중심점 좌표를 구하기 위하여 방정식 (21)과 (22)에 제시된 알고리즘을 적용하여 각각의 홀에 대한 중심점 좌표를 얻는다

얻어진 중심점 좌표의 정보를 이용하여 각 중심점 좌표 점을 기준하여 수평 · 수직 스캔 라인을 따라 방정식 (23)과

(24)를 사용하여 홀의 수평·수직 지름을 구하고 각각의 홀에 대하여 이 두 값을 비교하여 더 큰 값을 선택한다.

Fig. 6 은 위에서 제시된 영상처리 알고리즘을 적용하여

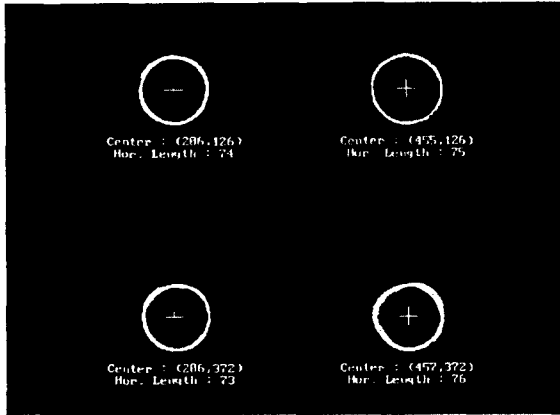


Fig. 6 The detected image using gradient and Laplacian operator.

얻어진 최종결과 영상을 나타내고 있다. 노이즈나 그림자의 효과가 비교적 적은 윗쪽 두개의 홀은 정확하게 홀의 중심점 좌표와 지름의 길이를 알려주었으나, 그림자에 의해서 일그러짐 현상이 나타나 보이는 아래쪽 두개의 홀은 중심점 좌표에 있어서 1~2pixel 정도의 오차를 나타나는 것을 볼 수가 있었고 지름의 길이 측정에서도 수평길이보다 수직길이 가 더 길게 나타나는 경우가 있었음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서의 DSP칩을 이용한 영상처리 시스템은 근본적으로 원형홀(circular hole)의 에지를 특징으로 채택하여 처리시간을 단축시키고 비전 보드상의 제한된 메모리를 사용하는데 있어서 효율성을 높이기 위하여 별도의 후처리 알고리즘의 적용없이 1차적인 처리의 결과에서 얻은 거친 에지맵(tough map)으로 부터 정보를 필요한 정보를 추출하였다. 실험 결과 제안된 방법을 이용한 형상인식 처리방법은 비교적 정확한 정보를 추출할 수 있었다.

향후 연구방향으로는 여기서 제안된 방법으로 시각처리 시스템과 로봇 매니플레이터와의 통합을 통하여 제안된 방법의 실제 성능을 평가하고 반복 실험을 통해 실제 실용화를 위한 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] P. I. Corke, "Visual Control of Robot Manipulators - A Review", K. Hasimoto, Visual Servoing, pp. 1-31, World Scientific, 1993.
- [2] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, and C. S. G. Lee, Robotics : Control, Sensing, Vision and Intelligence, McGraw-Hill, 1987.
- [3] S. W. Wijesoma, D. F. H. Wolfe, and R. J. Richards, "Eye-to-Hand Coordination for Vision-Guided Robot Control Application", Int. Jour. of Robotics Research, Vol. 12, No. 1, pp. 65-77, 1993.
- [4] Parrick Gros, "Matching and Clustering: Two Steps Toward Automatic Object Modeling in Computer Vision", Int. Jour. of Robotics Research, Vol. 14, No. 6, pp. 633-642, 1993.
- [5] "TMS320 Floating-Point DSP Optimizing C Compiler User'S Guide", 1993.

- [6] P. N. Suganthan, E. K. Teoh, and D. P. Mital, "Pattern Recognition by Matching the Potts MFT Neural Networks", Pattern Recognition, Vol. 28, No. 7, pp. 997-1009, Pattern Recognition Society, 1995.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.
- [8] S. S. Iyengar and W. Deng, "An Efficient Edge Detection Algorithm using Relaxation Labeling Technique", Pattern Recognition, Vol. 28, No. 4, pp. 519-536, Pattern Recognition Society, 1995.
- [9] 여인재, 박희재, 박춘열, "Development of 3Dimensional Inspection System for Bicycle Frame using CCD Camera", 한국정밀공학회 '95년도 추계학술대회논문집, pp. 492-498, 1995.