

제 13 장 영상을 이용한 계측

13.1 개요

물체에 대하여 촬상소자를 사용한 카메라로 영상을 획득하고 컴퓨터로 처리하여 물체의 위치, 크기, 형상 등을 구하는 방법. 더 나아가 영상을 컴퓨터로 처리하고 인공지능 기술을 접목하여 글씨 인식, 얼굴 인식, 불량품 판정 등에 사용된다. Machine Vision이라고도 한다.

응용분야; 기계, 전자 분야; 물체의 위치, 크기 측정, 형상 파악, 품질관리 (양품, 불량품 판정)
mobile robot guide - road map : stereo pair , 3D range
글씨 인식, 얼굴 인식
medical images - 진단
satellite image analysis - forecasting, global change

사진 필름; spacing b.w. grains; $5 \mu\text{m}$
size in cross section; $0.5 \mu\text{m}^2$

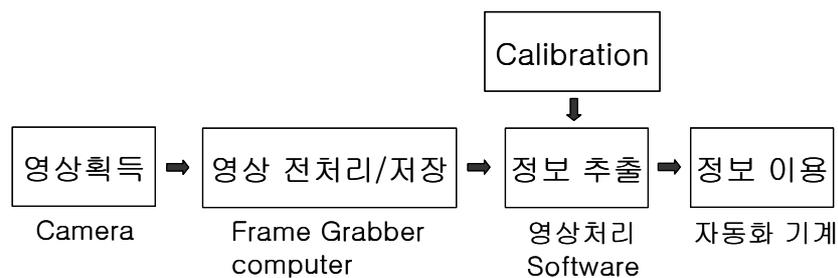
Human vision (eye); space b.w. cones in fovea; 30 arc seconds ($1/120$ 도)
resolution; $1/60$ 도 $\rightarrow 0.3 \times 10^{-3}$ rad.

* 영상처리 관련 문제

Modelling of the real world from images

3D information to 2D projection

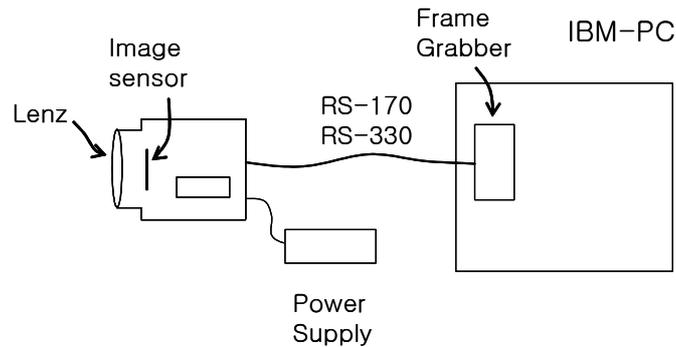
Recovering 3D information needs many to one mapping



영상을 이용한 계측 과정

13.2 영상처리 장치 (Hardware)

1) 2차원 영상 획득 장치



2차원 영상 계측 장치 hardware

2) Camera

image sensor; Vidicon, CCD, CMOS

CCD(Charge Coupled Device)

γ parameter;

$$\gamma = \log(I/I_w) / \log(E/E_w)$$

I_w ; signal reference, E_w ; illumination reference

카메라 출력 신호; 아날로그 카메라: 흑백; RS-170, 컬러; RS-330

RS-170 Standard Specification

출력 신호 크기: 1 Vpp

수평동기신호

수직동기신호

영상신호

RS-170 Composite Video Signal

Frame

Field

2:1 Interlace

Non-Interlace

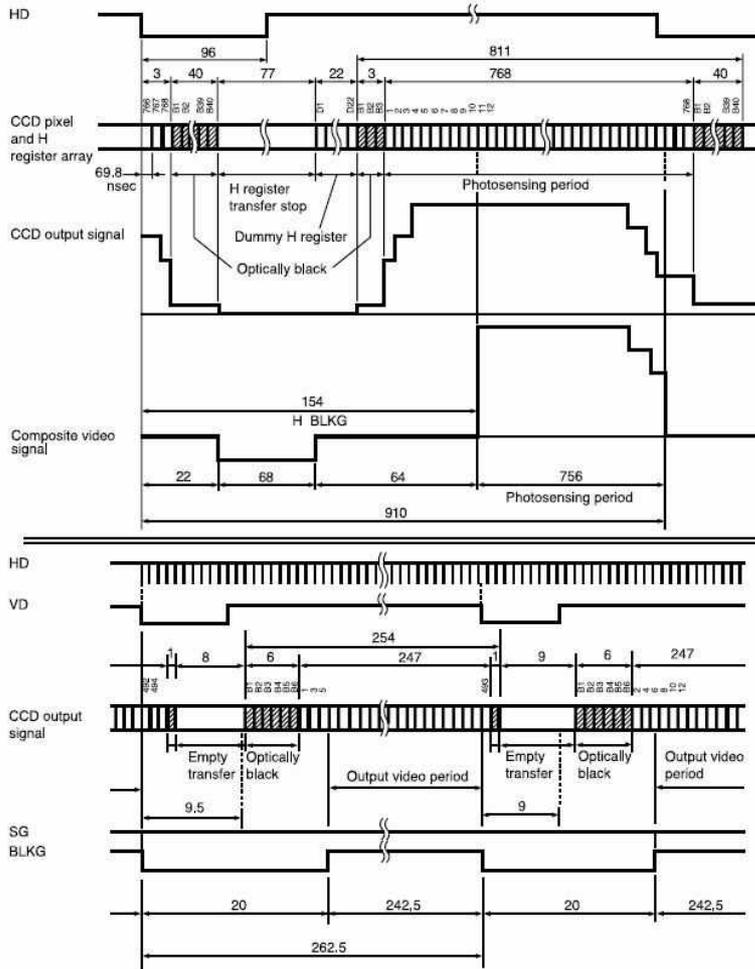


Sony XC-75

SONY CCD Camera XC-75

Item	Value
Optical size	1/2 inch format
Effective picture elements	768(H)x494(V)
Total No. of Pixel	811(H)x508(V)
Chip size	7.95 mm (H) x 6.45 mm (V)
Unit cell size	8.4 μm (H) x 9.8 μm (V)

EIA(XC-75/75L/73/73L)



Sony CCD camera timing diagram

3) Image Processing Board (Frame Grabber)

카메라에서 획득한 영상에 대한 신호를 컴퓨터가 처리 할 수 있도록, 영상 신호를 디지털로 변환하여 메모리에 저장한다.

Sampling; spatial digitization

Quantization ; gray level digitization -> gray level

pixel; one sample point

(1) Frame grabber의 구조

* 구성품;

synchronization

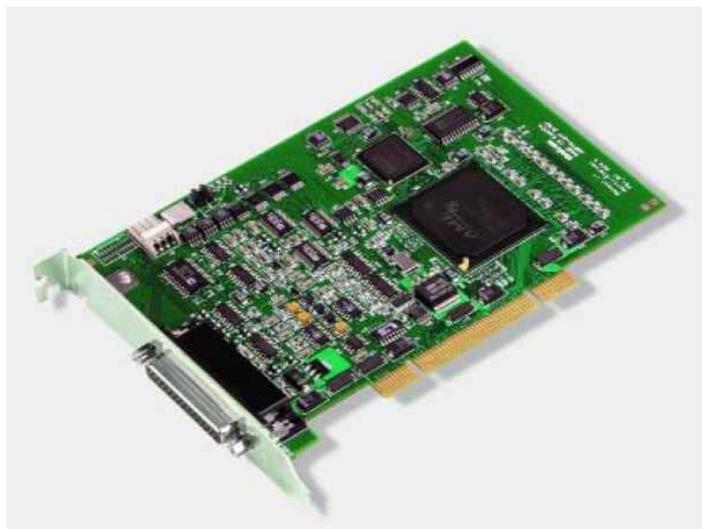
A/D Converter

Look Up Table

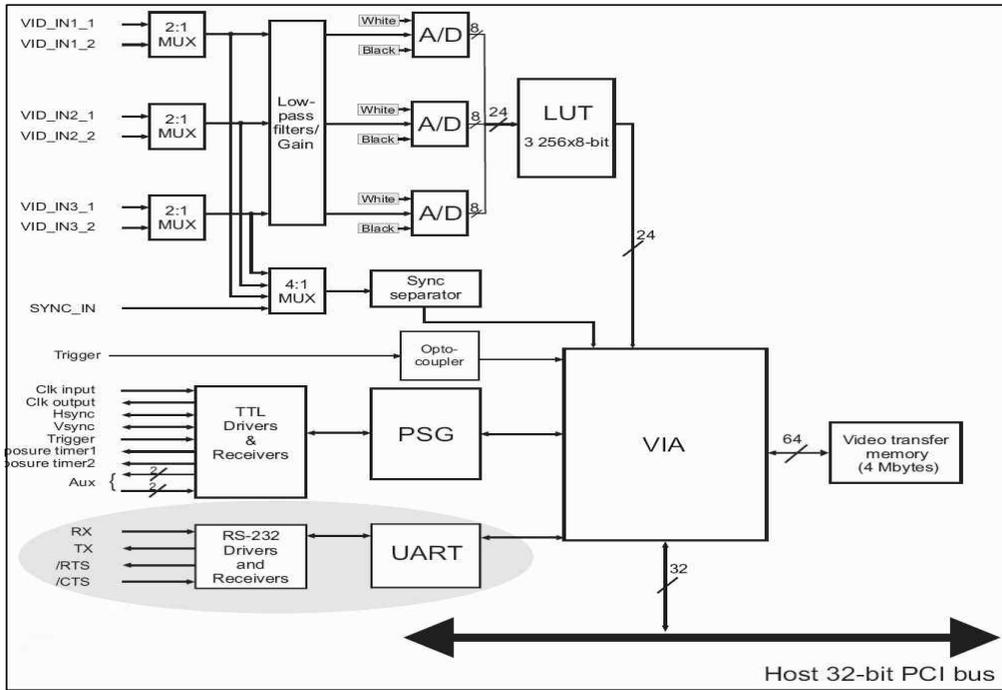
Memory

Processor; ALU, DSP

(2) Frame grabber의 예



Matrox meteor II frame grabber



Matrox meteor II frame grabber schematic diagram

13.3 Image Geometry

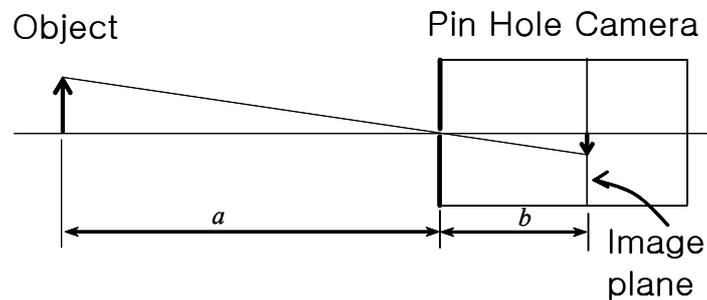
* 물체 표면에서 빛의 반사 특성

- 난반사 (Lambertian reflection)
모든 방향으로 uniform하게 반사
- 경면반사 (specular reflection)
표면의 법선을 기준으로 같은 각도로 반사

물체상의 점의 좌표와 영상면상의 점의 좌표의 관계

1) Pin hole camera

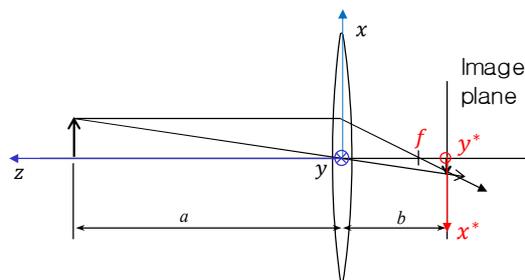
영상의 크기가 핀홀부터 물체까지 거리에 의하여 결정됨.



Pin hole camera

2) Thin lens의 기하학

볼록렌즈 (convex lens)가 두께가 얇을 경우 (thin lens)에, 물체의 위치와 상의 위치가 핀홀 카메라와 같은 기하학적인 관계를 갖는 것으로 가정



볼록렌즈의 굴절

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow b = \frac{af}{a-f}$$

$$\frac{x}{a} = \frac{x^*}{b} \Rightarrow x^* = \frac{b}{a}x$$

$$x^* = \frac{f}{a-f}x$$

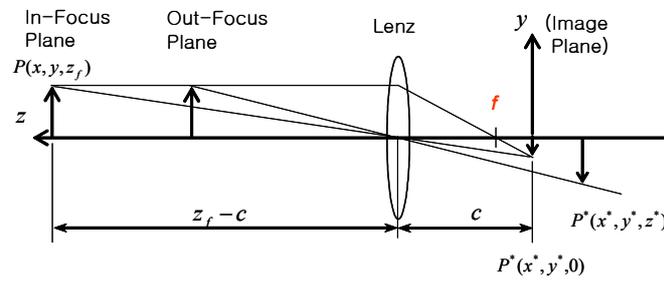
Image plane이 초점거리에 있을 경우

$$T_L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{f} & -1 \end{bmatrix}, \quad p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad p^* = T_L p, \quad p^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{f} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ -1 + \frac{z}{f} \end{bmatrix}, \quad p^* = \begin{bmatrix} \frac{f}{z-f} x \\ \frac{f}{z-f} y \\ \frac{f}{z-f} z \\ 1 \end{bmatrix}$$

*무한대 거리에 있는 물체만 정확히 image가 형성된다.

3) CCTV 카메라 관계식

image plane $z=0$ 이고, lens가 이로부터 z 방향으로 c 의 위치에 있고, 물체가 in-focus plane (x, y, z_f) 에 있을 때, 상의 좌표 (x^*, y^*) 는 다음과 같다.



렌즈 영상 관계로부터

$$\frac{1}{z_f - c} + \frac{1}{c} = \frac{1}{f}$$

위의 식으로부터 c 는 다음과 같다.

$$c = \frac{z_f \pm \sqrt{z_f^2 - 4fz_f}}{2} \quad c = \frac{z_f - \sqrt{z_f^2 - 4fz_f}}{2}$$

ex) $f=25$ mm, $z_f = 1000$ mm $\Rightarrow c = 974.3416$ mm, 25.65835 mm

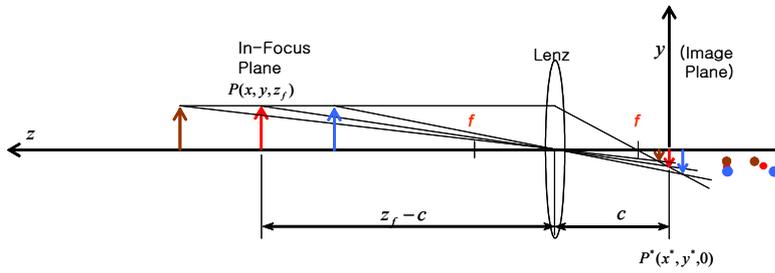
$c = 974.3416$ mm은 기하학적으로 맞지 않으므로, $c = 25.65835$ mm 이다.

$$z_f - c : y = c : y^*$$

$$x^* = \frac{c}{z_f - c} x \quad y^* = \frac{c}{z_f - c} y$$

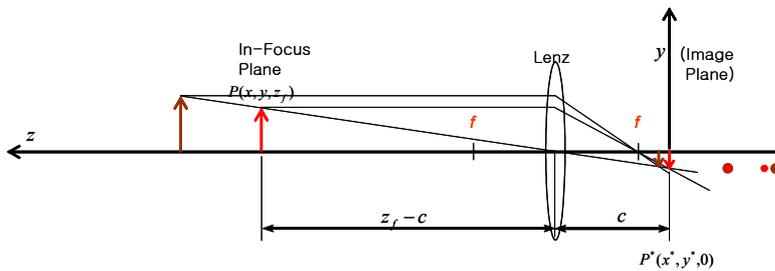
4) 물체의 위치 변화 와 영상의 관계

(1)



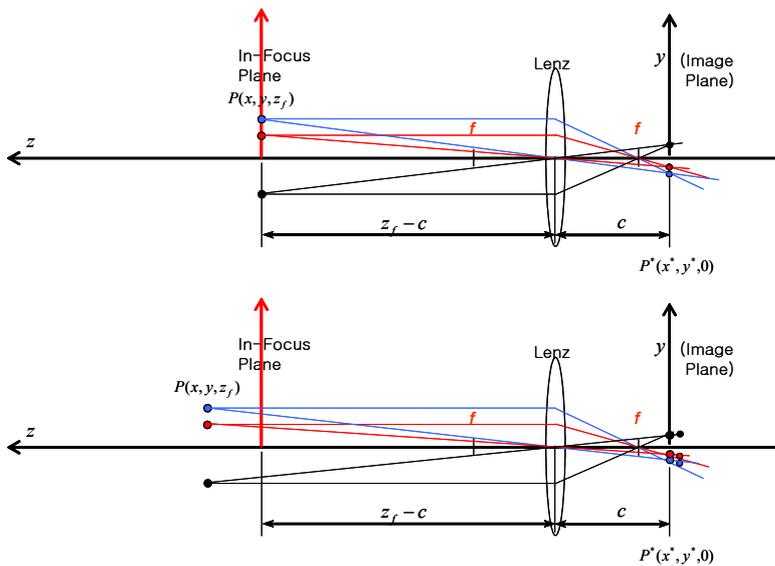
* 물체가 렌즈에서 멀어질수록 영상은 광축을 기준으로 가까워진다.

(2)



* 영상 면에서 한 점은 그 점과 렌즈의 중심을 통과하는 직선 상의 모든 점과 대응된다. 따라서 한 점의 영상으로는 물체의 위치를 파악할 수 없다.

(3)



* 3개의 점들을 관찰하면 in-focus plane에서 렌즈의 반대 방향으로 멀어질수록 광축으로 모여며 간격이 좁혀진다.

13.4 영상처리 (Image processing)

1) Coordinate System

World coordinate ; (x, y, z)

Camera coordinate; (x', y', z') (pixel 단위)

Image coordinate; $(i, j, 0)$ (pixel 단위)

* Image definitions

가정; origin of image plane coord. = center of array
for $m \times n$ image

$$x' = j - \frac{m-1}{2}$$

$$y' = -(i - \frac{n-1}{2})$$

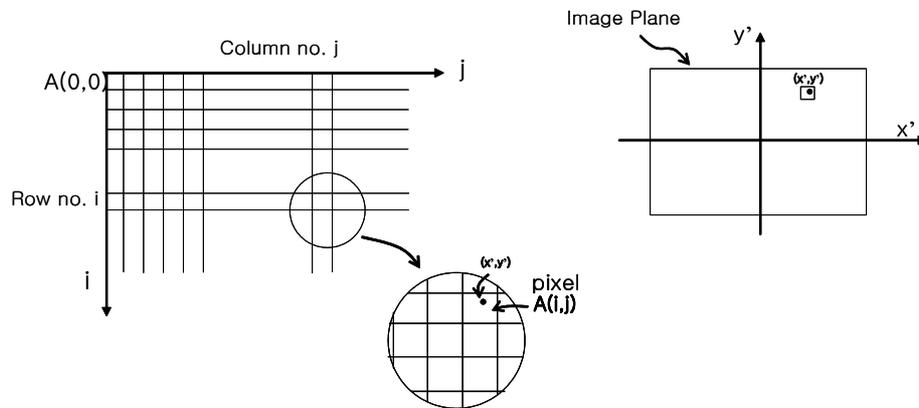


그림 13.14 영상 좌표

화소좌표 (i, j) 는 방향과 중심화소좌표를 고려하면

$$i = d_{i0} - \left(\frac{y^*}{d_{cy}}\right) \quad j = \frac{x^*}{d_{cx}} + d_{j0}, \quad (d_{i0}, d_{j0}): \text{중심화소 번호}$$

$$\begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{d_{cy}} \\ \frac{1}{d_{cx}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^* \\ y^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{i0} \\ d_{j0} \end{bmatrix}$$

2) Calibration

1) 캘리브레이션의 필요성

- 물체가 있는 좌표계와 카메라의 영상 좌표의 관계를 구함.
- calibration 의 필요성;
 - aspect ratio; x, y 방향에 따라 pixel간의 간격이 다름
 - lens distortion
 - camera mechanical error ; CCD alignment error, lens alignment error, etc.

2) Calibration matrix

- Translation, Rotation, Perspective Projection

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- scale factor (aspect ratio)
- distortion factor

* 캘리브레이션 지그를 사용

높은 정밀도를 갖도록 특징점들 2차원 또는 3차원으로 배치한 지그.

* 참고

광학식 측정방법에서 사용되는 렌즈가 갖는 오차(Seidel aberrations)

monochromatic aberrations; 구면수차, 코마(coma), 비점수차(非點收差), 상의 곡률, 일그러짐
chromatic aberrations; 색수차

- spherical aberration (구면수차); 평행광선일 경우에도 근축광선은 굴절각이 적고, 광축에서 먼 광선의 굴절각이 크기 때문에 발생.
- coma (혜성형 수차); 빛이 렌즈 면에 수직이 아니고 비스듬히 입사될 때 (물체가 근축위에 있지 않을 경우) 상에 꼬리가 생김
- astigmatism (비점수차); 수평 평면과 수직평면상의 빛이 다르게 초점이 맺힘
- field curvature (상의 곡률); 근축상의 물체의 상과 광축에서 먼 물체의 상의 위치가 다름.
- distortion: pin cushion distortion (오목 일그러짐), barrel distortion (볼록 일그러짐)
- chromatic aberration: 색수차, 빛의 파장에 따라서 굴절율이 다르기 때문에 발생

3) Image Data (Digital value)

- gray level image: image pixel (화소)의 값이 8bit gray level 0 ~ 255

- color image: R, G, B

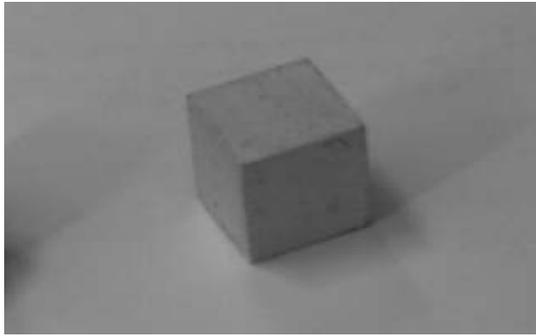
H, S, I

기타

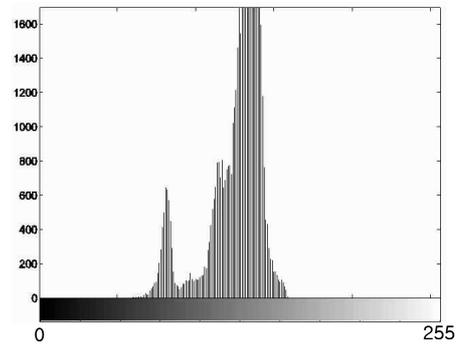
하나의 화소는 3개의 성분으로 표시, 각 성분은 8bit gray level 0 ~ 255

- binary image: image pixel (화소)의 값이 0 또는 1

4) 히스토그램(Histogram)



gray level image

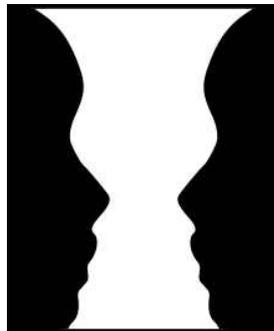


히스토그램

* 영상 예



Color image: lenna



* 인간은 판단하나, 컴퓨터는 판단력이 없다.

13.5 영상 계측 이용 예

영상처리를 이용한 캐리어 테이프 검사⁽¹⁾

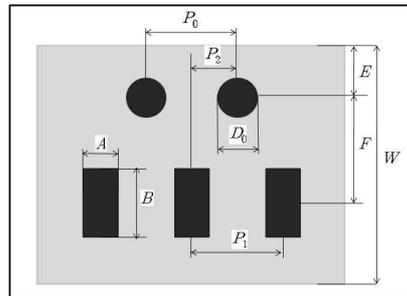
1) 서론

반도체 부품을 포장하는 캐리어 테이프(Carrier tape)의 품질은 자동화 공정의 생산성과 밀접하게 관련되어 있다.

현재 캐리어 테이프는 롤 단위로 생산을 하며, 이때 처음 부분과 끝 부분을 작업자가 잘라서 품질 검사를 하고 있다. 이와 같은 이유로 중간 지점에서 발생하는 불량을 판별하는데 어려움이 있다. 이에 본 논문은 영상처리 기술을 이용한 품질 검사 방법을 개발하여 검사과정에서의 문제점을 해결하고 캐리어 테이프의 품질향상에 기여하고자 한다.

2) Carrier Tape 검사

생산된 캐리어 테이프의 검사는 Fig. 13-1에 표시된 부분의 치수를 측정하여 허용 치수와 비교하여 불량 여부를 판별하게 된다.

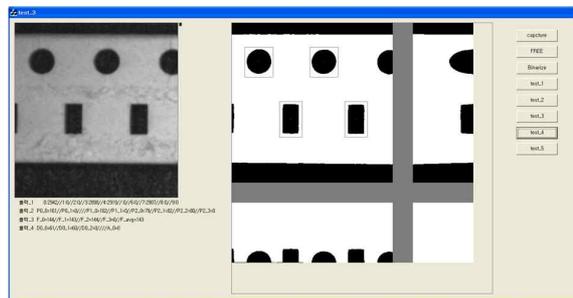


Carrier tape 검사 항목

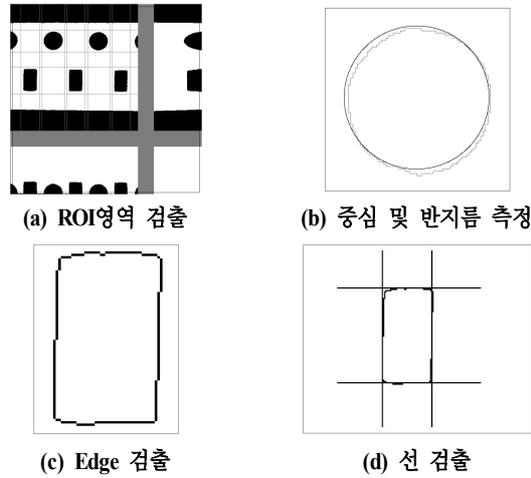
3) 프로그램 개발

본 논문에서는 Visual Studio 2006의 MFC와 Matrox 보드, SONY 사의 Camera를 이용하여 프로그램을 개발한다.

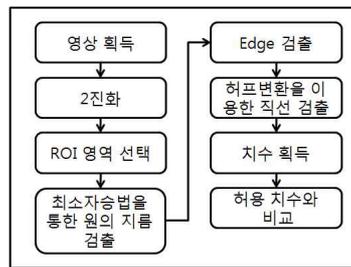
Fig. 13-2는 개발한 프로그램의 메인 창이며 ROI 영역을 선정하는 것을 보여주고 있다. 창의 좌측 영상은 입력 영상으로서 캐리어 테이프를 촬영한 영상이고, 이를 2진화 한 후 우측과 하단에 히스토그램을 작성하여 ROI 영역을 선정하게 된다.⁽²⁾



Main Window



주요 영상 처리 과정



프로그램 순서도

Fig. 13-3 (a)는 히스토그램 기법을 이용하여 ROI 영역을 선정하는 영상이고, (b)는 최소자승법을 이용하여 원의 중심과 반지름을 측정하는 영상이다.⁽³⁾ (c)는 사각형의 폭과 높이를 구하기 위하여 Edge검출 영상이고, (d)는 허프 변환을 이용하여 Edge영상에서 선을 찾는 영상이다. Fig. 13-4는 전체 프로그램의 진행 순서도를 나타내고 있다. 이와 같은 방법을 통하여 원과 사각형의 중심을 찾고 지름 및 길이를 측정하여 캐리어 테이프의 검사 항목의 치수들을 모두 측정 할 수 있다.

4) 결론

개발한 프로그램을 통해서 작업자가 진행하는 품질 검사를 대신하여 생산 속도를 높일 수 있으며, 생산 기기에 본 기술을 적용시키면 생산도중에도 품질 검사를 실시간으로 진행하여 높은 품질의 제품을 생산할 수 있다.

참고 문헌

- (1) 정규원, 박석희, “영상처리를 이용한 캐리어테이프검사”, Proce. of 2013 KSMTE Fall conference, 2013, Oct. 17-18, p.302, 제주 KAL호텔,
- (2) 신중홍, 장선봉, 지인호, “디지털 영상처리 입문”, 한빛미디어, 2008
- (3) 박준호, “정밀측정시스템공학”, 야정문화사, 2001

속 업서버의 구성품인 외측 튜브 검사

속 업서버의 구성품인 외측 튜브에 뚫린 구멍의 위치와 진원도를 검사
 그 구멍을 이용하여 속 업서버를 차체에 고정하기 때문에 위치와 진원도가 설계 공차 이내로 정확하여야 함.

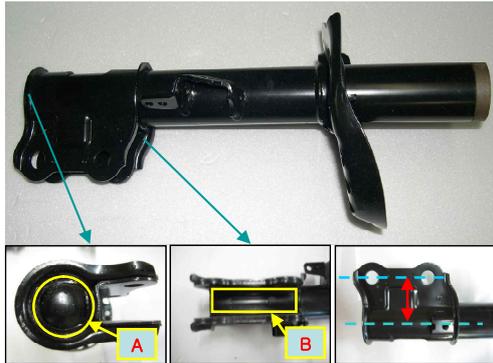


그림 13.12 Shock absorber outer tube assembly

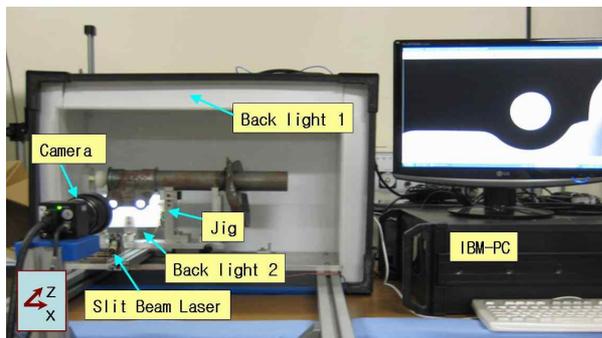


그림 13.27 Inspection system using image processing

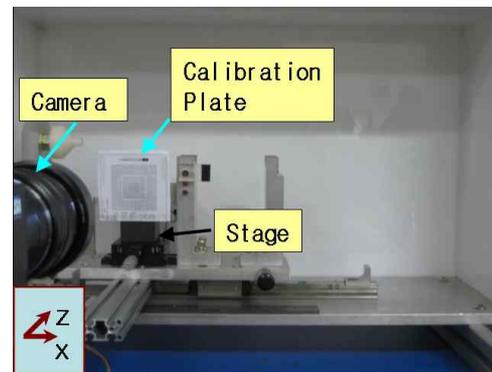


그림 13.14 Calibration of the camera image

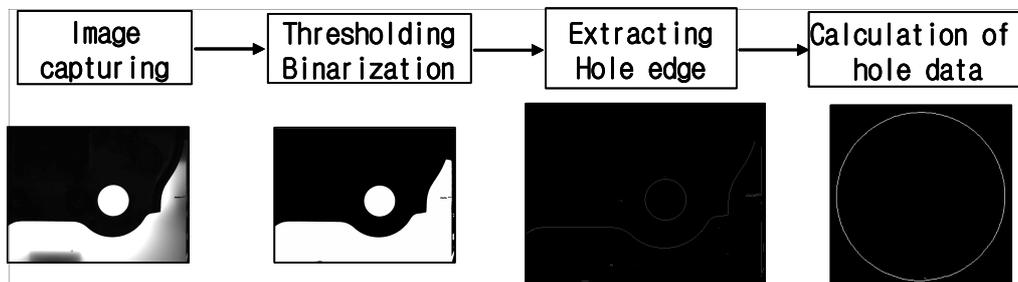


그림 13.29 Sequence of image processing

13.6 3-D measurement

1) 구조적 조명 이용 방법

물체에 구조화된 빛 (예; 일정한 각도를 갖는 평면 빔)을 조사하고 영상을 획득 삼각법 (triangulation geometry)을 이용하여 물체 좌표와 영상좌표의 관계를 계산.

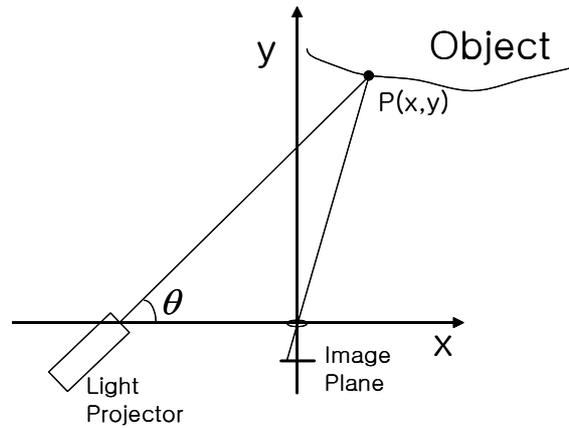


그림 13.30 Structured light imaging system

2) 2대의 카메라를 이용한 방법

binocular (stereo) imaging system

2 대의 카메라를 이용하여 물체의 영상을 각각 획득하고, 물체상의 점 $P(x,y)$ 에 대응하는 영상면상의 점 $a(u_1,v_1)$ 과 점 $b(u_2,v_2)$ 의 관계식을 이용하여 좌표 (x,y) 를 구함.

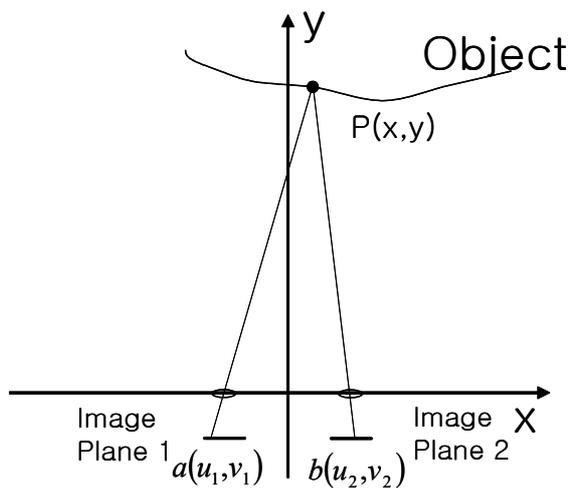


그림 13.31 Stereo camera imaging system