

광학렌즈 자동 검사용 지능형 로봇 비전 시스템 개발

정동연*, 장영희+, 차보남**, 한성현***

Development of Intelligent Robot Vision System for Automatic Inspection of Optical Lens

Dong-Yean Jung*, Young-Hee Jang+, Bo-Nam Cha**, Sung-Hyn Han***

Abstract

Developed shape awareness technology and vision technology for optical lens slant in this research, and including external form state of lens for the performance verification, developed so that can be good, achieve badness finding. And, establish to existing reflex data because inputting surface badness degree of scratch's standard specification condition directly, and error designed to distinguish from product more than schedule error to badness product by normalcy product within schedule extent after calculate the error comparing actuality measurement reflex data and standard reflex data mutually. Developed system to smallest 1pixel unit though measuring is possible 1pixel as $3.7\mu\text{m} \times 3.7\mu\text{m} (0.1369 \times 10^{-4} \text{mm}^2)$ the accuracy to 10^{-1}mm minutely measuring is possible performance verification and trust ability through an experiment prove.

Key Words : Robot Vision System, Automatic Inspection, Optical Lens

1. 서론

광학렌즈의 활용분야는 PC카메라, WEB카메라, 디지털 카메라, 화상 휴대폰 및 IMT2000의 렌즈, 보드렌즈, 그리고 안경산업 및 휴대폰산업 등에 이르기까지 매우 광범위 하므로, 관련산업분야의 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

국내·외 관련 기술의 현황은 현재의 국내에 카메라 등에 사용되는 광학렌즈를 제조하는 가공업체는 약 10개 업체와 일본과 중국의 해외 현지업체, 기타 임가공 업체 등

이 있다. 그리고, 관련 광학렌즈는 국내주요 업체들과 미국의 약 2개사에서 생산되는 양으로 전세계에 대부분이 공급되고 있다고 할 수 있다. 물론, 중국에서도 광학렌즈 생산업체들이 많이 있어 싼 노동력을 활용한 낮은 가격으로 국내업체들을 위협하는 실정이고, 러시아에서도 일부 광학렌즈를 가공 생산하고 있지만 아직까지 정밀 렌즈가 공기기술에는 국내기술의 품질에 못 미치고 있다. 하지만, 현재까지 렌즈가공기술 및 제품의 품질은 국내제품이 기술경쟁력을 지니고 있지만, 광학렌즈 가공제조공정의 기

* 정동연, 경남대학교 대학원 기계설계학과
주소: 631-701 경남 마산시 월영동 449

+ 한국DNS

++ 대우종합기계

+++ 경남대학교 기계자동화공학부

술이 매우 취약하여 대부분 수작업 공정으로 진행되어서 생산능력이 부족하여 외국 주문량의 생산을 유지하기가 어려운 실정이다.

이와 같은 시대의 흐름에 부응하여 소비자의 요구에 따라 모든 시스템의 지능화·첨단화가 추구되면서 화상처리기술, 영상인식 그리고 시스템의 시각화 기능이 요구되면서부터 매우 중요한 산업분야로 부각된 초정밀렌즈의 품질향상을 위해 공정 자동화를 위한 지능형 로봇 비전 시스템 개발이 시급한 실정이다

로봇 비전에 대한 초창기의 연구는 주로 2차원 정보를 얻는데 초점을 두어 왔다. Makhlin⁽¹⁾은 카메라를 수직으로 설치해 이진 영상(Binary Image)으로 원형 형상의 위치를 알아내어 전기 모터의 조립을 수행하였다. Moshe Shoham⁽²⁾은 4개의 요소로 구성된 스폿(Spot)감지기로 2차원 상에서 방향과 속도 정보를 이용하여 용접선을 추적하는 작업을 수행하였다. Hitachi⁽³⁾에서는 전자 소자를 PCB에 삽입하는 과정에서 단면의 형상을 인식하여 방향을 맞추는데 이용하였다. 자동화 발달과 더불어 3차원 물체의 형상이나 위치 및 방향 정보를 얻어내는 연구가 활성화되었다. Birk⁽⁴⁾⁽⁵⁾는 핸드내에 있는 물체의 상태를 알 때 효과적으로 로봇을 조작하는 이론적인 연구를 하였다. Choi⁽⁶⁾는 카메라로부터 얻어진 2차원 화상 데이터와 그 물체의 모서리가 작업 테이블에 수직이라는 제약 조건을 추가하여 원형 단면 형상 물체의 3차원 정보를 얻어내는 방법을 제시하였다.

90년대 후반에 들어 CPU의 놀라운 처리성능 향상, 고속 대용량 Memory의 발전, 고기능 Camera의 탄생 등 주변기술의 고 기능화 및 저 가격화가 이루어지면서 전 세계적으로 비약적으로 발전하고 있는 분야이며, 비접촉 검사용 비전 시스템은 FA분야에서 필수적인 핵심요소로 까지 여겨지게 되었고, 일반 기업에서도 신뢰성 있는 비접촉 검사용 비전 시스템의 도입이 근래에 와서는 그리 부담스럽지 않은 상황이라고 판단된다. 전 세계적인 추이로 보면 비교적 단순기능의 Sensing 처리 방식은 저가의 비접촉 검사용 비전 시스템의 출현이 조만간에 예견되며 기타 범용 장비도 저가 격화 추세에 있으며 특정분야에 응용되는 고기능, 고성능 제품 등은 향후에도 상대적으로 고가를 유지할 전망이다.

현재, 비접촉 검사용 비전시스템의 국내 실정은 외산의 상용장비의 도입이 주류이며 일부 업체들에서 외산 핵심 장치를 근간으로 하고 처리목적에 맞게 Program 만을 개발하는 형태로 업무를 진행하는 형식이 대부분이라고 할 수 있다. 소수의 일부 기업들에서 핵심 처리 장치를 개발하려고 시도되고 있으며 현재 상용화 된 것은 거의 없는 실정이다.

또한, 이 분야의 응용기술은 여러 업체에서 노하우를 쌓아가며 연구개발에 박차를 가하고 있고 향후 국내 기술도 진일보 할 것으로 기대 된다. 기업의 경쟁력 확보에 비접촉 검사용 비전 시스템의 역할은 지대 할 것으로 판단되는데 그 이유는 경쟁력 강화를 위한 품질 보증, 인력 절감 생산성 향상 등 다양한 분야에 확대 적용이 기대되며 첨단 정밀 분야인 광학기기, 반도체, 디스플레이, 광학재료 및 정밀부품 분야 등에서는 비전 기술에 의한 검사/계측이 더욱 절실할 것으로 보인다.

따라서, 본 연구에서는 비접촉 검사용 비전 시스템을 설계 개발하여 렌즈의 가공 정밀도 및 외형상태를 비롯하여, 양·불량 판정을 수행할 수 있는 광학렌즈 자동 검사용 로봇 비전 시스템을 설계하고 그 성능을 검증한다.

2. 자동검사를 위한 비전 시스템 설계

2.1 영상 스트레스싱

영상 스트레스싱(Image Thresholding)은 그레이 레벨(gray level)의 연속색조(continuous-tone) 영상을 2진 레벨(binary level)의 흑백 영상으로 변환하는 기법이다. 지정된 스트레스싱(threshold) 아래의 픽셀(pixel)값은 모두 블랙(black)으로 변환되고, 스트레스싱에 있거나 그 위에 있는 픽셀 값은 화이트(white)로 변환된다.

영상 스트레스싱은 윤곽선 추출(edge detection)을 하기 전에 수행하는 과정으로써, 윤곽선을 추출하는데 혼란을 초래할지도 모르는 정보를 제거하기 위해 이용되는 과정으로, 영상처리과정에서 가장 보편적으로 이용된다.

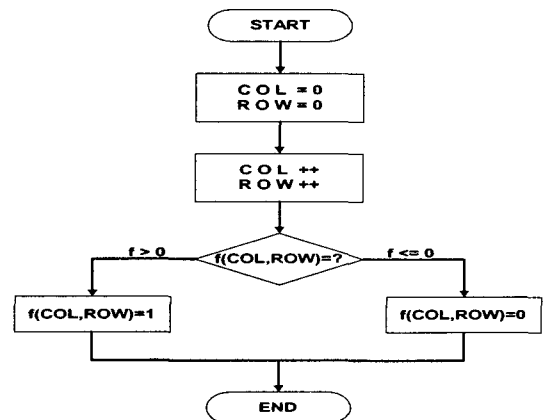


Fig. 1 Flowchart of threshold

스레스홀드의 수식은 다음 식(1)과 같다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $F(X, Y)$ 와 $g(x, y)$ 는 각각 영상처리전후의 (x, y) 에 있는 화소의 농도값을, t 는 경계값을 나타낸다.

본 연구에서 수행한 스레스홀드 흐름도는 Fig. 1과 같다.

2.2 영상분할

본 연구에서 영상분할은 스레스홀딩에 의해 처리된 흑백 영상의 색정보를 이용하여 입력 영상에서 인식에 필요한 제품의 형상이 있는 부분만을 추출하였다. 분할할 부분의 열(column)의 시작 부분을 찾는 알고리즘은 Fig. 2와 같고, 분할할 부분의 줄(row)의 시작 부분의 알고리즘은 그림 Fig. 2를 기본으로 두 군데를 수정하면 된다. 즉, 임의의 열(column)과 다음 열의 비교 대신 열의 위치는 같고 임의의 줄(row)과 다음 줄에 위치한 픽셀과의 부분과, Min x 대신 Min y를 구하면 된다.

다음 흐름도는 분할할 부분의 열(column)의 끝 부분 위치를 찾는 흐름도인데, 줄(row)의 끝 부분을 찾는 방법은 Fig. 3에서 임의의 열과 그 앞의 열의 비교 대신 임의의 줄과 그 앞 줄을 비교하고, Max x 대신 Max y를 구하면 된다.

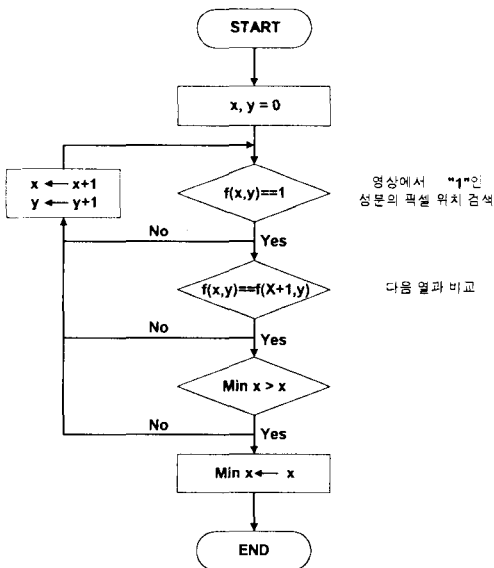


Fig. 2. Flowchart of Initial Column for segment region

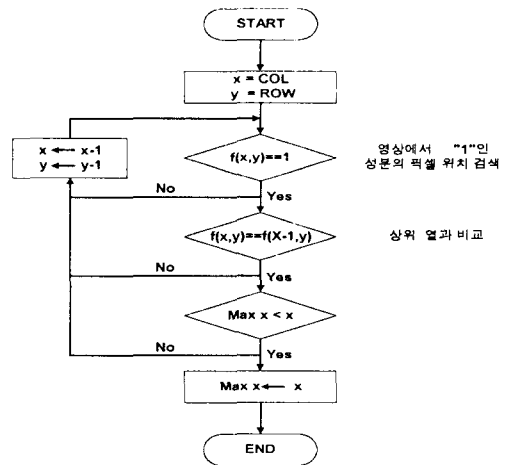


Fig. 3. Flowchart to find the end column for segment region

2.3 윤곽선 추출

윤곽선을 추출하는 알고리즘은 미분 연산에 의한 기법과 마스크(mask)와 정합(matching)에 의한 기법 등이 있는데, 본 연구에서는 사용하는 패턴의 윤곽선을 추출하는 알고리즘은 영상 스레스홀(Image threshold)를 통한 평활화 과정을 거쳐 2진값으로 변환시킨 후 윤곽선 추출 작업을 수행하였다.

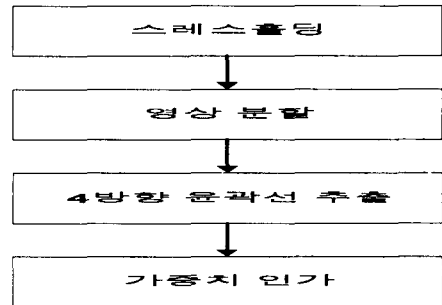


Fig. 4. Flowchart of edge detection

본 연구에서 수행한 알고리즘은 한 번의 스캔으로 상·하·좌·우 4방향 윤곽선을 추출한다. 스캔하면서 임의의 픽셀과 그 다음 스캔되는 픽셀과 비교하여 변화가 생기면 그 정보에 의해 윤곽선을 추출한다. 또한 잡음에 민감하게 반응하지 않도록 알고리즘이 설계되어 있기 때문에 잡음 제거과정의 전처리 단계를 거치지 않고 스레스홀드 과정을 수행한 후 윤곽선 추출 과정을 수행하였다. 본 알고리즘의 윤곽선 추출 흐름도는 Fig. 4와 같다.

2.4 특징값 추출

입력된 영상의 패턴을 인식하기 위하여 가중치(weight value)가 인가된 매트릭스(matrix)를 통해 입력된 영상에서 추출된 윤곽선과 정합(matching)시켜 영상의 특징값을 결정한다. 패턴 영상의 테이터 분포에 따라 매트릭스의 가중치 인가 방법을 조절한다. 가중치인가 방법에 따라 특징값이 민감하게 변화하기 때문에 가장 안정적인 특징값을 추출하기 위하여 많은 모의 실험이 필요하다.

본 연구에서 제안한 가중치 인가방법은 주어진 형상의 데이터를 분석하여 볼 때 데이터의 분포가 주로 중앙에 밀집하여 있기 때문에 가중치의 값도 중앙에 비중을 두어 인가하였다.

3. 검사용 비전 시스템의 주요 구성 요소 및 특징

비전 소프트웨어는 호스트 컴퓨터의 운영체제(Operation System)하에서 동작하며, 호스트 컴퓨터의 한 어플리케이션 소프트웨어로 작동한다. 그러므로, 본 연구에서 적용한 Matrox Meteor-II 영상처리보드는 여러 기능을 가지고 있는 시스템의 한 모듈로서 응용될 수 있기 때문에 시스템 인터그레이션에 의한 특정용도의 시스템 개발이 편리하도록 설계되었다.

렌즈 검사용 비전 시스템의 주요 구성요소는 카메라, 렌즈, 비전 모니터, 조명, 영상처리보드, 검사용 비전 알고리즘, Host Computer, 제어기 그리고, 검사다이 및 Frame, 제반 주변 TOOL 등으로 구성된다. 아래의 Fig. 5는 PC 기반 렌즈 검사용 비전시스템(Vision System)의 기본 구성도를 나타내고 있다. Fig. 6은 개발된 렌즈 양·불량 검사 시스템의 비전 알고리즘을 나타내고 있다.

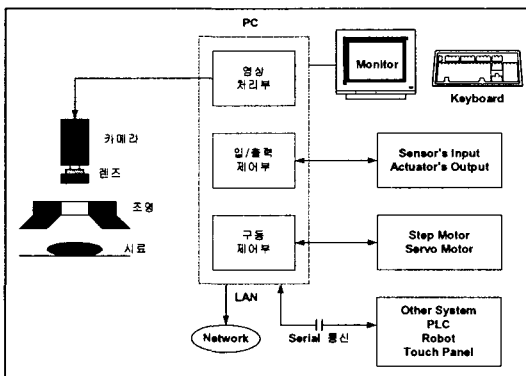


Fig. 5 Structure of vision system based PC

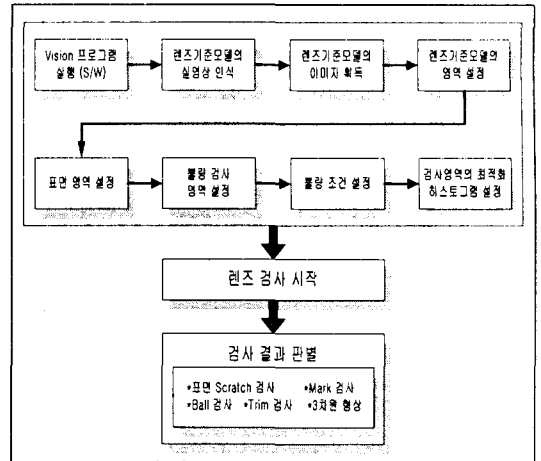


Fig. 6. Vision algorithm for inspection of lens surface scratch

개발된 시스템의 주요 특성 및 기능은 다음과 같다.

- ① Vision System은 Hardware 장치와 검사용 Software Program으로 구성된다.
- ② 부품 표면 Scratch 검사용 Vision Program은 표면 불량 Scratch 정도의 기준사양 조건을 직접 입력하여 기준 영상 데이터로 설정하여 놓고, 실제 측정 영상 데이터와 기준 영상 데이터를 상호 비교하여 그 오차를 계산한 후 일정 범위 이내의 오차는 정상제품으로 일정 오차 이상의 제품을 불량제품으로 판별하는 기능 보유.
- ③ 본 검사 시스템은 최소 1Pixel 단위까지 측정이 가능함. (1Pixel은 $3.7\mu\text{m} \times 3.7\mu\text{m} (0.1369 \times 10^{-4} \text{mm}^2)$)
- ④ 개발된 검사용 Vision System은 조도 검사, Ball (Lens) Roundness 검사, Damage Ball(Lens) 검사, Wrong Size Ball(Lens) 검사, Missing Ball(Lens) 검사, Extra Ball(Lens) 검사 등 부품의 가공정밀도 측정이 가능함.

4. 비전 검사 시스템 성능 시험

4.1 기준모델 설정

Fig. 6은 측정 렌즈 모델의 정상 렌즈 실 영상을 영상처리보드를 이용하여 Image를 획득한 영상화면을 나타내고 있다. 기준 모델 설정 순서는 기준모델 설정 시작, 이미지 획득, 기준모델 영역 설정, 표면영역 지정, 불량 검색 영역 지정, 불량 형태 설정 순으로 설정을 한다.

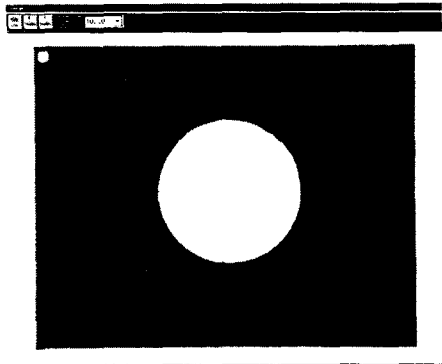


Fig. 6 A real image of reference model

Fig. 7은 설정한 검사 영역 내 Pixel의 밝기를 0에서부터 255사이의 모든 영역을 히스토그램으로 표현한 화면을 나타낸다. Fig. 8은 실제 렌즈 부분을 판독할 수 있는 가장 적절한 Pixel의 밝기(158~255)를 파악한 후 이진화를 통하여 렌즈 부분을 인식한 후 설정 검사 영역 내의 Pixel 밝기의 최적화 히스토그램을 나타내고 있다. 여기서, 결정된 Pixel의 밝기 값은 기준 모델에 대한 적정 밝기 값으로 측정 대상렌즈의 측정시 표면에 미세한 Scratch가 있을 경우 Scratch Gray Level 값을 측정하게 되고 기준 모델의 최적화 히스토그램에서 설정된 Pixel의 밝기 값과 비교하여 이진화함으로써 Scratch의 유·무를 판단한 후 렌즈 표면의 양·불량을 측정한다. 또한, Scratch의 Pixel 값을 이진화함으로써 얻은 Pixel의 개수를 파악하여 Scratch의 크기 또한, 측정이 가능하다. 렌즈 모델의 표면 Scratch가 특정 값 이상을 불량이라고 처리할 경우 측정된 Scratch 부분의 Pixel 개수를 계산하여 양품렌즈의 Scratch 크기 기준에 맞는 정상 렌즈를 측정할 수 있다.

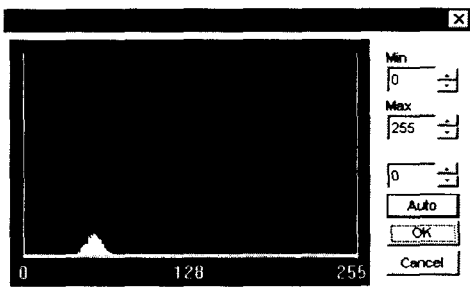


Fig. 7. Histogram in set inspection area

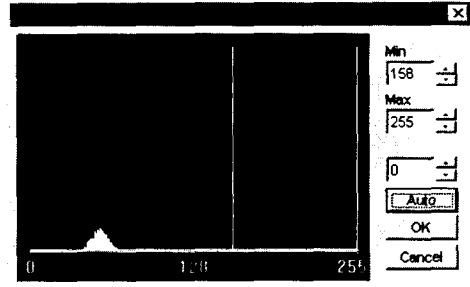


Fig. 8 Gray level value of optimizing histogram in set inspection area

Fig. 8에서 파악된 최소 Pixel 밝기 값인 158을 기준으로 이진화되었음을 확인할 수 있다. 여기서, Pixel 밝기 값이 0~157은 0의 값(black)으로 158~255은 255의 값(white)으로 변환된다.

4.2 시험 결과 및 고찰

Fig. 9는 측정 렌즈 모델의 실 영상을 나타내고, Fig. 10은 측정 렌즈 모델의 시험 검사 측정 결과로서, 불량 부분을 화면에 칼라로 표현하고 있다.

본 실험에서 불량 조건 Scratch Pixel값을 10Pixel (0.001396mm^2) 이상으로 설정하였다(렌즈 제품 설계 사양 기준). 따라서, Fig. 10을 보면 Scratch Surface의 Pixel값이 350.00p의 값을 가지므로 렌즈 표면이 불량임을 확인할 수 있다.(단, $1\text{Pixel} = 3.7\mu\text{m} \times 3.7\mu\text{m} = 0.1369 \times 10^{-4}\text{mm}^2$)

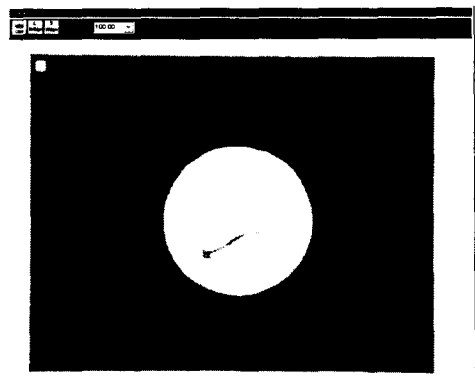


Fig. 9. Real image of lens model

참고 문헌



Fig. 10 Inspected image of lens model

5. 결론

본 연구에서는 형상인식 기술 및 광학렌즈 검사용 비전 기술을 개발하였고, 그 성능 검증을 위하여 렌즈의 외형상태를 비롯하여, 양·불량 판정을 수행할 수 있도록 개발하였다. 그리고, 표면 불량 Scratch 정도의 기준사양 조건을 직접 입력하여 기준 영상 데이터로 설정하여 놓고, 실제 측정 영상 데이터와 기준 영상 데이터를 상호 비교하여 그 오차를 계산한 후 일정 범위 이내의 오차는 정상제품으로 일정 오차 이상의 제품을 불량제품으로 판별하도록 설계하였다. 개발된 시스템은 최소 1 pixel 단위까지 측정이 가능한데 1 pixel은 $3.7\mu\text{m} \times 3.7\mu\text{m}$ ($0.1369 \times 10^{-4} \text{mm}^2$)로서 그 정밀도는 10^{-4}mm 까지 정밀하게 측정이 가능하며, 실험을 통하여 성능 검증 및 신뢰성을 입증하였다.

본 연구를 통하여 개발된 광학렌즈 생산공정 자동화를 위한 로봇 비전 시스템은 기술경쟁력 유지 및 생산량 증대는 물론, 개발된 자동화 장비의 수출을 통해 국가 경제에 크게 이바지 할 것으로 판단된다.

또한, 이 자동화 공정기술은 복합 다공정 기술이므로 광학렌즈산업 및 관련전자제품의 질 향상에 크게 이바지할 것이며 또한, 이 자동화 기술과의 공통핵심기술을 이용하여 핸드폰·화상전화기 등의 조립·검사 자동화설비의 개발을 통한 상품수출 등의 시너지효과도 매우 크게 기대된다.

- (1) Markhlín, 1981, "Robot control and inspection by multiple camera vision", *11th ISIR*, pp.121-128.
- (2) Moshe Shoham, May, 1984, "An optical sensor for real time positioning tracking and teaching of industrial robots", *IEEE Trans*, Vol IE-31, NO,2
- (3) Hitachi, Nov., 1982, "Vision system of an automatic inserter for PCB assembly", *Proc. of the 2nd International Conf*, pp.63-72.
- (4) J. R. Birk, 1976, "A Computation for Robots to Orient and Position hand-held Workpieces", *IEEE Trans. SMC*, Vol. SMC.
- (5) N. Chen and J.R. Birk, Dec., 1980, "Estimating Workpiece Pose Using the Feature Point Method", *IEEE Trans.*, Vol. AC-25.
- (6) Y. W. Choi, 1985, "Image Processing for hole position on 2 1/2 Dimensional objects for assembly robot", *MS thesis PE*.