

영상처리기술과 2축 스테이지를 이용한 미세부품의 추적 시스템 개발

표창률* · 강성훈** · 전병희*

(2004년 2월 10일 접수)

Development of Tracking System for Micro Mechanical Part Using Image Processing Technique and 2-Axis Stage

C. R. Pyo, S. H. Kang and B. H. Jeon

Abstract

This paper subscribes the measurement system that can position the target to measure by moving 2-axis stage, which is controlled by the data from image processing technique. The high resolution camera and lens are used in measurement of micro mechanical part, but the region of measurement is very small. It is necessary the re-positioning to measure several regions in one part. The system described in this paper has the accuracy with about $0.9\mu\text{m}$ resolution per one pixel and can be applied to measure micro mechanical part.

Key Words : Image Processing Technique, 2-Axis Stage, Tracking, Position Control, FOV(Field Of View), ROI(Region Of Interest)

1. 서론

현재 기술 선진국에서는 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 개발뿐만 아니라 이를 응용한 첨단 정보통신, 의료용 제품 등의 여러 가지 초소형, 초정밀 제품 개발에 많은 연구를 수행하고 있다. 일반적으로 MEMS 기술을 이용한 초소형, 초정밀 제품은 그 크기가 수 마이크로(μm)에서 수백 마이크로로써 사람의 육안으로 쉽게 측정, 검사하기 어렵다. 따라서 MEMS 기술 및 제품의 개발은 이를 검사할 수 있는 기술 및 장비의 필요성을 야기시키고 있으며, 정확한 검사 장비의 확보가 제품 개발에 미치는 영향이 날로 증가하고 있다.⁽¹⁻²⁾ 제품의 크기가 마이크로 단위의 작은

경우 실제 측정하고자 하는 부분은 제품에 비해서 상대적으로 더 작기 때문에 이를 해결할 수 있는 검사 장비의 구성이 필요하다. 따라서 미세부품의 측정을 위해서는 측정하고자 하는 영역을 정확하게 위치시킬 수 있는 정밀 위치제어가 필요하다.⁽³⁾

본 연구에서는 영상처리기술(image processing technique)을 통해 얻어진 데이터를 근거로 정밀 2축 스테이지(2-axis stage)의 위치를 제어하여 대상 측정물(object)을 검사영역으로 추적(tracking)하여 측정할 수 있는 시스템의 개발에 관해서 연구를 수행하였다.

2. 시스템 구성

* 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

** 인덕대학 산업기술연구원

2.1 기본 개념

본 연구는 영상처리기법을 이용한 데이터를 바탕으로 정밀 2축 스테이지의 움직임을 제어, 제품의 검사 영역을 추적할 수 있는 시스템을 개발하고자 하는 것이다. Fig. 1은 본 연구에서 대상이 된 측정물로서 양쪽에 위치한 탐침부(probe part)가 제품에서 가장 중요한 부분이다. 이 부분은 마이크로 단위로 정밀 가공되기 때문에 '정확한 측정을 위해서는 충분히 확대된 영상이 필요하다. 따라서 하나의 FOV(Field Of View)내에서 양쪽에 위치한 탐침부를 측정하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 그러므로 고배율의 렌즈를 이용하여 측정에 필요한 ROI(Region Of Interest)를 설정하고 이 영역 내에서 측정물을 검사 위치에 올 수 있도록 정밀 위치제어를 하게 된다.(4-5)

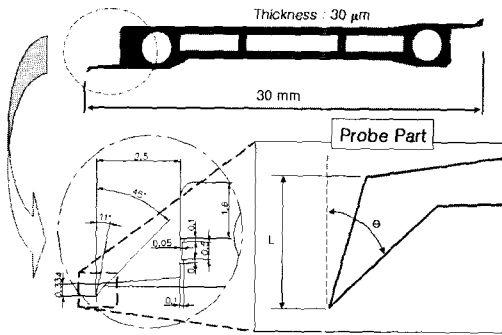


Fig. 1 ROI(Region Of Interest) of object

영상처리기법을 이용하여 측정물을 추적 하기 위해서 먼저 대상물의 최종 위치, 즉 임의의 위치에 놓여 있는 측정물을 검사 기준위치로 이동하기 위한 기준점 설정을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 측정물에 따른 최적의 기준위치를 정하고, 그 좌표를 기준으로 FOV내에 임의의 위치에 놓인 제품을 기준위치로 정밀 이동시키는 작업을 수행한다.

Fig. 2는 시스템의 흐름도를 보여주고 있다. 앞서 기술한 바와 같이 본 연구에서 개발한 추적 시스템은 크게 영상처리부분과 위치제어부분으로 구성되어 있으며, 이 두 부분 유기적으로 연결되어 실시간으로 데이터를 주고받으면서 위치제어가 가능하도록 이루어졌다. 흐름도에서 알 수 있듯이 FOV내 임의의 위치에 놓여진 측정물은 영상처리 기법을 통하여 위치 좌표 값이 컨트롤러로 넘어가며, 컨트롤러는 넘어온 데이터와 기준

위치를 비교하여 측정물의 정밀 이송을 수행하게 된다. 첫 번째 ROI에 대한 대상물의 추적이 이루어지고 난 후 또 한번의 영상처리 기법이 적용되는데, 이때에는 측정물의 놓인 각도를 계산하게 된다. 계산된 회전 각도와 이미 알고 있는 측정물의 전체크기를 이용하여 두 번째 ROI에 대한 이송거리를 산출하게 된다. 산출된 결과를 다시 컨트롤러로 전송하여 두 번째 ROI의 자동이송을 구현하였다.

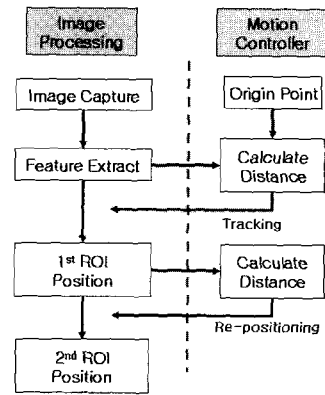


Fig. 2 Block diagram of tracking system

2.2 장치 구성

본 연구에서 개발한 시스템은 위치제어와 영상처리 관련 부품을 통합하여 전체 시스템을 개발하였으며 Fig. 3은 개발된 시스템의 전체 개략도를 보여주고 있다.

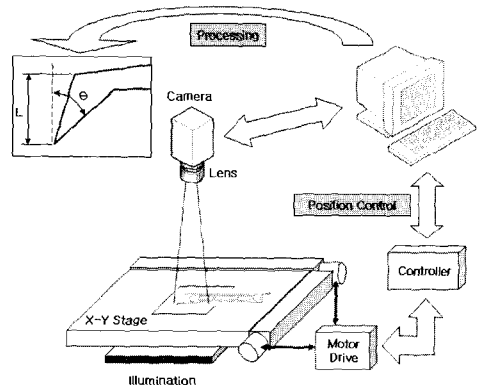


Fig. 3 Schematic view of tracking system

대상물의 활상을 위해서 고해상도의 CCD (Charge Coupled Device) 카메라를 사용하였으며, 획득된 영상은 영상보드(frame grabber)를 통해서 컴퓨터로 전송되어 영상처리가 이루어진다. 위치 제어에 관련된 부분은 정밀 2축 스테이지, 컨트롤러(controller), 스텝핑 모터(step motor) 그리고 모터 드라이브(motor drive)로 구성되었다.

정밀 2축 스테이지의 위치제어와 영상 정보의 수집 및 처리 등의 영상처리 작업은 Visual C++ 언어를 사용하여 개발하였다.

2.2.1. 위치제어부

위치제어를 위해서 사용된 스텝핑 모터 유닛은 2상 모터를 사용하였다. 스텝핑 모터는 최고 45,000step/rev의 분해능을 가지고 회전하게 된다. 분해능은 프로그램에서 조절이 가능하도록 하였다. 컨트롤러는 Parker, Inc. 6K로서 stand alone 타입으로 2축 제어를 할 수 있도록 설치되었다. 영상처리기법을 통해서 나온 데이터는 RS-232C 시리얼 통신 또는 이더넷(ethernet)을 통해서 컨트롤러와 정보를 주고 받을 수 있다. 정밀 스테이지는 스트로크(stroke)가 150mm×150mm이고, 반복 정밀도 3/1000mm의 성능을 가지고 있다. Fig. 4는 시스템에 장착된 컨트롤러와 스테이지를 보여주고 있다.

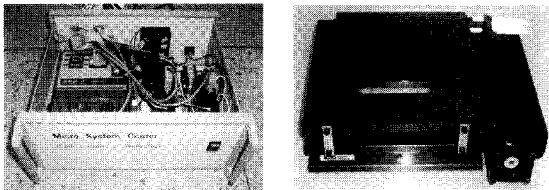


Fig. 4 Photographic view of controller and precision 2-axis stage

2.2.2 영상처리부

대상물의 영상을 획득하기 위해 사용된 카메라는 PULNIX, Inc. TM-1320 B/W CCD 카메라가 사용되었으며, 이 카메라는 CCD 소자가 1,300(H)×1,030(V)의 해상도를 가지고 있으며, CCD 한 개의 셀(cell) 크기는 6.7 μ m×6.7 μ m로 구성되어 있는 progressive area scan 카메라이다. 그리고 사용된 렌즈는 정밀 초점(fine focus) 기능을 가진 가변형 줌렌즈(zoom lens)이다. 본 연구에서 사용된 조명 방식은 2차원 형상의 외관 검사에 가장 일반적으

로 사용되는 후방 조명 방식이며, 가변형 줌렌즈의 사용으로 배율의 변화 시 조명의 밝기 변화에 대응하기 위해서 빛의 세기를 조절할 수 있는 LED(Light Emitting Diode) 조명을 사용하였다. 조명의 색은 사용된 카메라의 CCD 소자가 500nm의 파장에서 감광도(sensitivity)가 가장 높기 때문에 이 파장에 가장 가까운 파란색 계열의 조명을 사용하였다. 카메라에 의해서 획득된 영상은 영상 보드를 통해서 컴퓨터로 전송이 된다. 사용된 영상 보드는 카메라와의 호환성을 고려하여 Matrox, Inc. Meteor II-Dig 보드를 사용하였다. 이렇게 전송된 영상은 컴퓨터에서 전처리 및 영상처리기법을 통해서 위치제어 데이터 전송 및 대상물의 정밀 측정에 이용된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 개발된 프로그램과 시스템을 나타내고 있다. 또한 Table 1은 시스템의 사양을 표기하였다.

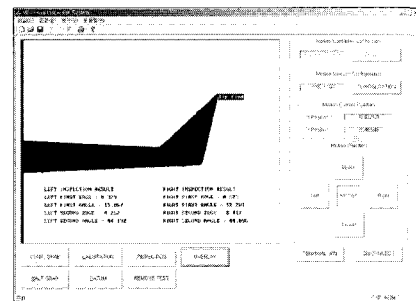


Fig. 5 Display of developed program

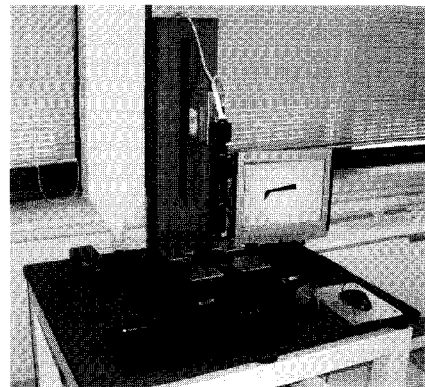


Fig. 6 Photographic view of developed tracking system

Table 1 Specifications of developed system

	Specifications
CCD Camera	1,300(H) × 1,030(V) 6.7 μ m/pixel, Digital, 15FPS
Frame Grabber	Digital, LVDS interface
Lens	Adjustable Zoom Lens
Illuminations	LED(Blue) Illuminations
Controller	Stand-alone, Ethernet Connect
Stepping Motor	45,000/rev

3. 영상처리 기법

3.1 영상 전처리

CCD 카메라를 통해서 획득된 영상은 미세 먼지 등의 측정에 불필요한 상을 포함 할 수 있다. 따라서 영상 강화(image enhancement)등의 전처리 과정을 통해서 불필요한 잡음(noise)을 제거하고 제품의 특징을 부각시키는 최적의 영상을 획득하여야 한다. 본 연구에서는 최적의 영상을 얻기 위한 전처리 기법으로 영상 이진화(binary)와 형태학적(morphological) 영상처리 기법을 사용하였다.⁽⁵⁻⁶⁾

모폴로지 연산에서 원점을 둘러싼 지원영역(region of support)을 정의하는 구조화 요소(structuring element)는 전체 영상의 어떤 국소적 특성을 나타내는 간단한 행렬 또는 윈도우로서 간주될 수 있다. 따라서 정의된 지원영역 위에 있는 각 픽셀에 오프셋(offset) 값을 더하여 사용하였다. Fig. 7은 대표적인 3×3과 5×5의 구조화 요소를 보여주고 있다.

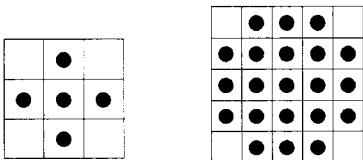


Fig. 7 View of structuring element

먼저 이진화 된 영상을 모폴로지 기법 중에서 3×3 구조화 요소를 이용한 열림(open)과 닫힘(Close)을 이용하였다. 이는 모폴로지 기법의 기본인 팽창(dilation)과 침식(erosion)을 응용한 것으로

이진화 처리된 영상에서 측정물 외에 남게 되는 불필요한 미소 영역을 제거하게 된다.

3.2 에지 검출

본 연구에서는 길이와 각도를 측정항목으로 선정하였으며, 이 항목은 탐침부의 선단을 기준으로 측정된다. 따라서 전처리 단계를 통해서 불필요한 잡음이 제거된 영상으로 측정물의 경계를 추출, 선단부의 위치가 계산되고, 이 좌표를 기준으로 위치제어를 하도록 구현하였다. 탐침부 선단을 이루는 두 에지 정보를 검출하고 이 두 에지의 교차점을 선단의 위치 좌표로 활용하였다. 이진화 된 영상은 에지 부근의 강도(intensity) 변화가 가장 크기 때문에 미분 연산자를 이용하여 에지를 검출하였다.⁽⁶⁻⁷⁾

영상 내에서 어떤 점에서의 1차 미분은 그 점에서의 기울기(gradient) 크기를 나타낸다. 2차원 영상 $f(x, y)$ 의 위치 (x, y) 점에서의 기울기는 식(1)과 같은 벡터이다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

에지 검출에서 중요한 값은 이 벡터의 크기이며, 이는 일반적으로 간단히 기울기라고 하며, ∇f 로 표시한다. 그 크기는 식(2)에 나타내었다.

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

이 값은 ∇f 의 방향으로 단위 길이당 $f(x, y)$ 의 최대 증가율과 같다. 실제에서는 기울기를 절대값으로 식(3)과 같이 근사화하여 사용하였다.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (3)$$

기울기 벡터의 방향 역시 중요한 양이다. $a(x, y)$ 가 (x, y) 에서의 벡터 ∇f 의 방향각을 나타낸다고 하면, 벡터 해석으로부터 다음의 식을 얻을 수 있다. 여기서 각도는 x 축을 기준으로 하였다.

$$a(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (4)$$

상기의 방법과 함께 영상처리 시간의 단축을

위해서 실제 에지 데이터가 필요한 부분에서만 데이터를 추출하도록 하였다. 이렇게 추출된 데이터를 바탕으로 위치제어 및 정밀 측정을 수행하였다.

4. 실험 결과

Fig. 9는 측정물의 초기 위치(FOV내 임의의 위치)에서 두 번째 ROI 위치에 대한 재현성을 실험한 결과로, 실험 시 기본 좌표는 Fig. 8과 같이 설정하여 실험하였다. Fig. 8의 두 번째 ROI 그림에서 점선으로 나타낸 것은 오차를 도식적으로 나타낸 것으로 충분한 재현성이 있다는 것을 알 수 있다. 측정에 사용된 ROI의 크기는 약 $1.2\text{mm} \times 0.9\text{mm}$ 이며 탐침부의 추적 및 재위치 오차는 $\pm 10\mu\text{m}$ 이내로 측정영역에 비해 매우 작다. 위치 재현성 오차는 현재 대상물을 고정시켜주는 지그(jig)가 없는 상태이나, 대상물 따른 지그와 대상물의 무게 및 크기 등을 고려한 스테이지의 이송속도, 이송경로를 최적화 하면 현재보다 더 정확한 정밀 이송이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 10은 정밀 측정의 재현성을 나타낸 것이다. 길이 측정에서는 약 한 픽셀($0.9\mu\text{m}$) 정도의 편차를 가지고 있다. 측정하고자 하는 전체 길이가 $334\mu\text{m}$ 로 측정 편차는 전체 길이에 비해 0.27%로 매우 작아 정확한 측정이 되는 것을 알 수 있다. 또한 각도 측정에서는 약 0.2° 의 편차를 나타내고 있으나 45° 에 비해 0.4%의 편차를 보여, 그 편차 값이 매우 작기 때문에 충분한 재현성을 보여주고 있다. 영상처리는 최적의 측정 결과를 얻기 위해서 영상 전처리를 수행하고 있으나 주위의 영향으로 인해서 측정 편차가 발생하였다. 따라서 영상 획득 시 주위의 영향을 최소화하고, sub-pixel 분해와 같은 정교한 처리 과정을 수행한다면 측정 정밀도 및 재현성은 좀더 향상되리라 판단된다.

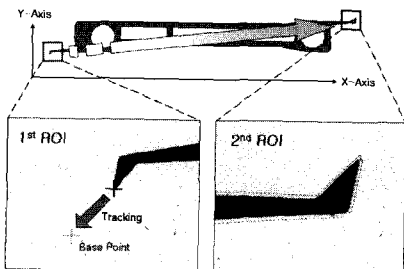


Fig. 8 View of tracking and ROI re-position process

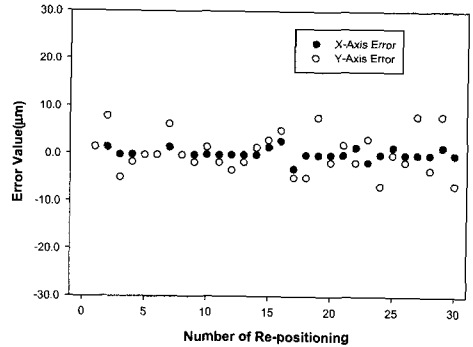
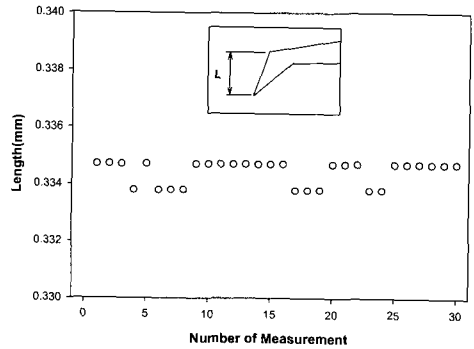
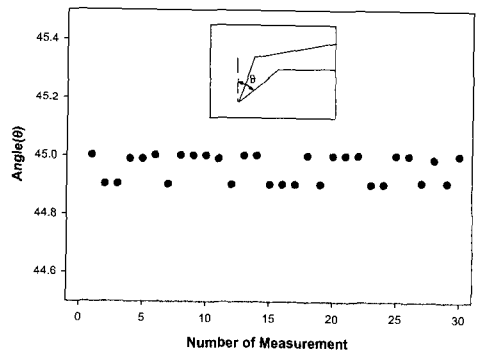


Fig. 9 Repeatability of re-position



(a) Length(mm)



(b) Angle(θ:degree)

Fig. 10 Repeatability of measurement result

5. 결론

본 연구에서는 영상처리기법을 응용한 미세부품의 추적 시스템의 개발로서 실시간으로 영상을 획득, 측정물의 특징을 검출하여 이를 바탕으로

정밀 2축 스테이지를 목적하는 위치까지 추적, 이송 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통해서 영상처리와 정밀 위치제어에 대한 제반 기술을 확보할 수 있었으며, 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

- (1) 영상처리기법에 기반으로 정밀 2축 스테이지를 이용하여 마이크로 부품의 추적 시스템을 설계, 개발하였다.
- (2) 영상처리 기법을 이용하여 FOV내에 임의의 위치에 존재하는 측정물의 형상을 실시간으로 검출하여 이를 바탕으로 기준위치로 정밀 이송하는 기능을 구현하였다.
- (3) ROI가 여러 곳으로 하나의 FOV내에 들어오지 않는 경우에 대한 자동 이송 시스템을 개발하였다.
- (4) 실시간 영상처리기법의 결과를 위치제어의 피드백(feedback)으로 활용함으로써 충분한 위치제어 및 정밀도를 확보할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광· 열유체 마이크로부품 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) 강대철, 전병희, 황경현, 2002, "초미세 광· 열유체 기능성 소재의 공통 가공 기술 개발," 한국소성가공학회 2002 추계학술대회논문집, pp. 319~323.
- (2) 표창률, 강성훈, 전병희, 2002, "초소형 스프링 정밀 측정을 위한 디지털 영상 처리 시스템 개발", 한국소성가공학회지, 제 11 권, 제 7 호, pp. 620~627.
- (3) 이재웅, 이진우, 박광일, 오준호, 1995, "능동 보모델을 이용한 영상추적 알고리즘," 대한기계학회지, 제 19 권, 제 5 호, pp. 1220~1228.
- (4) W. Z. Chen, U. A. Korde and S. B. Skaar, 1994, "Position Control Experiments Using Vision", The International Journal of Robotics Research, Vol. 13, No. 3, pp. 199~208.
- (5) B. Bhaun, 1986, "Shape matching of two dimensional objects", Vol. PAMI-8, No.1, pp. 44~54.
- (6) C. F. Olson and D. P. Huttenlocher, 1997, "Automatic Target Recognition by Matching Oriented Edge Pixels", IEEE Trans. Image Processing, Vol. IP-6, No. 1, pp. 103~113.
- (7) G. A. Baxes, 1994, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, New York, pp. 77~78.
- (8) B. C. Kuo, 1994, "Automatic Control System", Prentice Hall, N. J, pp. 689~699.
- (9) Matrox, 2000, "Matrox Image Library Manual", CANADA.
- (10) Parker, 2003, "6K Series Programmer's Guide Manual", Cleveland, pp. 36~41.