韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.379~383

비전프로브를 가지는 3차원 측정기를 위한 형상 측정 시스템 모듈 개발

Vision Inspection Module for Dimensional Measurement in CMM having Vision Probe

*이일환(서울대 대학원), 박희재(서울대 기계설계학과), 김구영(진영정기)
I.H.Lee(SNU),H.J.Pahk(Prof.SNU),G.Y.Kim(JinYoung Precision)

Abstract : In this paper, vision inspection module for dimensional measurement has been developed. For high accuracy of CMM, camera calibration and edge detection with subpixel accuracy have been implemented. In measurement process, the position of vision probe can be recognized in PC by serial communication with CMM controller. The developed vision inspection module can be widely applied to the practical measurement process.

Key Word : CMM, vision inspection, subpixel accuracy

1. 서론

기존의 접촉식 삼차원 측정기 분야는 이미 오래전부터 많은 개발과 더불어 산업 현장에서 응용이 되어왔다. 하지만 접촉식 프로브의 한계로 인한 직접 측정 불가능한 부품의 경우, 기존의 접촉식을 대체할 비접촉식 측정 기술 개발의 필요성이 증대되 왔다. 비접촉식 측정 방법으로 비젼을 이용한 측정기 개발은 이미 전 세계적으로 진행 중이며, 이에 대한 응용분야도 넓혀지고 있는 실정이다. 이에 측정기 분야의 경쟁력 향상과 응용분야의 확대를 위한, 비젼을 이용한 3차원 비접촉식 측정기 개발에 관한 연구를 수행하게 되었다.

본 연구에서는 카메라 보정 방법, SubPixel Acurracy를 갖는 경계점 추출, 2D에서의 측정 성분 해석 및 통합 시스템 개발을 위한 소프트웨어와 하드웨어 개발에 중점을 두었다.

카메라 보정은 Tsai[1] 와 Weng[2]이 제시한 방법을 토대로 삼차원 측정기에 맞게 적용시켰으며, 경계점 추출의 경우 Laplacian of Gaussian(LoG) Mask를 이용한 화상과의 Convolution으로 Zero-Crossing을 구한 후 Facet Model[3]을 적용하여 SubPixel Acurracy를 얻을 수 있도록 하였다. 해석 모듈로는 선, 직선, 원, 타원[7]에 대한 알고리즘을 구현하였으며, 삼차원 측정기의 운용 소프트웨를 개발하여 산업 현장에서 높은 정밀도를 가지고 직접 사용이 가능하도록 노력하였다.

2. 해석 알고리즘의 구현 및 적용

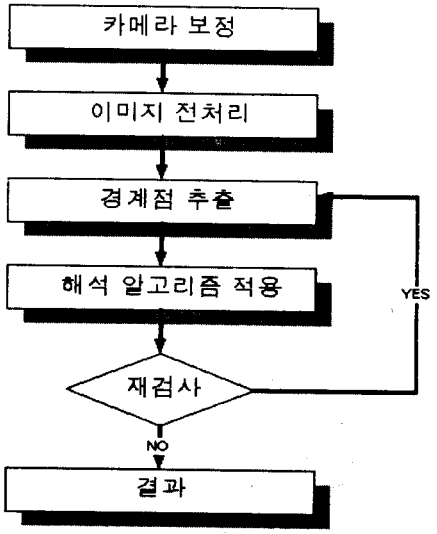

Fig. 1 측정 알고리즘

측정을 위한 이미지 프로세싱 및 해석평가는

Fig.1에서 보여주는 순서에 의해 실행이 되어진다.

2.1 이미지 프로세싱

2.1.1카메라 보정

보정 알고리듬에서 고려한 왜곡들은 카메라 렌즈의 Radial Distortion, Decentering Distortion 과 카메라 조립 및 렌즈 가공 중에 발생하는 Thin Prism Distortion 등이다.

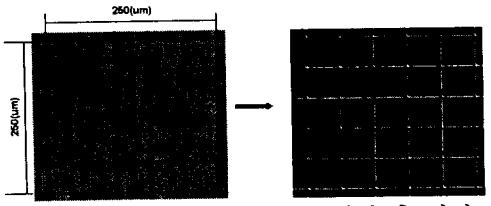

Fig. 2 시편의 원 화상과 처리 후 화상

보정을 위해서는 먼저 Fig.2 에서 보이는 것과 같이 시편을 이용하여 격자의 교차점들을 구한 후, 이 교차점들의 실제 좌표와 프레임 좌표들 사이의 메핑 식을 계산한다. 이 때 위에서 사용한 시편의 격자는 실제 크기가 500*500 μm이다. 메핑 식 계산은 식(1) 과 같다.

$$\frac{r_{1,1}x+r_{1,2}y+r_{1,3}z+t_1}{r_{3,1}x+r_{3,2}y+r_{3,3}z+t_3} = u' + (g_1+g_3)u'^2 + g_4u'v' + g_1v'^2 + k_1u'(u'^2+v'^2)$$

$$\frac{r_{2,1}x+r_{2,2}y+r_{2,3}z+t_2}{r_{3,1}x+r_{3,2}y+r_{3,3}z+t_3} = v' + g_2u'^2 + g_3u'v' + (g_2+g_4)v'^2 + k_1v'(u'^2+v'^2)$$

식(1)

where

$u' = \frac{r-r_0}{f_u}$, $v' = \frac{c-c_0}{f_v}$

$r_{i,j}$: 3*3 rotation matrix defining the camera orientation

t_1, t_2, t_3 : translation vector defining the camera position

k_1, g_1, g_2, g_3, g_4 : distortion coefficients

x, y, z : the coordinates of any point in world coordinate system

r, c : the position of the corresponding pixel in the digitized image

r_0, c_0 : the position of the pixel at which the optical axis intersect the iamge plane

식(1)에 의해서 프레임 상의 좌표는 실제 좌표로 변환이 가능하게 된다.

2.1.2 경계점 추출

측정을 위한 경계점 추출은 먼저 관심 영역(AOI) 안에서 Laplacian of Gaussian Mask를 이용하여 Zero Crossing을 구한다.

Laplacian-Gaussian Operator의 함수 형태는 다음과 같다.

$$\nabla^2 G(x,y) = K(2 - \frac{(x^2+y^2)}{\sigma^2})\exp\left[-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right]$$

식(2)

K : is a scale factor.

이렇게 하여 구한 Zero-Crossing으로부터 주위 3 X 3의 filtering된 이미지는 polynomial로 모델링을 하였다. 모델링 식은 다음과 같다.

$$f(r,c) = k_0 + k_1r + k_2c + k_3r^2 + k_4rc + k_5c^2 + k_6r^2c + k_7c^2r + k_8r^2c^2$$

식(3)

여기서 계수 k를 구하기 위해 Chevyshev discrete orthogonal polynomial set[6] 을 이용하였다. 본 연구에서는 위의 식을 이용하여 Pixel을 9등분하여 SubPixel Acurracy를 얻었다.

2.2 해석 알고리즘

2.2.1 직선해석

직선의 모델 식은 다음과 같다.

$$aX + bY + 1 = 0$$

$$E = \sum_{i=1}^{n}(aX_i + bY_i + 1)^2$$

식(4)

여기서 E를 a,b에 대해 편미분하여 그 값이 0 이되는 a,b를 구한다.

2.2.2 원해석

원의 모델 식은 다음과 같다.

$$(X_i - X_o)^2 + (Y_i - Y_o)^2 = r^2$$

$$E = \sum_{i=1}^{n}(X_i^2 - 2X_iX_o + Y_i^2 - 2Y_iY_o + Z)^2$$

식(5)

where $Z = X_o^2 + Y_o^2 - r^2$

여기서 E를 X_o, Y_o, Z 에 대해 편미분하여 그 값이 0이 되는 X_o, Y_o, Z값을 구하면 중심과 반경을 구할 수 있다.

2.2.3 타원해석

타원의 모델 식은 다음과 같다.

$$aX^2+bY^2+fXY+uX+vY-1=0$$
$$E=\sum_{i=1}^{n}[(aX_i^2+bY_i^2+fX_iY_i+uX_i+vY_i)-1]^2$$

식(6)

여기서 최소 자승법으로 a,b,f,u,v를 구한다.

$$c_x=(uf-2bu)/(4ab-f^2)$$
$$c_y=(uf-2av)/(4ab-f^2)$$
$$\tan\alpha=\frac{f}{(a-b)}$$
$$r_1^2, r_2^2=\frac{-uvf+(av^2+bu^2)+4(ab-f^2/4)}{2(ab-f^2/4)[a+b\pm\sqrt{(a-b)^2+f^2}]}$$

식(7)

c_x, c_y : 타원 중심의 x좌표, Y좌표

r_1, r_2 : 장, 단축의 반경

α : r_1의 각도 (장축을 기준)

3 시스템 구성 및 운용 소프트웨어

3.1 삼차원 측정 프로브 시스템

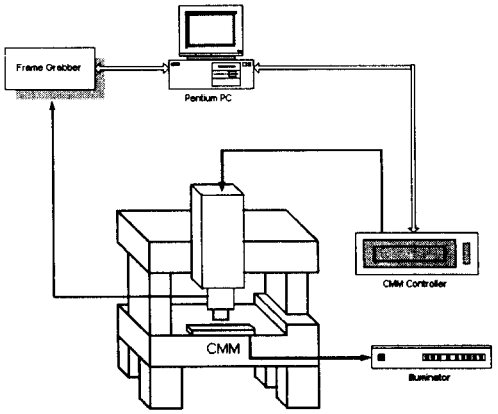

Fig. 3 삼차원 측정 시스템 구성도

삼차원 측정 시스템은 위의 그림과 같이 구성되어져 있다. 비젼 프로브는 영상 신호를 프레임 그레버로 보내고 여기에 저장된 화상을 PC가 처리하게 된다. 화상은 640*480으로 저장되며, 256 grey level과 true color(RGB)의 색상을 가지게 된다. 조명은 coaxial, ring, profile 등 측정하고자 하는 물체에 따라 선택이 가능하도록 하였다. 측정기의 이송은 CMM controller에서 조정을 하며, 이송량은 serial 통신을 통해 PC로 전달되게 하였다.

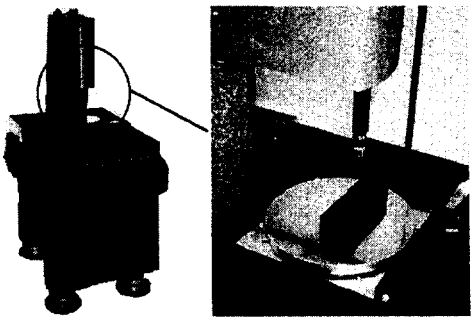

Fig. 4 삼차원 측정기와 프로브

3.2 운용 소프트웨어의 구성 및 기능

운용 소프트웨어는 4개의 윈도우로 구성되어져 있으며, 각각의 윈도우의 기능은 다음과 같다.

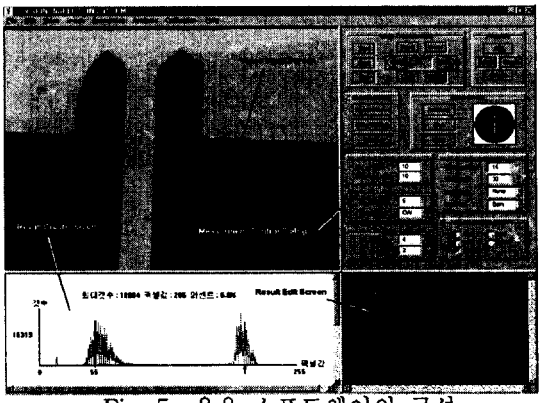

Fig. 5 운용 소프트웨어의 구성

3.2.1 Video Input Screen

CCD 카메라로부터 들어오는 화상신호는 Frame Grabber에 저장되며, Video Input Screen을 통해 볼 수있다. 또한 정지 화상을 얻을 때에는 그 때의 카메라 위치를 저장하여 프레임 간의 측정이 가능하도록 하였다. 이는 30배 확대 화상을 얻을 시 Field of View가 작아 프레임 간의 계산이 불가피하기 때문이다.

3.2.2 Result Graph Screen

Result Graph Screen에서는 화상 처리 결과를 그래프로 보여준다. 가령 Histogram 그래프나, 해석 결과(직선, 원, 타원 등)들을 보여준다.

3.2.3 Measurement Control Screen

CMM의 이송, 측정 옵션 및 진행 작업은 Measurement Control Screen의 기능버튼을 통해 실행이 된다. 또한 카메라로부터 들어오는 영상 신호의 Brightness, Hue, Saturation을 조절하는 기능이 있어 최적의 영상을 얻을 수 있도록 하였다.

3.2.4 Result Edit Screen

Result Edit Screen에서는 측정 점의 위치나, 해석결과 및 에러를 보여준다.

또한 Measurement Control Screen으로부터 기능버튼이 선택되어지거나, 옵션이 변화되었을 때는 그에 해당하는 메시지를 표시해주어 일련의 작업과정의 흐름을 알 수 있도록 하였다.

4. 실험결과

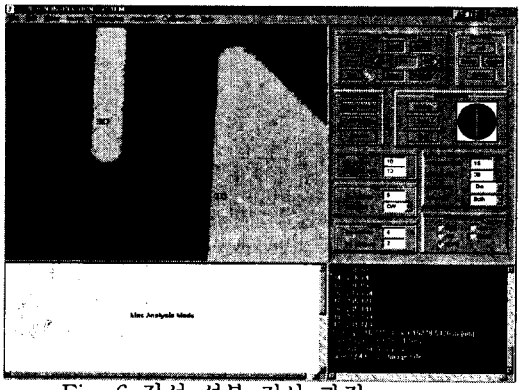

Fig. 6 직선 성분 검사 과정

위의 그림은 경계점 추출 수를 10개로 셋팅한 후 직선 성분 검사를 실행한 결과화상을 보여주고 있다. 경계 추출점은 다이아몬드 타입의 마크로 표시되어지게 하였다. 여기서 사용한 프로브는 배율이 35배 이며, 검사 물체는 원자력 발전소에서 사용 중인 프레임의 일부분이다. 직선들의 결과 식은 Table.1에 정리하였다.

직선 NO	직선 식(um)	기울기(Deg)
1(1-10)	y = 24.11x - 19620.53	87.43
2(11-20)	y = -1.08x + 3189.16	-47.11
3(21-30)	y = 25.58x + 38003.33	87.76
4(31-40)	y = 16.78x + 15278.54	86.59

Table 1. 직선 성분 검사 결과

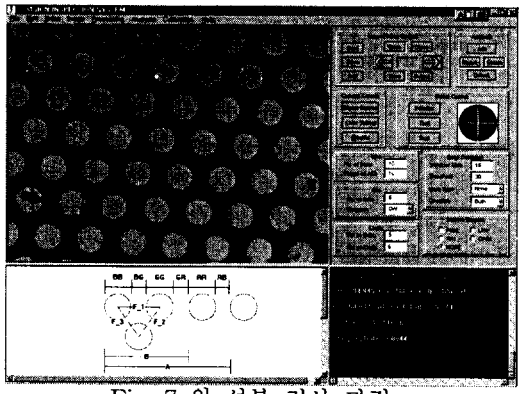

Fig. 7 원 성분 검사 과정

위의 그림은 원의 반경과 원사이의 거리를 계산한 결과 화상을 보여주고 있다. 여기서 사용한 프로브는 200배의 배율을 가지고 있으며, 화상은 브라운 관을 확대하여 잡은 것이다. 또한 원 하나에 대해서 5개의 측정점을 잡았으며 경계점의 마크는 표시하지 않고 단지 계산으로 구한 중심을 표시하게 옵션을 설정하였다. 원들에 대한 결과는 Table 2에 정리하였다

원 NO.	원 중심(Pixel)	반경(um)
1	90.33 , 291.67	52.471
2	174.0 , 295.33	53.485
3	259.67 , 301.0	53.295
4	342.0 , 307.0	53.097
5	138.33 , 222.67	53.141

Table 2. 원 성분 검사 결과

또한 브라운 관의 dot pitch계산시 필요한 수치들을 정리하면 다음과 같다.

BB	GG	RR	BG
104.940	106.969	106.591	58.032
GR	RB	B	A
59.381	55.879	329.300	491.763

Table 3. 원 검사 항목 결과 단위(um)

5 결론

본 연구에서는 비젼을 이용한 삼차원 측정 시스템을 구현하였다. 측정 시스템에는 직선, 원, 타원 등 각각의 측정 성분에 대한 알고리즘이 포함되어 있어, 기존의 접촉식 측정으로는 어려운 물체의 경우에 응용이 가능하도록 하였다. 측정 정밀도는 프로브의 배율에 따라 조정이

가능하며, 수 미크론까지 정밀도를 얻을 수 있도록 하였다. 또한 측정 결과는 화상 데이터와 해석 데이터를 함께 얻을 수 있도록 하였다.

기존의 삼차원 측정기와의 데이터 호환성과, 2D 측정에서 3D 측정으로의 확장은 계속 연구를 진행할 계획이며, 이때 자동 초점 기능 또한 함께 연구할 계획으로 있다.

참고문헌

[1] R. Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE J. Robotics and Automation, vol. RA-3, no. 4, pp 323-344, Aug.1987

[2] Juyang Weng, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", IEEE Transaction on Pattern Anaylsis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 10, pp 965-980, Oct. 1992

[3] R.M.Haralick, "Digital step edge from zero crossing of second directional derivatives", IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, pp.257-269, 1980.

[4] A. Huertas and G. Medioni, "Detection of Intensity Changes with Subpixel Accuracy Using Laplacian-Gaussian Masks", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, no. 5, pp651-664, September 1986.

[5] Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall.

[6] William K. Pratt, Digital Image Processing. 2nd edition. Wiley.

[7] T.S.R. Murthy, G.C. Reddy and V. Radhakrishnan, "A method for evaluation of elliptical profities", APR vol. 5 no. 2 pp77-81, 1983.