

3차원 측정기용 비접촉프로브 운용시스템 개발 (Development of Managing System of Vision Probe for CMM)

*박재성(서울대원),박희재(서울대),김구영(진영정기)

Abstract

In CMM system, a contact probe is not applicable to very small, or flexible elements. There is need to develop non-contact probes of CCD camera. But non-contact probes have some technical problems, including distortion, user interface and time delay. This development gives the foundation of the non-contact probe system and some useful solutions for the problems. The results can be useful for industry application.

Key Words: CMM(3차원 측정기),calibration(보정),edge detection(경계추출),least squares(최소자승법)

1. 서론

산업계에서는 기존의 접촉식 프로브로 측정할 수 없는 PCB나 강성이 낮은 물체를 측정할 수 있는 시스템의 개발이 필요하게 되었다. 이를 위해서 CCD 카메라를 이용한 3차원 측정기용 비접촉식 프로브가 상용화 되어 있으나 이는 기존의접촉식 프로브 처럼 프로브의 이동을 필요로 하는 방식이므로 측정의 시간의 지연 및 측정 경로 생성 알고리즘을 부가적으로 요구하게 된다. 이를 단점들을 보완하기 PC와 비전보드로 이루어진 hardware를 구성하고 User-Friendly Interface를 구성하였다. 또 CCD Memory와 2차원의 물리적 좌표계와의 관계를 보정하였다. 원과 직선등 기본적인 도형 해석 알고리즘을 이용하여 보정된 데이터를 해석하여 필요한 형상 데이터를 얻었다.

2. 비전 프로브 시스템의 구현

F64pro(B&W) 비전보드와 IBM PC, Renishaw CCD Probe(640 x 480)를 이용하여 시스템을 꾸렸다. User-Friendly Interface를 구현하기 위해서 Windows Programming을 환경으로 시스템 운용 소프트웨어를 꾸렸다. 이 시스템은 기존의 상용 3차원 측정기와 직접 조립이 가능하고 차후의 정밀도 향상을 위

고해상도의 Analog 카메라와도 호환성을가지고 있다.

2.1 시스템 개략도

CCD 화상을 이미지 보드의 memory에 일시적으로 저장한후 ROI(Region of Interesting)를 21픽셀 x 21픽셀의 버퍼로 읽어드리고 이를 CPU로 처리한다.

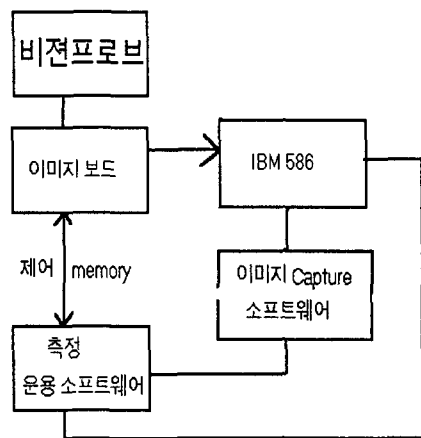


그림.1 시스템 개략도

2.2 경계추출

정확한 해석 및 오차의 최소화를 위해서는 화상으로 부터 오차가 최소화된 입력값을 얻는 일이 중요하다. 기존의 경계추출은 단순한 이미지 필터를 이용한 불특정 다수의 경계 픽셀만을 제공하였고 이를 보완한 알고리즘도 경계선의 법선 방향을 지정해야하는 번거로움이 있었다. 이는 측정의 효율 저하와 측정 대상의 기하학적 형상에 따른 입력값의 일관성을 보장하지 못한다. 이러한 문제를 보완하기 위해 본 연구에서는 ROI(Region of Interesting)(21pixel x 21pixel Memory Window)을 사용자가 정의 할 수 있게 하고 그 크기도 조정이 가능하다. 이 ROI내에서 법선 방향을 8방향으로 제한하고 법선 방향으로 픽셀값의 기울기를 구하여 그 최대값을 가지는 좌표를 입력값으로 하였다. 법선의 방향은 그림.2에 도시 되어 있다. 위의 계산과정을 구현하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

$$point(u, v) = \max [gray(i + m, j + n) - gray(i, j)]$$

$$i, j = \text{form } 2 \text{ to } 20$$

$$m, n = -1, 0, 1 \quad (\text{except } m=0 \text{ and } n=0)$$

(식 1)

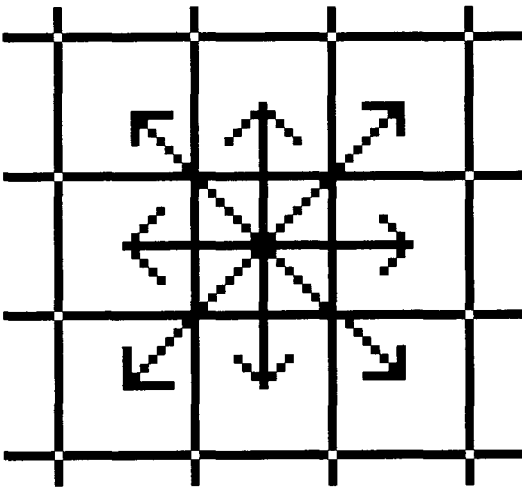


그림.2 법선의 방향

이 알고리즘을 이용하여 얻은 입력 좌표값이 그림.3에 나타나 있다. 위의 알고리즘은 경계치에 정확히 입력값을 설정함을 알 수 있다. 이 알고리즘은 일반적으로 처리시간이 많이 소요되는 이미지 필터를 사용하지 않고 경계를 추출 하기 때문에 시간의 지연 문제가 발생하지 않는다.

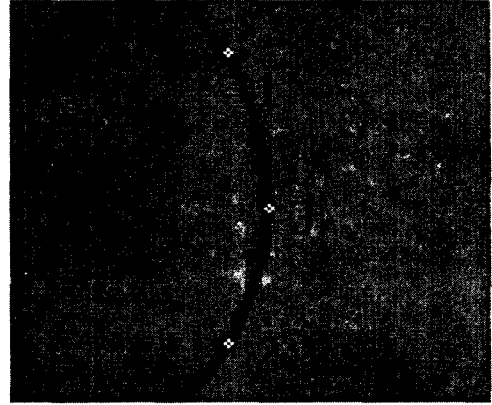


그림.3 경계 추출

2.3 구현된 비전 프로브 시스템

구현된 시스템의 화면은 그림.4와 같다. 기본적인 이미지 툴과 측정 메뉴를 구성하여 다이얼로그 박스로 구현하였다.

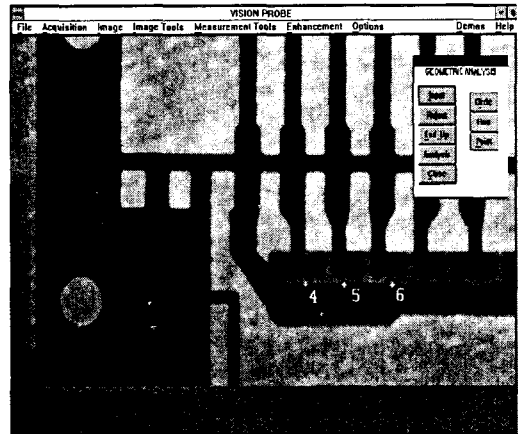


그림.4 비전 프로브 시스템

3. 좌표의 보정

CCD 카메라는 카메라 렌즈의 수차 오차를 그대로 읽어들이므로 형상의 일그러짐이 반드시 수반된다. 특히 고정밀도를 요구하는 경우는 보정이 필요하다. 보정을 위해 사용한 시편은 격자 무늬의 시편이고 각격자의 크기는 가로 세로 각각 0.5mm고 전체의 가로 세로는 각각 10mm이다. 이는 투명한 유리 위에 프린트 되어 있어 이미지의 노이즈를 방지할 수 있다.

보정 시편의 35배 확대 이미지는 그림.5에 나타나 있다. 격자의 폭은 약 28 픽셀이다. 이는 한 픽셀의 폭이 약 18 μ m이다. 격자의 높이는 약 33 픽셀이고 이는 15 μ m이다. 각선편은 3-4 픽셀이므로 입력 좌표값에서 발생할수 있는 오차는 70 μ m이내이다. 각 선분이 교차하는 점을 보정점으로 정했다.

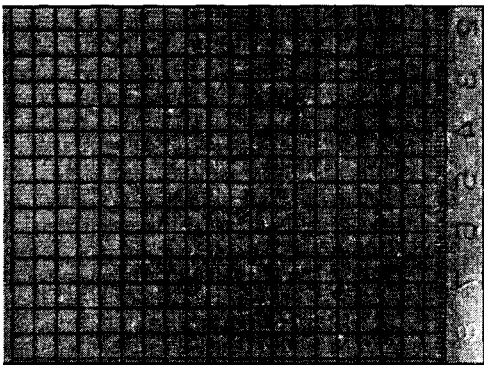


그림.5 보정 시편(35배확대)

보정은 카메라의 배율 및 위치가 바뀔 때마다 수행할 필요가 있다. 따라서 보정에 대한 메뉴를 시스템내에 구성할 필요가 있다.

본 연구에서는 보정 메뉴를 구현하였으며 그 모양은 다음의 그림.6과 같다.

본 연구에서 구현한 보정은 보정전과 후의 보정 좌표가 일대일 함수임을 근거로 다음과 같이 수행하였다. CCD 카메라가 읽어 들인 2차원 좌표값을 u,v라하고 보정된 실제의 물리 좌표계를 x,y라고 하면, uv 좌표계를 xy좌표계로 변환한다. 이 변환식을 구하기 위해서 좌표의 영역을 각 격자별로 구분 했다. 이 격

자내에서는 일그러짐의 형태가 선형이라 가정하고 사각형의 4개의 꼭지점을 보정점으로 했다. 그림.7에서 한 개의 격자를 보정하는 개략도를 보여주고 있다. u₁,v₁이 국부 좌표계의 기준이 되고 이를 기준으로 각각 격자의 변한의 계수를 구하기위해서 다음과 같은 변환식을 가정했다.

$$x = \frac{a_1u + a_2v + a_3}{a_7u + a_8v + 1} \quad (\text{식 } 2)$$

$$y = \frac{a_4u + a_5v + a_6}{a_7u + a_8v + 1} \quad (\text{식 } 3)$$

위 식을 정리하면

$$u_i a_1 + v_i a_2 + a_3 - u_i x_i a_7 - v_i x_i a_8 - x_i = 0 \quad (\text{식 } 4)$$

$$u_i a_4 + v_i a_5 + a_6 - u_i y_i a_7 - v_i y_i a_8 - y_i = 0 \quad (\text{식 } 5)$$

i=1,2,3,4(4개의 꼭지점에 대하여)

여기서 u,v,x,y는 각각 4개의 값을 가지므로 위의 식의 계수 a₁, a₂, a₃, a₄, a₅, a₆, a₇, a₈은 계산 될 수 있다.

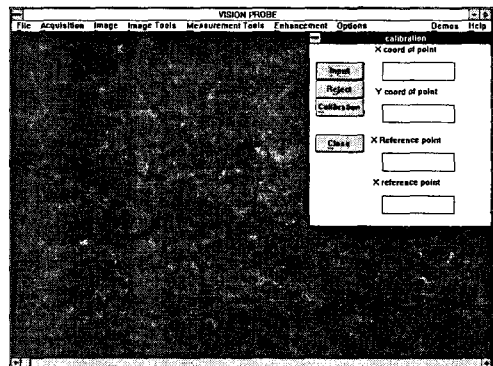


그림.6 보정환경

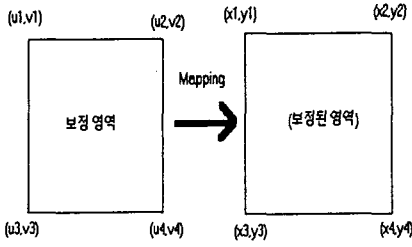


그림.7 보정 원리

보정은 일대일의 변환이므로 각 픽셀에 대한 변환이 모두 다른 값을 가져야 한다. 이러한 변환 계수는 각 픽셀에 대해서 서로 다르게 존재하며 입력 값을 얻을 때 마다 그 변환 계수와 변환 값이 계산되어야 한다.

4. 해석 알고리즘

위에서 보정된 좌표값들을 가지고 측정물의 형상을 알아내는 일이 본 연구의 주요한 목표이다. 대부분의 형상이 원과 직선 그리고 점과 같은 기본적인 기하 모델의 조합이므로 원과 직선에 대한 해석이 여러 측정의 기본이 될 수 있다. 이 알고리즘은 최소자승법을 이용하였다.

4.1 원 해석 알고리즘

원의 중심과 반지름을 구하기 위해서 다음과 같은 모델을 사용하였다.

$$(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 = r^2 \quad (\text{식 } 6)$$

여기서 x_i 와 y_i 는 측정 값이고 i 는 측정점의 갯수를 의미한다. 그러나 실제 측정이 오차를 포함한다고 가정하면 위의 등식은 성립하지 않는다. 따라서 위 식을 다음과 같이 변형한다.

$$E = \sum_{i=1}^n [(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 - r^2] \quad (\text{식 } 7)$$

$$z = x_o^2 + y_o^2 - r^2 \quad (\text{식 } 8)$$

식8을 식7에 대입하면

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_o + y_i^2 - 2y_i y_o + z)^2$$

로 변환 된다.

E 는 오차를 의미하며 이오차를 최소화하는 x_o 와 y_o 가 원의 중심이 된다. E 의 최소값을 구하기 위해서 위의 식을 미분한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial x_o} &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_o + y_i^2 - 2y_i y_o + z)(-2x_i) = 0 \\ & \quad (\text{식 } 9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial y_o} &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_o + y_i^2 - 2y_i y_o + z)(-2y_i) = 0 \\ & \quad (\text{식 } 10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial z} &= \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_o + y_i^2 - 2y_i y_o + z) = 0 \\ & \quad (\text{식 } 11) \end{aligned}$$

이 식들을 3×3 행렬식으로 만들어 x_o, y_o, r 을 구한다. 이는 최소자승을 기초로 구현한 알고리즘이다. 따라서 측정점의 개수가 최소 3개 이상이어야 하며 갯수가 많을수록 오차가 작아진다.

4.2 타원 해석 알고리즘

타원은 방정식의 비선형성이 원의 것 보다 크므로 다음과 같은 근사 모델을 가정하여 해석하였다.

$$ax_i^2 + by_i^2 + cx_i + dy_i + e = 0 \quad (\text{식 } 12)$$

$$E = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + by_i^2 + cx_i + dy_i + e)^2 \quad (\text{식 } 13)$$

위의 식 13을 a, b, c, d, e 에 대하여 미분하

여 행렬식을 만들고 원과 같은 과정으로 해석한다. 최소 측정점의 개수는 5개이다.

4.3 직선 해석 알고리즘

직선의 모델은 다음과 같다.

$$y = ax_i + b \quad (\text{식 14})$$

$$E = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \quad (\text{식 15})$$

식 15를 a, b에 대하여 미분한다. 미분 결과를 행렬식으로 변환하여 원과 타원의 과정을 반복한다. 최소 측정점의 개수는 2개이다.

5. 결론

- ① 3차원 측정기용 비전 프로브 시스템을 구현하였다.
- ② 법선방향의 지정이 필요 없는 경계 추출 알고리즘을 개발하였다.
- ③ User-Friendly Interface을 구현하였다.
- ④ 비전프로브의 일그러짐(Distortion)을 보정하였다.
- ⑤ 기하형상의 해석의 기초가 되는 알고리즘을 구현하였다.

참고문헌

1. Zhongquan Wu, Lide Wu and Aicheng Wu, The Robust Algorithms for Finding the Center of an Arc, Computer Vision and Image Understanding. 62, 1995, 269-278.
2. Cumani A and Guiducci A, MachineVision and Application. 8, 375-384.
3. Grosky WI, Tamburino LA(1987) A unified approach to the linear camera calibration problem. Preceeding of the 1st International Conference on Computer

Vision, London, pp511-515.

4. Kelley A and Pohl, Turbo C, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Menlo Park.

5. Petzold C, Windows Programing, Microsoft Corporation.1993