

격자 무늬를 지닌 3차원 물체의 측정에 관한 연구

A Study on the Measurement of an Object with Grid Pattern

안 정 호(송실대학교 기계공학과), 윤 영 호*(송실대학교 기계공학과)

JeongHo Ahn(Soongsil University), YoungHo Youn(Soongsil University)

Abstract

From the relationship between the two different views of an object with grid, the three dimensional coordinates of intersection points are determined. The images are captured and digitized with a CCD camera and a frame grabber. To find intersection points, local thresholding and line thinning operations are performed. By establishing the correspondence between the points in the two views, the three dimensional coordinates of intersection points are calculated.

1. 서 론

현대 산업 사회에서 비접촉식 3차원 측정법은, 많은 분야에서 그 적용도가 증가하고 있다. 현재 생산되는 모든 생산품의 생산과정에는 제품의 형상을 수정하는 과정이 포함되어 있다. 특히 금형 제작 분야에 있어서 3차원 측정의 필요성은 제품의 수정이 빈번함으로 계속적으로 증가하고 있다. 일반적으로 3차원 측정법에는 접촉식과 비접촉식 두 가지가 있다. 비접촉식 3차원 측정법은 접촉식에 비해 측정 시간은 빠르나 정밀도가 많이 저하된다. 따라서 정밀도를 높이기 위해 비접촉식 3차원 측정법은 여러 방법으로 계속 연구되고 있다.

가장 널리 사용되고 있는 비접촉식 3차원 측정(Non contact Three Dimensional Measurement)법의 하나는 광 삼각법(Optical triangulation method)을 이용한 측정법이다. 이것은, 수광부와 발광부의 기하학적 관계를 해석하여 3차원 좌표를 얻어내는 방법이다. 비접촉식 3차원 측정법은 자유 곡면에 대한 표면 형상 측정법과 초정밀 가공 면의 미세한 표면 형상 측정법으로 대별된다. 표면 형상 측정법의 종류로는 초점 위치 맞춤법(Nulling Method for focusing), 입체 화상법(Stereo Vision method) 그리고 동축 선형 변위법(Optical ring image method)이 있다^[1].

본 연구의 목적은 격자무늬를 지닌 물체에서 격자점의 좌표를 두 개의 이미지로부터 구해내는 것으로 평판 및 원형 판에 프린트된 격자점을 측정하였다.

2. IMAGE PROCESSING

2.1 THRESHOLDING

이미지 프로세싱의 초기 작업으로 입력된 영상으로부터 대상물의 특징과 경계인식 및 패턴 추출을 용이하게 하고 연산 시간을 줄이기 위해, 배경과 물체를 분리하는 경계 값을 설정하여 2진 영상을 만드는 과정인 Thresholding 과정을 실시하였다.

Thresholding 값 T를 설정해 줌으로써 이진 영상으로 만들 수 있으며,

$$g(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

위의 식(1)을 기초로 부분 Thresholding을 실시하였다.

2.2 Dilation & Erosion

본 연구에서는 Dilation 과정과 Erosion 과정을 실시하였다. Dilation과정은 굴곡이 심한 선을 부드럽게 만들어 주며, 끊어진 격자 무늬를 복구시켜 주기도 한다. 또한 측정된 2차원 영상의 잡음을 제거하는 과정인 Erosion 과정을 실시하였다.

식(2)는 Dilation으로 이미지를 확장하는 작용을 하여 영상을 부드럽게 만든다.

$$A \oplus B = \{c \in Z^2 \mid c = a + b, \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B\} \quad (2)$$

식(3)은 Erosion으로 이미지를 축소하는 작용을 하여 잡음을 제거하게 된다.^[2]

$$A \ominus B = \{c \in Z^2 \mid c + b \in A, \text{ for every } b \in B\} \quad (3)$$

2.3 세선화(Thinning Algorithm)

격자 무늬를 이루는 선들은 한 화소가 아닌 여러 개의 화소로 이루어져 있기 때문에 세선화 과정을 실시하였다. 세선화를 이용하여 그림의 형태를 단순화시킬 수 있다. 본 연구에 있어서 세선화 과정은 격자의 교차점을 찾기 위한 전 과정으로 사용되었으며, 여러 화소로 되어있는 격자 무늬를 한 화소의 격자 무늬로 바꾸었다. 여러 세선화 방법중 SPTA(Safe Point Thinning Algorithm) 을 채택했다.

3	2	1
4	p	0
5	6	7

Fig.1 A point p and its neighborhood

이 알고리즘의 장점은 빠른 처리, excessive erosion의 방지, 재구성성 등이다.

Safe point는 지워져도 원래의 형태에 영향이 없는 점으로 다음의 네 가지 판별식에 의하여 결정된다.^[3]

Left safe point

$$S_4 = n_0 \cdot (n_1 + n_2 + n_6 + n_7) \cdot (n_2 + \overline{n_3}) \cdot (n_6 + \overline{n_5}) \quad (4)$$

Right safe point

$$S_0 = n_4 \cdot (n_5 + n_6 + n_2 + n_3) \cdot (n_6 + \overline{n_7}) \cdot (n_2 + \overline{n_1}) \quad (5)$$

Top safe point

$$S_2 = n_6 \cdot (n_7 + n_0 + n_4 + n_5) \cdot (n_0 + \overline{n_1}) \cdot (n_4 + \overline{n_3}) \quad (6)$$

Bottom safe point

$$S_6 = n_2 \cdot (n_3 + n_4 + n_0 + n_1) \cdot (n_4 + \overline{n_5}) \cdot (n_0 + \overline{n_7}) \quad (7)$$

위 판별식의 값이 0이면 Safe point가 아니고, 0이 아니면 Safe point이다.

3. 3차원 좌표 측정 원리

3차원 좌표를 얻기 위하여 입체 화상법을 사용하였다. 입체 화상법(stereo vision)은 CCD카메라를 이용

해서 서로 다른 위치에서 얻어진 이미지들 사이의 기하학적인 관계를 통하여, 물체 표면의 3차원 좌표를 찾아내는 방법이다. Fig.2에서 보는 것처럼 물체 점과 영상점 사이에는 기하학적으로 해석 가능한 관계가 존재한다.

$$(z' - f)(z - f) = f^2 \quad (8)$$

$$\frac{z'}{z} = \frac{f}{z - f} \quad (9)$$

$$\frac{z'}{z} = \frac{y'}{y} = \frac{x'}{x} \quad (10)$$

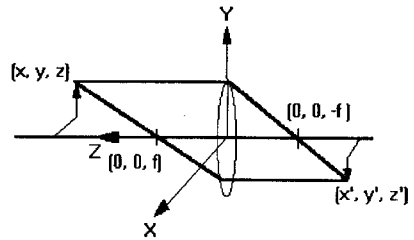


Fig.2 Image point and object point

서로 다른 두 위치에서 잡은 한 물체의 두 영상은 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 기하학적 관계를 갖는다. 이로부터 물체의 위치는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

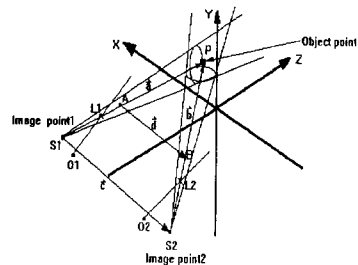


Fig.3 An object projected on two different image planes

P : 물체표면의 한 점

L_1, L_2 : 카메라 렌즈의 초점 좌표

\vec{a}, \vec{b} : 각 영상면에서 부터 P 까지의 벡터

A : \vec{a} 위의 점

B : \vec{b} 위의 점

\vec{d} : \vec{AB}

O_1, O_2 : 각 영상면위의 초점 좌표

u, v : parameter

P 는 영상면의 점인 S_1 과 S_2 로 투영된다.

$$u\vec{a} + \vec{d} = \vec{c} + v\vec{b} \quad (11)$$

식 (11)로부터 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$u = \frac{\vec{a} \cdot \vec{c} + v\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}|^2} \quad (12.a)$$

$$v = \frac{|\vec{a}|(\vec{b} \cdot \vec{c}) - (\vec{a} \cdot \vec{c})(\vec{a} \cdot \vec{b})}{-|\vec{a}|^2 \cdot |\vec{b}|^2 + (\vec{a} \cdot \vec{b})^2} \quad (12.b)$$

식 (12.b)에서 구해진 v 를 위의 식 (12.a)에 대입하여 u 를 구할 수 있다. 구해진 u 를 식 (13)에 대입하면 점 P 의 3차원 좌표를 얻을 수 있는 수식이 된다.

$$p = u\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \quad (13)$$

4. 실험

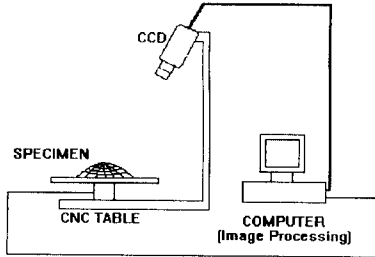


Fig.4 Measurement system

실험은 Fig.4에 도시된 Sony XC-75 CCD 카메라, 삼성 MVB-02 비전보드, Servo Impact CNC Milling, 486 PC로 구성된 측정시스템으로 이루어졌다.

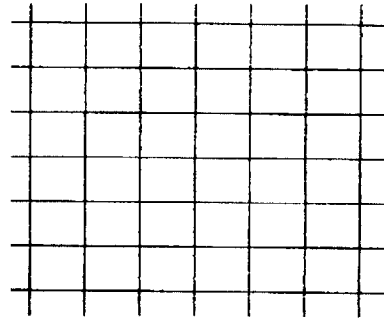
실험은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- ① 격자 무늬를 지닌 물체를 CNC 테이블위에 올려 놓는다.
- ② 초기위치에서 첫 번째 영상을 얻고, CNC 테이블을 X축 방향으로 10mm 이동하여 두 번째 영상을 획득한다.
- ③ Thresholding, Dilation, Erosion, 세션화 과정을 통하여 세션화된 영상을 얻는다.

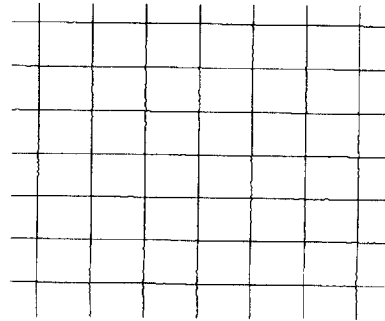
④ 세션화된 영상에서 격자점을 찾는다.

⑤ 식(13)으로 부터 격자점의 3차원 좌표를 구한다.

실험은 7.3×6.4mm크기의 격자 무늬를 지닌 평판과 직경 40.1mm의 원형 판을 사용하였다.



a) Binary image



b) Skeleton

Fig. 5 The binary image of flat surface and its skeleton

Fig. 5는 평판의 이진화 및 세션화된 이미지를 보여준다. Fig. 6의 격자점들의 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. 측정된 격자의 크기는 평균 7.37×6.34mm로 7.3×6.4mm와 가로 방향으로 0.07mm 세로 방향으로 0.06mm로 나타났다. 격자점의 Z값 차이는 약 0.11mm이다.

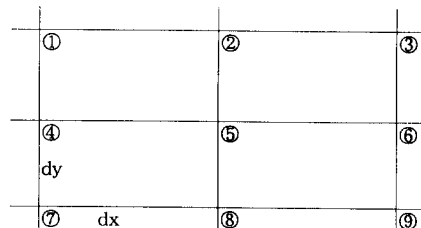
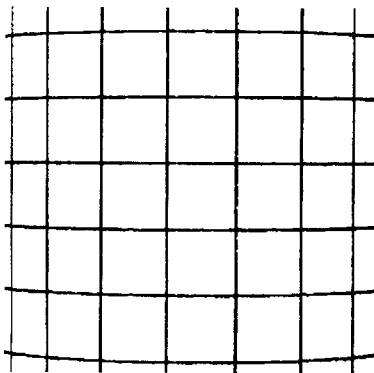


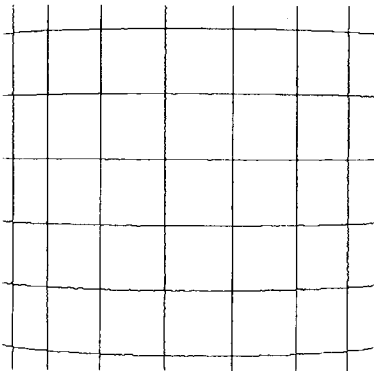
Fig.6 Grid points on flat surface

	X	Y	Z
1	16.02	2.10	244.15
2	8.65	2.10	244.05
3	1.28	2.11	244.05
4	16.02	8.42	244.04
5	8.65	8.42	244.05
6	1.29	8.42	244.06
7	16.02	14.74	244.04
8	8.65	14.85	244.05
9	1.40	14.85	244.06

Table 1. The measured coordinates of grid points on flat surface



a) Binary image



b) skeleton

Fig. 7 The binary image of cylinder and its skeleton

Fig.7은 원통의 이진화 및 세선화된 이미지를 보여 준다. Fig. 8의 격자점들의 측정 결과의 일부분을 Table 2에 나타내었다. ZX 평면에 투영된 측정점으로 부터 최소자승법을 사용하여 직경이 39.95mm인

원의 방정식을 구하였다. 원형 관의 직경이 40.1mm로 측정치와는 약0.15mm의 오차를 보였다.

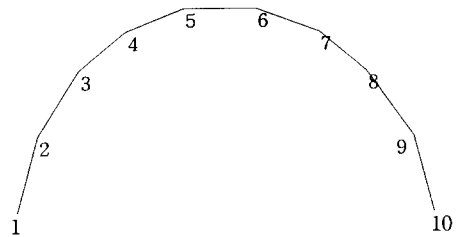


Fig.8 The grid points of cylinder projected on the ZX plane

	X	Y	Z	반경 방향 오차
1	23.32	-0.10	251.96	-0.13
2	21.66	-0.10	245.08	0.31
3	18.16	-0.10	238.58	-0.04
4	12.84	-0.09	234.43	0.05
5	6.23	-0.09	232.41	0.29
6	-0.55	-0.09	232.41	0.19
7	-6.88	-0.09	234.43	-0.11
8	-12.11	-0.09	238.58	-0.21
9	-15.51	-0.10	245.09	0.19
10	-16.71	-0.10	251.96	0.20

Table 2. The measured coordinates of grid points on cylinder

5. 결론

본 연구에서는 입체 화상법(Stereo vision)을 이용하여 격자무늬를 지닌 물체의 격자점의 좌표를 측정하였다. 원형관이 평판보다 측정오차가 큰 것은 원형관의 높낮이의 변화에 따라 이미지가 흐리게 잡히게 되기 때문으로 생각된다. 이 문제를 해결하면 앞으로 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로의 과제는 자동 측정 시스템의 개발과 보다 효율적인 이미지 프로세싱 기법을 통하여 정밀한 측정시스템을 만드는 것이다.

◆ 참고 문헌

1. 이 호 재, "광삼각법을 이용한 비접촉 표면형상 측정법", 대한기계학회, 춘계학술 대회 논문집, PP. 231 ~ 234, 1994.

3. N. J. NACCACHE, "SPTA : A Proposed Algorithm for Thinning Binary Patterns", IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, VOL, SMC-14, NO. 3, PP. 409 ~ 418, 1984.
4. Rafael C. Gonzales and Poul Wintz, "Digital Image Processing", Adison Wesley, 1989.