

화상처리기법을 이용한 판재의 변형률 측정(I)

황창원*, 김낙수**

*서강대학교 대학원 기계공학과

**서강대학교 기계공학과

Measurement of Strain of Sheet Metal by Image Processing

Changwon Hwang*, Naksoo Kim**

*Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Sogang University

**Dept. of Mechanical Eng., Sogang University

ABSTRACT

In estimating the formability of sheet metal, the stereo vision system contributes the accuracy of strain of sheet metal, the convenience in measuring the strain of sheet metal, and the handiness in preparing the forming limit diagram by calculating the 3D values and strain of sheet metal. The algorithm has been developed so that the 3D-coordinate values of sheet metal could be calculated by image processing which is composed of camera calibration, and the stereo matching of images in two viewpoints. By comparing with experiments, the possibility and the convenience of algorithm has been verified, which could calculate the 3D-coordinate values of sheet metal automatically by using the preprocessing of the original image of sheet metal, which had the noise before adjusting the camera calibration and the stereo matching algorithm

Key word : Stereo Vision System, Image Processing, Camera Calibration, Stereo Matching

1. 서론

화상처리(Image Processing)란 비전시스템(Vision System)을 이용하여 화상을 획득하고, 영상의 인식, 특성 및 운동을 알아내는 일련의 작업이다[1]. 비전시스템을 이

용한 3차원 좌표의 계산은 충분한 정확도를 유지하면서, 물체의 깊이정보를 인식할 수 있다. 판재의 변형을 측정에 사용되는 전체적인 화상처리작업은 그림 1로 요약된다. 본 연구에서는 이러한 화상처리기법을 이용하여 그리드무늬 판재의 3차원 정보 및 변형률을 자동적으로 측정하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 화상처리이론

2.1 카메라보정 알고리즘

2.1.1 컴퓨터화상좌표와 절대좌표와의 관계

카메라보정은 컴퓨터화상좌표(computer pixel array)와 3차원 절대좌표(absolute coordinate)와의 관계를 구하는 작업이다. 컴퓨터화상좌표와 절대좌표를 정의함에 있어 다음과 같은 4단계의 절차가 필요하다[2].

(1) 절대좌표계의 카메라좌표계로의 변환

$$\mathbf{x} = \mathbf{R} \mathbf{x}_w + \mathbf{T}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{x} = (x, y, z)^T, \quad \mathbf{x}_w = (x_w, y_w, z_w)^T$$

\mathbf{x} : 카메라좌표벡터

\mathbf{x}_w : 절대좌표벡터

\mathbf{R} : 회전변환행렬

\mathbf{T} : 평행이동벡터

(2) 카메라좌표계의 화상좌표계로의 변환

$$X_u = f \frac{x}{z}, \quad Y_u = f \frac{y}{z} \quad (2)$$

f : 유효초점거리, (X_u, Y_u) : 화상좌표

(3) 반경방향의 렌즈왜곡

$$X_d(1 + \kappa r^2) = X_u, \quad Y_d(1 + \kappa r^2) = Y_u, \quad r = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2} \quad (3)$$

κ : 왜곡계수, (X_d, Y_d) : 왜곡화상좌표

(4) 화상좌표에서 컴퓨터화상좌표로의 변환

$$X_f = s_x X_d + C_x, \quad Y_f = s_y Y_d + C_y \quad (4)$$

s_x : x 방향 스케일 인자, s_y : y 방향 스케일 인자 [3]

(X_f, Y_f) : 컴퓨터 화상좌표

2.1.2 동일평면점을 이용한 카메라보정

보정을 위한 점들이 동일 평면상에 있으므로, $z_w = 0$ 이 되도록 절대좌표계를 설정한다[4]. 그림 2는 보정용무늬의 원시화상으로 각 원의 중심좌표를 계산하여 보정좌표로 활용하였다. 왜곡화상좌표(X_d, Y_d)의 계산에 의하여 각각의 보정점 i 에 대한 (x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}) 과 (X_{di}, Y_{di}) 로 다음의 선형 방정식을 만들어 최소자승법을 수행한다[5].

$$[Y_{di}x_{wi} \ Y_{di}y_{wi} \ Y_{di}z_{wi} - X_{di}x_{wi} - X_{di}y_{wi}] \begin{bmatrix} T_y^{-1}r_1 \\ T_y^{-1}r_2 \\ T_y^{-1}T_x \\ T_y^{-1}r_4 \\ T_y^{-1}r_5 \end{bmatrix} = X_{di} \quad (5)$$

계산된 $T_y^{-1}r_i$ ($i=1, 2, \dots, 5$)로부터 $|T_y|$ 를 다음 식(6)을 이용하여 계산하며, 문헌 [4]에서 제안한 방법으로 T_y 의 부호를 결정하여 r_1, r_2, r_4, r_5, T_x 를 계산한다.

$$T_y^2 = \frac{S_r - [S_r^2 - 4(r_1'r_5' - r_4'r_2')^2]^{1/2}}{2(r_1'r_5' - r_4'r_2')^2}, \quad S_r = r_1'^2 + r_2'^2 + r_4'^2 + r_5'^2 \quad (6)$$

r_7, r_8, T_z 및 f 는 식(2)로부터 식(7)과 같은 오차함수를 정의하여 최소자승법에 의해 계산한다. r_3, r_6 과 r_9 는 회전행렬의 직교성(orthogonality)으로부터 구한다.

$$\varepsilon = (X_u x_w r_7 + X_u y_w r_8 + X_u T_z - f \cdot x) + (Y_u x_w r_7 + Y_u y_w r_8 + Y_u T_z - f \cdot y) \quad (7)$$

식(2)로부터 비선형 최소자승법을 이용하여 f, T_z, κ 의 정확한 값을 계산한다[6]. 또한 내부변수 C_x, C_y 와 s_x, s_y 를 식(5)를 이용하여 최소자승법으로 계산한다.

2.2 화상정합(Stereo Matching)과 3차원 좌표계산

절대좌표 x_w 에 대하여, 왼쪽 카메라의 회전변환행렬과 평행이동벡터를 각각 R_l, T_l , 오른쪽 카메라는 각각 R_r, T_r 이라 하고, 각각의 카메라좌표를 x_l, x_r 이라 할 때 두 카메라사이의 관계를 식(8), 식(9)와 같이 정의할 수 있다. 두 카메라에 대하여 일치하는 점은 두 절대좌표의 차에 의해 구해지는 벡터의 노름(norm)이 최소인 점이다[7].

$$\begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{xl} \\ T_{yl} \\ T_{zl} \end{pmatrix} + t_l R_l \begin{pmatrix} X_{ul} \\ Y_{ul} \\ f_l \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{xr} \\ T_{yr} \\ T_{zr} \end{pmatrix} + t_r R_r \begin{pmatrix} X_{ur} \\ Y_{ur} \\ f_r \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\chi^2 = \left[\begin{pmatrix} T_{xl} \\ T_{yl} \\ T_{zl} \end{pmatrix} + t_l R_l \begin{pmatrix} X_{ul} \\ Y_{ul} \\ f_l \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_{xr} \\ T_{yr} \\ T_{zr} \end{pmatrix} - t_r R_r \begin{pmatrix} X_{ur} \\ Y_{ur} \\ f_r \end{pmatrix} \right]^2 = [b + t_l r_l + t_r r_r]^2 \quad (9)$$

식(9)에서 b 는 카메라 사이의 기준선(baseline)을 의미하며, r_l 과 r_r 은 각 카메라의 광축을 의미한다. 따라서 식(9)를 t_l 과 t_r 에 대한 최소자승법을 이용하여 3차원 좌표를 획득할 수 있으며, χ^2 의 최소값을 찾아 화상정합(Stereo Matching)을 할 수 있다.

2.3 화상의 전처리 및 후처리과정

화상의 전처리과정(Preprocessing)은 원시화상으로부터 원하는 그리드선을 추출하여 각각의 교차점을 구하여 화상좌표 데이터를 준비하는 과정이다[8]. 후처리과정(Postprocessing)은 카메라보정과 화상정합에 의해 얻어진 3차원 좌표로부터 변형률을 계산하는 작업이다. 본 연구에서 전/후처리과정은 기존의 개발된 프로그램을 사용하였다[2].

3. 실험결과 및 고찰

개발된 알고리즘의 정확도검증 후 실제 판재에 적용하여 변형률을 계산하였다. 실험은 보정용 화상으로부터 카메라보정 후, 화상정합(Stereo Matching)에 의해 3차원 좌표를 계산하였다.

3.1 알고리즘의 정확도 검증

알고리즘의 정확도를 평가하기 위해서 보정용화상으로부터 카메라보정을 한 후 역으로 보정용 화상좌표를 이용하여 3차원 좌표를 계산하여 구하였다. 또한 3차원 좌표의 오차를 평가하기 위해서 각 경우에 대한 3차원 z 좌표의 평균오차를 표 1에 보였으며 최대평균오차가 약 0.004mm로서 개발된 알고리즘의 정확도를 검증할 수 있었다.

이상의 결과로부터 발생하는 오차에 대하여 고찰해 본 결과, 3차원 좌표 계산시 오차의 원인은 전처리과정상의 오차에 기인하는데, 다음의 두가지로 요약된다.

첫째 원인은 두 대의 카메라로부터 서로 일치하는 화상좌표의 검색에 기인하는 오차로서 그림 3은 보정용좌표에 임의로 미소픽셀오차를 부과하였을 때 3차원 좌표의 변화양상을 보여주고 있다. 이 때 z 좌표의 값이 최대 약 0.6mm의 오차를 보임으로써 정확한 좌표검색의 중요성을 보여주고 있다.

두번째로 카메라보정 알고리즘에 의해 얻어진 평행이동벡터의 값이 최대 약 20mm이내의 오차를 가지는데, 이는 3차원좌표 계산시 오차를 유발하며 전처리과정에서의 점의 검색상의 오차에 기인한다. 따라서 전처리과정에서의 오차의 영향을 줄이기 위한 보정알고리즘의 개선이 요구된다.

3.2 판재의 변형률 측정

판재의 변형률측정은 카메라보정을 한 후, 카메라에 의해 얻어진 그림 4와 같은 그리드무늬의 판재에서 그리드선 사이의 교차점을 추출하여 화상정합에 의해 3차원

좌표를 계산하고, 후처리를 사용하여 변형률분포를 계산하였다. 표 2는 각각의 실험 조건이다. 각 실험에 대한 유효변형률 분포는 그림 5 및 그림 6에 나타내었다. 특히 그림 5는 변형이 없는 경우에 대하여 수행된 실험결과로서, 변형률 오차가 약 0.03정도임을 파악할 수 있었다.

4. 결론

화상처리방법을 이용한 판재의 변형률측정에 있어서 편리성과 정확도는 가장 중요한 인자이다. 본 연구에서는 화상처리에 의해 판재의 변형률을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 컴퓨터화상좌표와 절대좌표와의 관계를 구하기 위하여 자동 카메라보정 알고리즘을 개발하였다.
- (2) 두대의 카메라로부터 얻어진 화상으로부터 3차원 좌표와 변형률을 측정하기 위해 화상정합 및 3차원좌표를 계산하는 알고리즘을 개발하였다.
- (3) 실제 평판에 대하여 본 연구에서 개발한 프로그램을 적용하여 변형률을 측정하였다. 변형률측정시 오차가 발생하였으며, 향후 변형률오차를 최소화하는 방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

후기 : 본 연구는 공업기반기술과제의 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) D. H. Ballard, C. M. Brown, 1982, Computer Vision, Prentice Hall, pp. 1-12
- (2) 김낙수, 1996, 판형부품의 설계 및 공정해석(2차년도 중간보고서), 서강대학교 산업기술연구소, pp. 13-37
- (3) O. D. Faugeras, G. Toscani, 1986, The Calibration for Stereo, Proceedings of IEEE, vol. 86, pp. 15-20
- (4) R. Y. Tsai, 1986, An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision, Proceedings of IEEE, vol. 86, pp. 364-374
- (5) W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, 1995, Numerical Recipes in Fortran, Cambridge, pp. 36-43
- (6) S. C. Chapra, R. P. Canale, 1993, Numerical Method for Engineers, McGraw-Hill, pp. 355-361
- (7) R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunck, 1995, Machine Vision, McGraw-Hill, pp. 332-333
- (8) 김희승, 1995, 영상인식, 생능, pp. 63-67

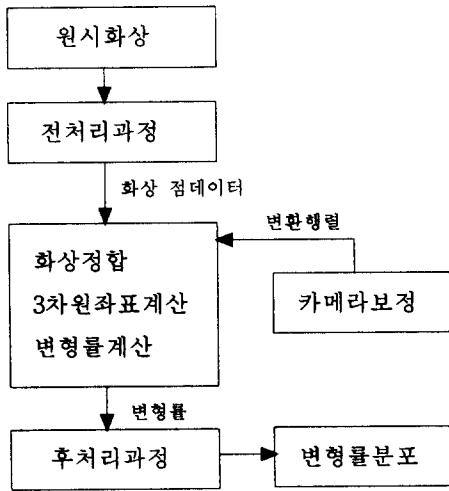


그림 1. 화상처리작업 개요

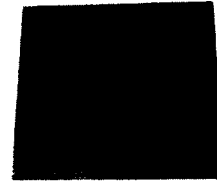


그림 4. 실험용 판재의 원시화상

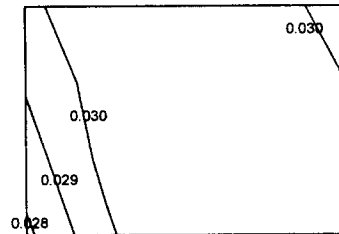


그림 5. 유효변형률분포(실험1)

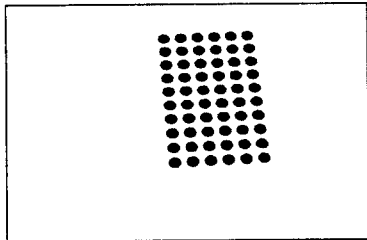


그림 2. 보정무늬의 원시화상

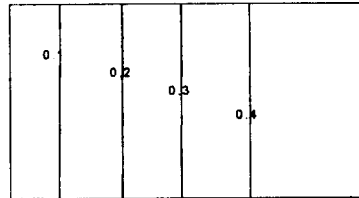


그림 6. 유효변형률분포(실험2)

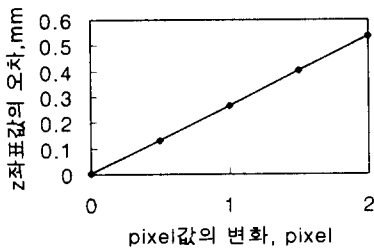


그림 3. 픽셀미소변화에 대한 z좌표변화

표 1. z값의 오차(보정용좌표)

실험번호	z값의 평균오차(mm)
1	0.001714
2	0.001716
3	0.004296
4	0.002333
5	0.002863

표 2. 판재변형률추정 실험조건

실험번호	판재형태	비고
1	평면	변형없음
2	평면	평면변형률