

화상처리기법을 이용한 판재의 변형률 측정(II)

정재윤*, 황창원*, 허만성**, 김낙수***

*서강대학교 대학원 기계공학과

** (주)화신기술연구소

***서강대학교 기계공학과

Measurement of Strain of Sheet Metal by Image Processing (II)

Jaeyoon Jeong*, Changwon Hwang*, Naksoo Kim**

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

**Dept. of Mechanical Eng., Sogang University

ABSTRACT

This paper presents a method for measuring and analyzing strains in sheet metal forming by stereo vision system. A better understanding and evaluation of the formability can be achieved by analyzing strain distribution in deformed sheet metals. By means of image processing technique, it is possible to get strain distribution efficiently.

For measuring strain automatically and accurately, algorithms for camera calibration, grid detection, stereo matching and strain analysis has been developed and verified by experiments with GUI(Graphic User Interface).

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

1. 서론

판재의 성형성은 변형된 판재의 변형률분포를 분석함으로써 얻어진다. 비전시스템을 이용한 판재의 변형률 측정은 화상처리기법에 의해 충분한 정확도를 유지하면서, 물체의 깊이정보 및 변형률을 자동적으로 획득할 수 있다. 화상처리기법을 이용한 판재의 변형률 측정은 그림 1과 같이 전처리, 카메라보정, 화상정합과 후처리 작업으로 구성된다. 본 연구에서는 각 절차에 의한 판재변형률의 측정방안을 제시하고자 한다.

2. 화상처리이론

2.1 전처리

전처리는 판재의 화상(image)에서 판재 표면에 입혀진 그리드(grid)의 화상좌표 정보를 추출하는 작업이다. 그리드 화상좌표정보는 각 질점(node)의 위치와 함께 연결성(connectivity)도 함께 얻어져야 하므로, 먼저 화상을 이진화 한후 blob detection(blob coloring)을 이용하여 각 요소(element)의 위치를 추정한다. 다음 선을 추출하고 교차점을 인식한다[1]. 화상처리에서 선추출에 주로 쓰이는 Hough transform 방법을 이용했다. 이 방법은 화상정보를 특정한 파라미터 공간(parameter space)으로 변환하여 직선 방정식(line equation)의 계수를 얻어낸다. 그림 2는 전처리 과정의 모식도이다. 그리드의 인식 결과는 그림 3과 같다[2][3].

2.2 카메라보정 알고리즘

2.2.1 컴퓨터화상좌표와 절대좌표와의 관계

카메라보정은 컴퓨터화상좌표와 3차원 절대좌표와의 관계를 구하는 작업이다. 컴퓨터화상좌표와 절대좌표를 정의함에 있어 다음과 같은 4단계의 절차가 필요하다 [4][8].

(1) 절대좌표계의 카메라좌표계로의 변환

$$\mathbf{x} = R\mathbf{x}_w + T \quad (1)$$

\mathbf{x} : 카메라좌표벡터 \mathbf{x}_w : 절대좌표벡터
 R : 회전변환행렬 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

2.2.2 카메라 상호보정

화상좌표의 절대좌표로의 변환은 일대다대응변환이므로 유일해를 구하기 위해서는 동일한 위치정보에 대해 둘 이상의 화상좌표의 정보가 필요하게 된다. 카메라 상호보정은 여타의 정밀한 이송테이블 없이 다른 깊이 및 위치정보를 가진 카메라를 이용하여 카메라보정시 단일카메라에 의한 보정보다 정확한 유일해를 구하고자하는 방안이다. 카메라 상호보정은 크게 2단계로 구성되는데 1차적으로 개선된 Tsai의 단일 카메라의 동일평면보정에 의해 카메라보정해를 얻은후 2차적으로 두 카메라사이의 상대적 위치정보를 이용하여 다음과 같은 오차함수를 최소화함으로써 카메라보정해를 얻는다 [4][5].

$$\chi = \|\mathbf{x}_{w,true} - \mathbf{x}_{w,approx}\|^2$$

$\mathbf{x}_{w,true}$: 카메라보정을 위해 임의로 결정한 절대좌표
 $\mathbf{x}_{w,approx}$: 두 대의 카메라의 단일보정 결과로부터 계산된 절대좌표

2.3 화상정합(Stereo Matching) 및 3차원 좌표계산

그림 3에서 두 대의 카메라가 3차원 공간상의 물체 m 을 바라볼 경우, 각 화상평면(image plane) R_1, R_2 상의 투영점 m_1, m_2 와 두 카메라의 중심점 C_1, C_2 그리고, 이 중심점들을 잇는 직선이 각 화상평면과 만나는 점 E_1, E_2 는 반드시 같은 평면상에 있게된다. 이 평면을 epipolar 평면이라고 부른다. epipolar 평면과 화상평면 R_1, R_2 의 교선은 epipolar line이라고 하고, 좌측 화상에 그리드 점 m_1 에 대해 정합되는 점 m_2 를 찾는 조건으로 이용할 수 있다. 즉, m_1 의 좌표가 주어졌을때, 카메라보정으로부터 C_1, C_2 점의 위치 및 R_1, R_2 의 평면의 방정식은 계산할수 있고, 정합되는 점 m_2 는 R_2 상의 epipolar line위에 있게 된다. 이러한 조건을 epipolar 제한조건(epipolar constraints)라고 부른다. Epipolar 제한조건의 적용시, 측정하고자하는 좌측 화상좌표에 대해 정합되는 우측 화상좌표는 반올림 오차나 이산화된 화상으로부터의 전처리 오차로 인해, 정확하게 epipolar line상에 있지 않게 된다. 이를 해결하기위해 좌측화상 평면점에 대해 우측 화상평면점의 epipolar line과의 수직거리가 허용치 이하인 점을 epipolar line상에 있다고 보고 3차원좌표를 계산할 때는 수선의 발을 내려, epipolar line과의 교차점을 찾아 계산한다. 그림 4의 Modified Point가 3차원좌표 계산을 위해 최종적으로 얻어지는 화상좌표이다[3][6][7].

전처리로 인식한 그리드의 절점의 개수가 많을 경우 epipolar line상에 다수의 후보점이 생겨날 수 있다. 화상정합의 후보점을 단일화하기 위해, 좌측 화상의 한 요소가 가진 4개의 절점 모두가 우측 화상요소의 모든 절점에 정합되도록 하는 요소단위정합을 수행한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자동 변형률 측정 시스템

판재의 변형을 측정하기 위해 카메라 장비를 준비하고 화상처리, 3차원좌표계산 및 변형률계산까지의 전과정을 통합한 응용프로그램을 2절에서의 알고리즘을 토대로 자체 개발했다. 변형률의 계산은 구해진 3차원좌표의 요소로부터, 평면변형조건을 적용하여 계산한다[8][9].

3.2 판재의 변형률 측정 결과

실험은 절점단위정합과 요소단위정합의 성능비교, 변형이 없는 판재의 변형률측정, 그리고 곡면판재의 변형률측정의 세가지로 구분하여 수행하였다.

절점단위정합과 요소단위정합에 있어서 표 1과 같이 절점과 요소가 많은 경우 요소단위정합이 절점단위정합에 비해 2.6배정도의 정합성공률을 보인다.

변형이 없는 판재는 본 연구에서 개발한 알고리즘의 정확도를 검증하는 지표가 된다. 이론적으로 변형률이 0(zero)이지만, 그리드의 인쇄 및 카메라보정과 전처리과정상의 오차로 인하여 표 2를 참조하면 최대 15%이내의 오차수준을 보인다. (그림 6)

곡면판재의 경우 그림 6에 변형률 분포를 보였으며, 문헌 [10]과 비교해보았을 때, 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 6에서 그리드에서 곳곳에 빈공간이 보이는데, 화상 정합의 실패로 인한 것이다. epipolar line이 후보 정합 요소간에 차이를 분명히 구분치 못하는 위치에 오게되면, 정합은 실패한다.

4. 결론

화상처리기법을 이용한 판재의 변형률측정에 있어서 편리성과 정확도는 가장 중요한 인자이다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 그리드 화상의 전처리를 통하여 그리드의 연결성 및 절점 화상좌표를 획득하는 알고리즘을 개발하였다.
- (2) 카메라 상호보정과 3차원좌표 및 변형률계산 알고리즘을 개발하였다.

(3) 그리드의 연결성과 각 절점의 3차원 좌표를 이용하여, 평판과 곡면의 변형률을 측정하여 약 15%이내의 정확도를 유지함을 알수 있다.

5. 참고문헌

[1] J. R. Parker, 1994, Practical Computer Vision Using C, WILEY, pp. 124-174 , pp. 296-323
 [2] D. H. Ballard, Computer Vision 1982, Prentice Hall, pp. 166-179
 [3] W. H. Press, Numerical Recipes in C, Cambridge, pp. 242-250
 [4] 황창원, 김낙수, 1997, 화상처리기법을 이용한 판재의 변형률측정(I), 한국소성가공학회 '97 춘계학술 논문집, pp. 207-212
 [5] R. Y. Tsai, 1986, An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision, Proc. of the IEEE Intl Conf. of Pat. Anal. and Mach. Intel., 14(10), pp. 965-980
 [6] R. Jain, 1995, Machine Vision, Mcgraw Hill, pp. 74-185, pp. 249-345
 [7] 최광용, Stereo Vision을 이용한 용접선의 로봇 교시 데이터 추출에 관한 연구, 한국과학기술원 석사 논문, pp. 10-13
 [8] 김낙수, 1996, 판형부품의 설계 및 공정해석(2차년도 중간보고서), 서강대학교 산업기술연구소, pp. 13-37
 [9] Z. Tan, 1990, Measuring Square Grids in Sheet Metal Strain Analysis by Image Processing Technique, Licentiate Thesis. 14L. Lulea University of Technology, pp. 344-351
 [10] H. J. Kim, D. Lee, 1996, Futher Development of Vision-Based Strain Measurement Methods to Verify Finite Element Analyses, 한국소성가공학회지, 제 5권 제 4호 pp. 343-352

Case		I	II
요소갯수		9	298
절점갯수		12	408
절점단위 정합	정합된 요소	9	152
	정합비	100 %	37.2 %
요소단위 정합	정합된 요소	9	398
	정합비	100 %	97.5 %

표 1 화상정합 성공률

유효변형률	실험 1	실험 2	실험 3
평균값	0.101	0.098	0.112
최대값	0.151	0.136	0.134
최소값	0.030	0.033	0.047
요소갯수	176	124	137
절점갯수	247	203	221

표 2 평판 변형률측정 실험 (변형률 0)

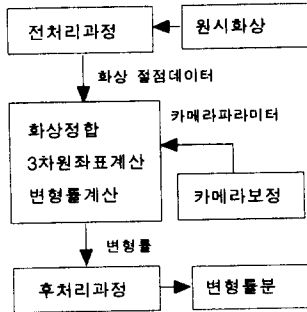


그림 1 판재의 변형률측정 개요

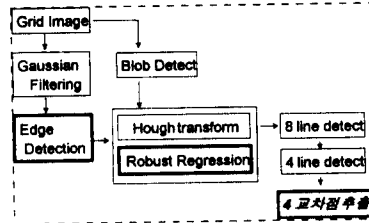


그림 2 그리드 인식 알고리즘

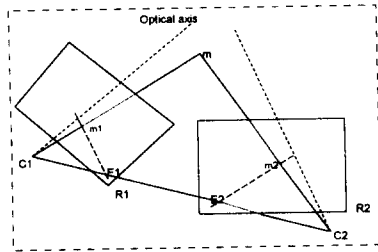


그림 3 Epipolar 조건 및 3차원좌표의 계산

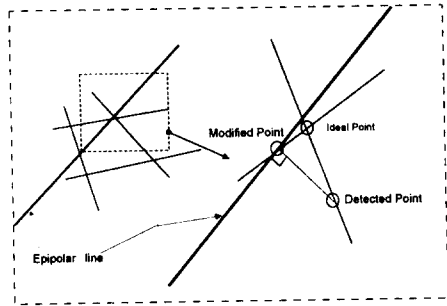


그림 4 Epipolar 조건에 의한 화상평면 좌표보정

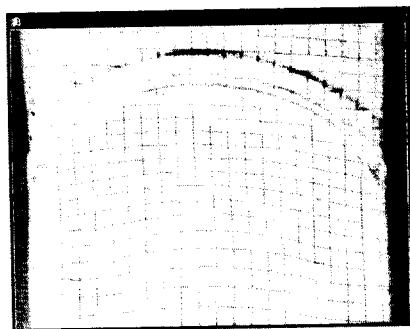


그림 5 인식된 그리드(grid)

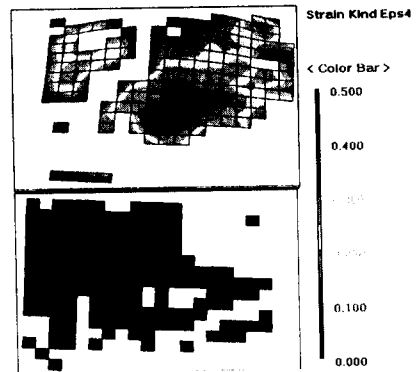


그림 6 평면 및 곡면 변형률(유효변형률)