

광학적 3차원 계측 시스템을 이용한 직물의 자동 평가 방법

조대환, 강태진

서울대학교 섬유고분자공학과

1. 서 론

시각적으로 직물 구김을 측정하는 현재의 방법은 매우 주관적이다. 근래에 들어 컴퓨터와 카메라를 이용한 기술의 발달로 직물 구김을 삼차원적으로 복원하여 분석하는 방법들의 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 그러나 이러한 방법들은 직물의 색상과 패턴에 의해 영향을 받을 수 있다. 그리고 광학적 방법에서 이용하는 카메라와 카메라에 부착하여 사용하는 렌즈의 왜들과 수차 등의 영향으로 정확한 데이터를 얻는데 많은 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 직물 구김의 자동 평가를 위한 광학적 3차원 계측을 할 때 카메라와 렌즈의 왜들과 수차 등의 영향을 없애고 정확하게 데이터를 얻을 수 있는 카메라 보정 방법을 제시하였다. 그리고 사용하는 다중 레이저 슬릿광의 위치를 정확하게 얻을 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이 시스템에서는 직물의 색상이나 패턴에 무관하게 직물 표면의 형태를 정밀하게 복원할 수 있으므로 이미 개발한 직물 구김 파라미터를 적용하여 직물 구김을 정량화할 수 있다[2].

2. 본 론

2.1 이 론

광학적 삼차원 계측은 공간상에 평면으로 형성된 레이저의 슬릿광과 카메라 사이의 기하광학을 이용하여 삼차원 형상을 측정하는 기술로 그림 1에서 기본 개념을 보이고 있다. 그림 1에서는 물체 표면에 형성된 레이저 라인을 광원과 같은 방향에서 CCD 카메라로 이미지를 얻는 경우에는 일직선의 라인으로 보인다. 그러나 레이저 광축과 카메라의 영상선과 일정한 각을 가지고 이미지를 얻는 경우에는 피사체의 표면을 따라 형성된 라인의 형상을 얻을 수 있다. 이 라인의 형상은 피사체의 높이의 정보를 가지게 된다. 그림 1의 카메라 1에서 얻은 이미지는 가까운 거리에 있는 물체의 형상은 먼 쪽의 이미지보다 크게 보이는 원근법 형상이 있게 된다. 그러므로 이미지의 보정 처리 없이 데이터를 얻는 경우에는 많은 오차의 요인을 내포하게 된다. 카메라 보정은 임의의 절대 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 위치와 방향을 결정하는 과정으로 이를 통하여 컴퓨터 화상좌표와 절대좌표와의 관계를 구하는 것이다. Pin-hole 카메라 모델로 카메라 보정 방법을 제안한 Tsai[3]의 이론은 카메라의 영사

선이 항상 일직선이라고 가정을 하였기 때문에 렌즈의 왜곡과 이미지의 원근 현상이 있는 경우에는 적용하기 어렵다. 그리고 피사체의 표면 형상이 평면이 아니라 요철이 있으므로 공간상의 좌표를 고려해야 한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 메쉬 보정판을 이용한 카메라 보정 방법을 사용하였다.

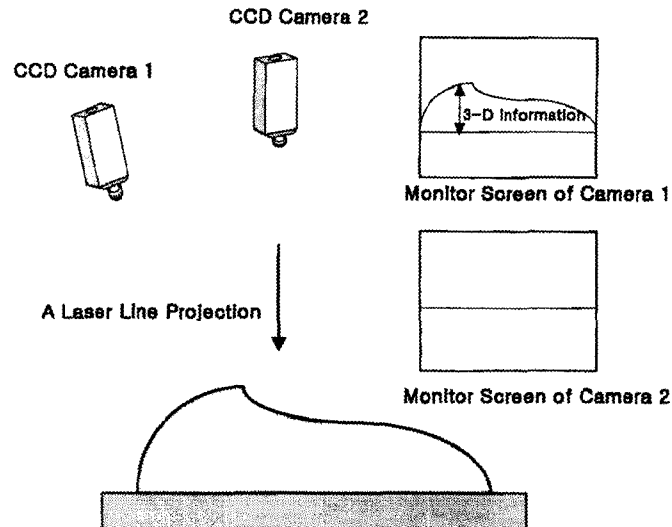


Figure 1. Basic Concept of Optical 3-Dimensional Measurement System.

2.2 시스템 구성

시스템은 이미지를 획득하고 처리할 수 있는 흑백 CCD 카메라와 이미지 획득 보드가 내장된 PC, 그리고 카메라 보정을 위한 메쉬 보정판과 이 판을 원하는 위치에 이송시킬 수 있는 구동 장치, 피사체 위에 일정 간격으로 슬릿 라인을 형성시킬 수 있는 여러 개의 레이저로 구성되어 있다. 보정판의 이미지를 얻을 때 명암의 대비를 명확하게 하기 위한 조명장치도 필요하다. 그리고 이미지에서 원하는 정보를 얻기 위해 C++언어로 코드를 개발하여 C++ Builder로 컴파일 하였다.

2.3 메쉬 보정판을 이용한 카메라 보정

그림 2에서는 메쉬 보정판을 이용한 카메라 보정 방법을 보이고 있다. World Coordinate의 $X(X_1, X_2, X_3)$ 의 좌표와 이미지 좌표 $Y(Y_1, Y_2)$ 와의 관계식은 Pin Hole 카메라로 가정 하였을 때 $X=PY$ 이다. 이때 P는 한 좌표계에서 다른 좌표계로 전환할 수 있는 상수 값으로 적용하는 식에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 광각 렌즈를 사용하였기 때문에 일그러짐이 많아 평행이동, 대칭이동, 그리고 회전의 성질을 고려한 식 $x = ay_1 + by_2 + cy_1y_2 + d$ 를 사용하였다. 이 식에서 네 개의 상수 값은 4 개 이상의 World Coordinate 좌표값과 대응되는 Image Plane의 좌표값을 알면 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdot & x_{4,1} \\ x_{1,2} & \cdot & x_{4,2} \\ 1 & \cdot & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,1} & \cdot & y_{4,1} \\ y_{1,2} & \cdot & y_{4,2} \\ y_{1,1}y_{2,1} & \cdot & y_{4,1}y_{4,2} \\ 1 & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad \text{또는 } X=PY \quad \text{--- (1)}$$

여기서 $x_{m,i}$, $y_{m,i}$ 의 m 첨자는 점을 의미하며 i 는 좌표축을 의미한다. 이때 P 는 최소자승법으로 구할 수 있다. 여기서 X 의 $x_{m,3}$ 를 고려하지 않은 것은 Plate의 한 평면에서만 고려했기 때문에 좌표계의 x_3 성분이 없다. 그러므로 첫 번째 Plate에서는 네 점으로 이루어진 메쉬(사각형)에서 하나의 P 값을 구할 수 있으므로 Plate 상에 있는 메쉬의 개수 만큼 P 를 구할 수 있다. 같은 방법으로 두 번째 Plate에서도 P 값을 구할 수 있다. 결국 $P_{j,j}$ (j =Plate의 위치, j =메쉬의 위치)만큼의 개수를 얻을 수 있다. 그림 2에서와 같이 각각의 Plate 상에 레이저 라인을 조사한 후 이미지를 얻은 다음 이미지 상에서의 레이저 라인의 Y 값을 이미지 처리를 통하여 구하고 식(1)에서 얻은 P 값을 이용하여 World 좌표의 X 값을 얻는다. 첫 번째 Plate에서 얻은 레이저 라인의 X 값은 $x_{1,i}$ 에서 $x_{n,i}$, 즉 n 개의 점을 얻을 수 있고 두 번째 Plate에서도 X 값을 $x_{1,i}$ 에서 $x_{k,i}$ 의 k 개를 구할 수 있다. 얻어진 $n+k$ 개의 점을 이용하여 레이저 라인이 형성하는 평면의 방정식을 구할 수 있다. 즉 $ax_1 + bx_2 + cx_3 + d = 0$ 에서 $a=1$ 로 놓고 이 식을 매트릭스 형태로 전개하면 (2) 식과 같다.

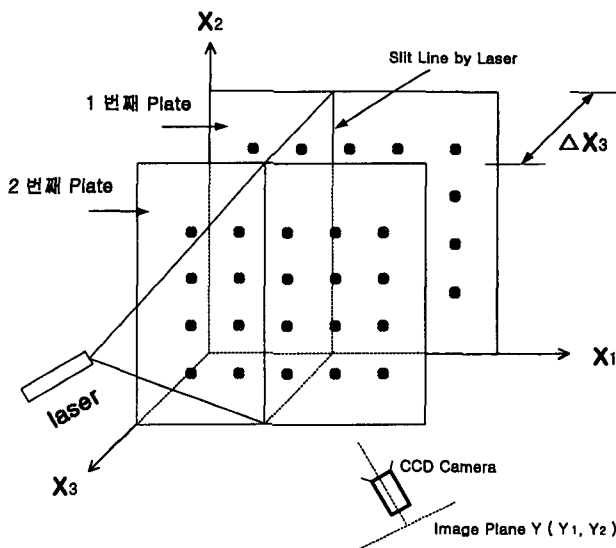


Figure 2. Configuration for the Camera Calibration using Plates and Laser.

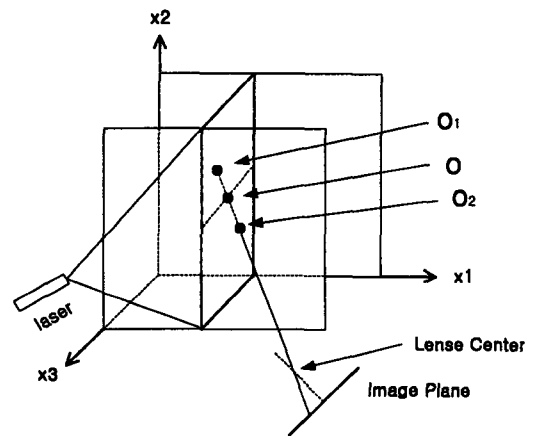


Figure 3. 3-D Measuring Algorithm.

$$- [x_{1,1} \ x_{2,1} \ \dots \ x_{n+k,1}] = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3] \begin{bmatrix} x_{1,2} & x_{2,2} & \dots & x_{n+k,2} \\ x_{1,3} & x_{2,3} & \dots & x_{n+k,3} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

또는 $-X_1 = P_1 M$ (2)

식 (2)에서 상수 P_1 값은 $P_1 = -X_1 M^T [MM^T]^{-1}$ 의 최소자승법으로 구할 수 있다.

2.4 레이저라인의 검출 방법

이미지상의 레이저 라인의 위치를 이미지 프로세싱을 통해 정밀한 Y값을 얻어내는 것이 매우 중요하다. 기존 방법들은 흑백이미지를 이진화이미지화한 후 형성된 레이저 라인의 폭의 중앙값을 Y값으로 하였다. 이 방법은 이미지를 이진화할 때의 임계값에 의해 영향을 받으며, 경사면에 형성된 라인은 폭의 증가로 정확한 Y값을 얻기가 힘들다. 본 연구에서는 레이저라인의 한 단면의 강도값을 다차항 식으로 Curve fitting하여 얻은 식에서 최대값을 구하여 Y값으로 하였다. 이의 근거는 레이저의 강도가 레이저라인의 중앙에서 최대의 출력을 갖기 때문이다. 그러므로 이미지상에서 레이저라인의 중앙값이 최대의 강도(Intensity)를 가진다. 이 계산을 레이저라인의 전체 길이에 대해 계산을 함으로써 레이저라인의 모든 위치값(Y)을 얻을 수 있다.

2.5 3차원 계측 알고리즘

카메라 보정을 통하여 상수 $P_{j,j}$ 와 P_1 값을 얻어 메모리상에 저장을 한다. 3차원 실측을 하기 위해서 첫 번째 Plate 위치에 측정하고자 하는 직물을 놓고 평행한 다중 레이저를 조사한 후 이미지를 획득한다. 이 이미지상에서 레이저 라인의 검출 방법에 의해 위치값(O)값을 얻은 후 Plate 1과 Plate 2에 대응되는 매쉬를 찾아 $P_{j,j}$ 값을 적용하여 O_1 값과 O_2 를 얻는다[그림 3]. 그리고 이 두 점에 의한 직선의 방정식을 얻을 수 있다. 결국 계산된 P_1 값을 통해 얻은 평면의 방정식과 O_1 와 O_2 에 의한 직선의 방정식의 교점을 통해 공간상의 3차원 위치값을 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 모든 레이저라인의 위치에 대하여 계산을 함으로써 측정하고자하는 전체의 3차원 좌표값을 얻을 수 있다.

3. 결 론

광학적 3차원 계측을 위한 매쉬 보정판을 이용하여 카메라 보정을 실시하였다. 기존의 Tsai가 제안 했던 방법은 카메라 및 렌즈의 수차와 왜률이 없는 공간상의 한 평면에 대해 적용 가능한 이론이다. 반면 매쉬 보정판 방법은 매쉬 영역을 작게 하여 각각의 매쉬에서 보정을 하므로 오차를 줄일 수 있다. 그리고 보정판을 일정한 Δx_3

만큼 이동하여 공간상의 평면의 방정식을 형성하여 측정함으로써 공간상의 문제점도 해결 할 수 있었다.

본 시스템은 기존의 방법보다 정밀하게 3차원 계측 데이터를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 직물의 외관이나 색상에 관계없이 계측을 할 수 있다. 그리고 평행 레이저의 개수와 투영 레이저라인의 간격을 조절함으로써 원하는 계측 데이터를 얻을 수 있다. 획득된 3차원 계측 데이터는 이미 개발된 구김 파라미터를 적용함으로써 구김을 정량화할 수 있다.

4. 참 고 문 헌

1. B. Xu, D. F. Cuminato, and N. M. Keyes, "Evaluating Fabric Smoothness Appearance with a Laser Profilometer", Text. Res. J. 68(12), 900(1998).
2. T. J. Kang, D. H. Cho, and H. S. Whang, "A New Objective Method of Measuring Fabric Wrinkle using 3-D Projecting Grid Technique", Text. Res. J, in print(1999).
3. 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. of Rob. and Aut., Vol. RA-3, No. 4(1987).