

머신 비전을 이용한 실시간 링클 측정 시스템 개발 Development of wrinkle measurement system using machine vision

*신동근¹, 토호양민², 고성림³

* D. K. Shin¹, Hoang Minh To², # S. L. Ko (slko@konkuk.ac.kr)³
^{1,3} 건국대학교 기계설계학과, ² 건국대학교 신기술 융합학과

Key words : roll to roll, wrinkle

1. 서론

RFID, Flexible display 와 같이 세계적으로 이슈가 되고 있는 분야에 있어서, 문제가 되고 있는 부분 중 하나가 바로 비용적 측면이다. 그런데 이와 같은 전자 부품의 생산에 있어서, R2R 공정을 사용하게 되면 생산단가를 크게 낮출 수 있다. 그러나 R2R 공정을 이용한 전자부품 생산에서는 높은 정밀도가 요구된다. R2R 생산 공정의 정밀도와 생산성을 더욱 높이기 위한 방법으로 웹의 컨트롤에 디지털 이미지를 이용하는 방법이 연구되고 있다. 이미 많은 비전 시스템이 개발되어 있지만, 대부분 웹 표면의 결함이나 먼지 등의 측정에 한정되어 있고, 링클이나 웹의 진동과 같은 영역의 측정에는 연구 개발이 미진한 실정이다. R2R 공정에서 링클을 컨트롤 하기 위해서는 링클의 형상 정보를 수집할 수 있는 효과적인 측정 방법이 필요하다.

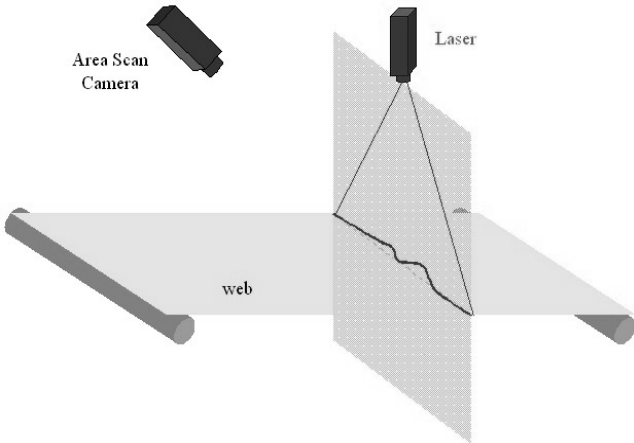


Fig 1 Layout of the wrinkle measurement system

2. 링클 측정 시스템 개발

Fig 1 은 카메라와 다이오드 레이저로 구성된 측정 시스템의 측정 원리를 보여주고 있다.

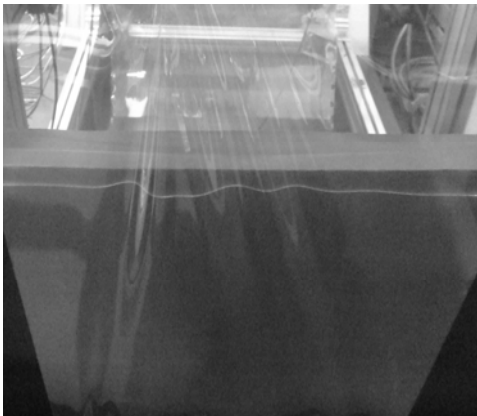


Fig 2 Image of a laser stripe on the rolling web

레이저는 점이 아닌 선의 형태로 빔을 쏘아 낸다. 레이저 빔은 웹과 만나면 웹의 표면에 빛의 띠를 형성하게 된

다. 물론 많은 양의 레이저가 투명한 웹을 통과하여 지나가지만, 웹에 맺히는 레이저의 양이 충분해 측정이 가능하게 된다. 웹 상의 빛의 띠는 링클이 없을 때는 직선으로 나타나고, 링클이 발생하면 링클의 단면을 따라 나타나게 된다(Fig 2).

3. 좌표 교정

보통 좌표 교정 과정은 카메라와 프로젝터 모델의 각각의 장치에 따라 나뉘어 진행된다. 그러나 본 시스템의 경우 카메라와 레이저 빔은 하나의 세계좌표에 고정되어있기 때문에 DePiero et al.가 제안한 one step procedure 를 이용해서 교정할 수 있다[1]. 이 방법은 $z = f(u,v)$ 모델이 사용되는데, 이것은 이미지 좌표 (u, v) 로부터 높이 z 를 구하는 모델이다. 이와 비슷하게 y 좌표를 계산하는데에는 비슷한 모델 g 가 사용된다. 참고문헌[4]에서는 많은 보정 모델들의 포착 속도와 영역 정밀도에 따른 상세한 연구 내용이 보고되어 있다. 본 시스템에서 f 는 2차 함수이고 g 는 1차 함수이다. 이것은 eq. (1)과 (2)에 나타나 있다.

$$\begin{bmatrix} u^2 & v^2 & uv & u & v & 1 \end{bmatrix} M = z. \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} u & v & 1 \end{bmatrix} N = y. \quad (2)$$

변수 M 과 N 은 교정 장치의 z_i, u_i, v_i 의 요소들을 측정하여 구성된 연립방정식에 의해 정의된다.

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ \dots \\ z_i \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1^2 & v_1^2 & u_1 v_1 & u_1 & v_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_i^2 & v_i^2 & u_i v_i & u_i & v_i & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_n^2 & v_n^2 & u_n v_n & u_n & v_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ \dots \\ \dots \\ m_6 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

eq.(3)에 주어진 모델의 보정 과정이 Fig 3에 나타나 있다. 교정 지그는 그 모서리가 세계좌표의 중심이 되고 윗면이 xy 평면으로 정의되는 플랫폼과 몇 개의 정밀한 판으로 구성된다. 판들은 그림과 같이 층계를 이루고 있어서 각각 다른 높이 z_i 를 가지고 있다. 카메라가 찍은 이미지로부터 (u_i, v_i) 에 따른 z_i 를 얻을 수 있고, eq. (3)으로부터 M 을 계산할 수 있다. $y = g(u,v)$ 모델의 교정 역시 비슷한 방법으로 할 수 있다. M 과 N 을 구한 후에는 이미지의 (u, v) 값에 eq. (1,2)을 적용해 y 와 z 좌표를 구할 수 있다. 이 두 요소는 롤러의 인코더로부터 얻는 웹의 진행방향 x 의 좌표와 더해져 측정위치의 3D 좌표를 형성하게 된다.

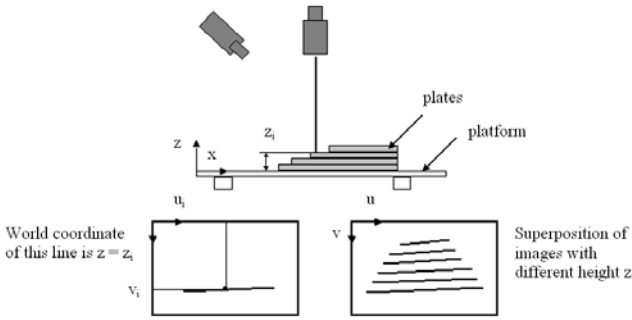


Fig 3 Calibration of measured height

4. 소프트웨어와 이미지 처리

측정 소프트웨어는 Visual C++와 Pylon 을 이용하여 멀티 쓰레딩 기법을 사용하여 grab/process 와 display 를 동시에 처리하도록 만들어졌다

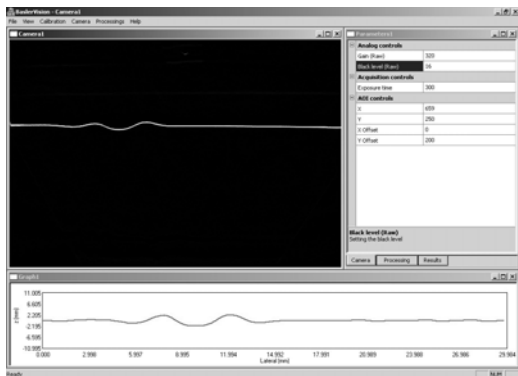


Fig 4 The measurement software

추출된 단면의 형상은 웹의 장력에 따라 그 형태가 구분된다. 장력이 높을 때의 웹의 단면은 직선의 형태로 간주할 수 있다(물론 링클의 peak 와 valley 는 제외하고). 이때는 단면의 기준선을 이 직선으로 정의하고, 링클의 높이를 기준선에서부터 peak 까지의 거리로 측정할 수 있다. 일반적으로 웹의 단면 형상은 디지털 이미지의 정밀도에 한계로 인해 부드럽지 못한 형상을 보인다. 그리고 웹의 장력이 낮은 경우에는 웹의 중앙 부분에 처짐이 발생하여 전체적인 커브를 발생시킨다. 일반적으로 이러한 경우에 곡률을 보상하기 위한 방법으로 Gaussian filter(ISO 11562)를 2번 적용하지만, 이 필터는 가장자리에서 뒤틀림을 유발하는 문제를 갖고 있다. 30mm 의 단면형상에서 λ_f 를 8mm 로 했을 때, 각각의 가장자리에서 5mm 의 손실이 일어난다. 그러므로 최종 얻게 되는 기준선의 길이는 20mm 로 줄게 된다[2].

이 문제를 극복하기 위해 우리는 Brinkmann et al. [3]이 제안한 Gaussian regression filter(ISO/TR 16610-10:2000(E))를 적용하였다. Fig5 는 단면에 이 필터링을 적용한 예를 보여주고 있다. $\lambda_c = 1.5\text{mm}$ 와 $\lambda_f = 6\text{mm}$ 를 사용하였는데, 작은 cutoff $\lambda_c = 1.5\text{mm}$ 는 시각화의 향상을 위해 단면을 부드럽게 하는 역할을 한다. 단면의 길이가 가장자리 뒤틀림 없이 유지되고 있는 것을 볼 수 있다.

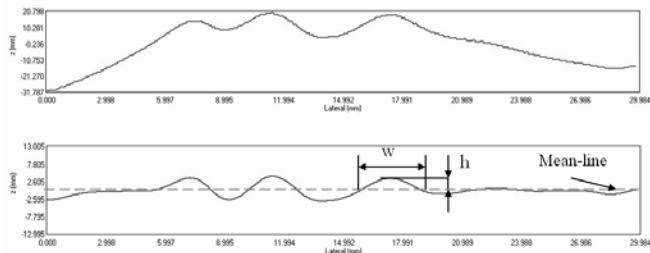


Fig 5 A profile filtered by the Gaussian regression method

5. 시스템 테스트

실험은 카메라의 최대 정밀도에서 초당 프레임을 측정하는 방법으로 진행 되었다. 프로그램을 싱글 쓰레드로 실행했을 때는 초당 프레임이 44fps(프레임 생산 속도 22ms)로 줄었다. 그러나 프로그램을 더블 쓰레드 (grab, 이미지처리를 동시에 실행)로 실행 했을 때는 초당 최대 프레임인 79fps 에 도달 하였다. 이것은 이미지 처리 시간이 최대 프레임 생산 속도(12.7ms) 보다 빨라서(6ms) 프레임 생산 속도에 영향을 끼치지 않기 때문이다. 모든 경우에 CPU 점유율은 50%를 넘지 않았다.

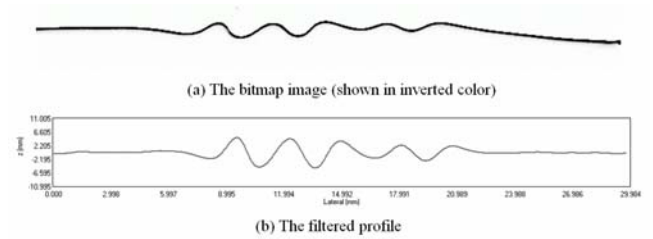


Fig 6 A typical measurement. $wrinkle = 5, (W_{location}, W_{height}) = \{P1(9.5, 4.80), P2(12.3, 4.74), P3(14.9, 3.68), P4(18.0, 2.32), P5(20.7, 2.09)\}, \max W_{sharpness} = 3.6$

6. 결론

본 논문에서는 링클 형상 측정을 위해 개발한 레이저를 이용한 머신 비전 시스템에 대해 설명 하였다. 이 장비는 웹 공정에서 많이 이용되고 있는 라인 스캔 카메라 시스템에 비해 매우 간단하고 적은 비용으로 구축이 가능하다. 이 방법의 또 다른 이점은 링클의 높이까지 측정이 가능하다는 점이다. 링클의 높이는 R2R 머신이 웹을 제어 하는데 매우 유용한 정보가 될 것이다. 측정 소프트웨어는 링클의 실시간 감지에 사용될 수 있도록 이미지 프로세싱과 필터링 알고리즘을 동시에 하는 멀티 쓰레딩 기법을 사용하여 만들어 졌다. 실험 결과는 소프트웨어가 카메라의 최대 정밀도와 최대 프레임 속도에서 아무런 문제없이 작동함을 보여준다.

그러나 이 시스템의 개발은 아직까지 시작에 불과하고, 많은 부분에서 업그레이드가 되어야 한다. 예를 들면 알고리즘의 정밀도를 높이거나 측정 영역의 확대를 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 향후 계획 중 하나는 어느 정도의 시간 동안 측정된 단면들을 연결하여 3D 로 나타내는 것이다. 이렇게 하게 되면, 웹의 속도와 장력 등의 변화에 따른 링클 형상의 변화 흐름 등을 분석하는데 더욱 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. De Piero. F.W., Trivedi, M.T., "3-D Computer Vision using Structured light", Advances in Computers, 43, 243-278, 1996
2. Krystek. M., "A fast Gauss filtering algorithm for roughness measurements", Precision Engineering, 19, 198-200, 1996
3. Brinkmann. S., Boshwinna. H., Lemke. H.W., "Accessing roughness in three- dimensions using Gaussian regression filtering", Int. J. Machine Tools and Manufacture, 41, 2153-2161, 2001