

정밀측정을 위한 카메라 보정에 관한 연구

김준희*(숭실대원) 유은이(숭실대원) 김광래(인덕전문대) 유봉환(숭실대)

A Study on the Camera Calibration for Precision Measurement

J.H. Kim* E.I. Yu K.L. Kim B.H. Ryu

Abstract

Though the increment of using computer vision system in modern industry, there are lots of difficulties to measure precisely because of measurement error distortion phenomenon. Between these reasons, the distortion of edge is dominant reason which is occurred by the blurred image. The blurred image is happened when camera can not discriminate its precise focus. To correct and generalize distortion phenomenon is important. Thus, we must fix the discrimination criteria which is collected by image recognition of precise focus. The edge of image means discontinuous point of intensity, and the component of edge is described as high frequency component at special domain spectrum of image. The good condition of focus means there are much high frequency energy in image. The method of describing high frequency energy is Gradient operator which determines the condition of focus.

Keywords : camera calibration(카메라 보정), focusing(초점), Gradient operator (그레디언트 연산자)

I. 서 론

최근 컴퓨터 비전을 기초로 한 정밀 측정과 공장 자동화 분야에 관한 관심이 점차로 증가하고 있으며, 그 사용범위 또한 크게 확대되고 있다. 그러나, 이러

한 비전 시스템 사용의 증가에도 불구하고 여러가지 원인들로 인한 측정 오차나, 왜곡 현상들 때문에, 실물과 같은 형태의 형상을 획득하여 정확하고 정밀한 측정을 하는 데에는 많은 어려움이 따르고 있다. 이러한 왜곡이 발생하는 원인은 여러가지가 있으나 주로 작용하는 원인으로는 카메라의 정확한 초점을 판별하지 못하여 발생하는 영상의 흐려짐(blurring)으로 인한 윤곽선의 왜곡, 렌즈의 굴곡으로 인한 직선의 왜곡, 빛의 회절이나 산란으로 인한 왜곡 등이 대표적이며, 이러한 왜곡 현상을 보정하여 그 보정치들을 일반화하여, 실제 현장에서 사용할 수 있도록 하는 것은 매우 중요한 일이다.

또한, 영상을 획득하는 데 있어서 현재 받고 있는 영상이 최적의 영상인지를 판단하는 기준도 정립되어 있지 않아서 육안을 통해서 보기에 최적의 영상이라고 판단되어지면 그 때의 영상으로 많은 처리를 하고 측정에 임하여 왔던 것이 현재의 상황이다^(1~3).

이러한 점들을 개선하기 위한 노력이 최근 많이 증가되고 있는데, 국내에서는 자동 초점 장치를 개발하여 최적의 영상을 얻으려는 노력이 많이 진행되고 있으며 이 부분에 있어서는 많은 발전을 보이고 있다⁽⁵⁾.

본 연구에서는 이러한 많은 왜곡 현상 중, 영상의 흐려짐으로 인한 윤곽선의 왜곡 현상을 감소시키기 위한 방법으로 정확한 초점에서 획득된 영상인지를 판별하는 기준을 주로 다루었다. 즉, 정밀도에 대한 신뢰성이 어느정도 인정되고 있는 버니어 캘리퍼스의 영상을 카메라의 높이를 이송시키면서 획득하여 획득된 영상의 Gradient 값을 구하여 이 값을 최적 영상의 조건으로 설정하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 카메라의 높이를 이송시키면서 최적의 영상을 판별하여 앞으로의 좀 더 정확하고 정밀한 측정과 가공이 이루어 질 수 있도록 하는 토대를 마련하고자 하는 데 있다.

2. 카메라의 위치 보정

영상에 있어서 윤곽선이라는 것은 광강도(intensity)의 불연속 점을 의미하고 있다. 이러한 윤곽선의 성분은 영상의 공간 파워 스펙트럼(spatial power spectrum)에서 고주파 성분으로 표현된다. 그러므로 고주파 에너지의 양이 많으면 많을수록 윤곽선 성분이 정확하게 나타나 흐려짐의 발생이 적어졌다는 것이 되며, 결국 촛점의 상태가 좋아졌다는 것을 의미한다.

고주파 에너지의 양을 나타내는 지표로서 대표적인 것은 Laplacian 과 Gradient 가 있다. 이 두 값은 고주파 에너지의 양에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러므로 이를 이용하여 촛점의 상태를 판단할 수가 있다.

영상 $f(x, y)$ 의 Laplacian은 다음과 같이 2차 도함수로 정의되어 진다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

결국 Laplacian 영상 $L(x, y)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(x, y) = f(x, y) * H_L(x, y) \quad (2)$$

여기서, $H_L(x, y)$ 는 공간영역에서의 3×3 마스크(mask)를 나타내고 있다.

영상 $f(x, y)$ 의 Gradient 영상은 1차 도함수의 벡터로 나타낼 수가 있다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$|\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (4)$$

그러므로 Gradient 영상 $G(x, y)$ 는 다음 두 개의 convolution으로 표현된다.

$$\begin{aligned} G_x(x, y) &= f(x, y) * H_x(x, y) \\ G_y(x, y) &= f(x, y) * H_y(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $H_x(x, y)$ 와 $H_y(x, y)$ 는 각각 x 와 y 방향의 3×3 sobel 마스크를 나타내고 있다.⁽⁴⁾

3. 실험

3.1 실험 장치

Fig. 1은 최적의 영상을 획득하기 위하여 구성된 시스템이다. 본 시스템은 광학테이블에 CCD카메라를 이송시킬 수 있도록 와이어를 연결한 카메라 홀더(holder)를 만들고 이송위치를 알 수 있게 하기 위하여 바늘을 홀더에 연결하여 같이 움직일 수 있도록 하였다. 또한 홀더의 가이드부에 눈금자를 부착하였다.

측정의 대상으로는 어느 정도 정밀도에 대한 신뢰성을 갖추고 있는 버어니어 캘리퍼스를 선택하여 그 눈금을 획득하였고 50mm, 100mm의 경통을 제작하여 두 가지 배율의 영상을 얻을 수 있도록 하였다.

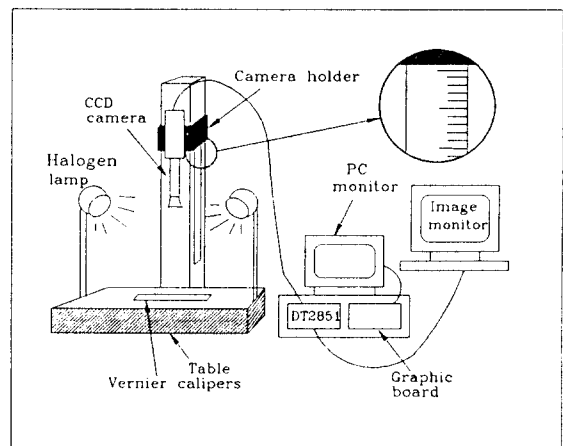


Fig.1 schematic diagram of image acquisition system

CCD 카메라를 통하여 들어온 영상은 DT-2851 이미지 보드(image board)에 의해서 256 그레이 레벨로 컴퓨터에 저장되며 이렇게 저장된 영상으로 컴퓨터에서 여러가지 처리를 하였다. 조명으로는 할로겐 램프를 사용하였고 양쪽에 두 개의 조명을 설치하여 좀 더 고른 광강도의 분포를 얻도록 하였다.

3.2 실험 방법

본 연구에서는 카메라의 높이를 변화시키면서 버어니어 캘리퍼스의 영상을 획득하여 그 영상의 변화를 살펴본다.

초기 영상의 획득 지점은 영상이 식별되기 시작하는 지점으로 설정한다. 50mm의 경통을 사용한 경우, 버어니어 캘리퍼스의 표면으로부터 렌즈 표면까지의 거리가 88mm인 지점에서 최초의 영상을 획득하며,

100mm의 경통을 사용한 경우에는 57mm의 지점에서 최초의 영상을 획득한다. 초기 위치를 설정한 후 이 위치로부터 1mm씩 이송을 하여 영상을 획득하며 다시 영상의 식별이 어려워지기 시작할 때까지 영상을 받아들인다. 이렇게 얻어진 영상은 윤곽선의 성분이 세로 방향 즉, y 방향이 주를 이루고 있으므로 Gradient의 y 방향 오퍼레이터(operator)인 3×3 수직 sobel 오퍼레이터를 적용하여 Gradient 영상을 얻었으며, 각각의 3×3 마스크에 의하여 산출된 Gradient 값들의 평균을 구하여 그 값의 추이를 관찰한다.

이와 동시에 영상의 히스토그램에 의해서 산출된 쓰레쉬홀딩값으로 이진화 영상을 만들어서 각 영상의 버어니어 캘리퍼스의 눈금간의 픽셀수를 세어서 그 변화를 살펴보고 Gradient 값과 비교 분석 한다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2와 Fig. 3은 경통의 길이가 각각 50mm, 100mm 일 때의 최초의 영상이다. 눈으로 식별이 가능한 정도의 많은 흐려짐이 발생한 영상이다. 이 영상에서 출발하여 1mm씩 물체에 가까워 질수록 점차 영상이 좋아졌다가 나빠지는 것은 인식할 수는 있으나, 실제로 어떤 영상이 최적의 영상인지를 시각적으로는 식별이 불가능하다.



Fig.2 The blurred image in 16.7 μ/pixel



Fig3. The blurred image in 9.1 μ/pixel

Fig. 4는 최적의 영상 판별의 기준이 되는 Gradient 값의 변화를 나타내고 있다. 이 값은 단조중가하다가 하나의 최대점을 지난 후 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 이 값은 50mm 경통의 경우 최초 25.50의 평균값에서부터 점차 증가하여 3mm로 이송시켰을 때 최대값 34.42의 평균값을 나타내다가 계속 비슷한 값을 반복하다가 6mm에서 부터 감소하기 시작하는 것을 볼 수 있다. 또한 100mm 경통의 경우 최초 22.17의 Gradient 값을 나타내다가 점차 증가하여 5mm 이송시켰을 때, 34.16으로 최대값을 보이고 다시 감소하기 시작한다.

이 두가지 경우를 비교해 보면, 경통 길이가 50mm인 경우는 완만한 경사를 이루며 변화하면서 최대지점이 거의 비슷한 값으로 변화된 것을 볼 수 있으나, 100mm의 경통에서는 급격한 경사를 이루며 최대값 또한 확연하게 드러나는 것을 볼 수가 있다. 이러한 현상은 초점 심도의 차이에 의한 것으로 추정할 수 있는데, 경통이 길어질수록 배율은 점차 높아지고 반면에 초점 심도는 작아지므로 초점심도가 작은 쪽은 약간의 이송에도 상이 맺히는 범위를 벗어나게 되는 것을 보여주고 있다.

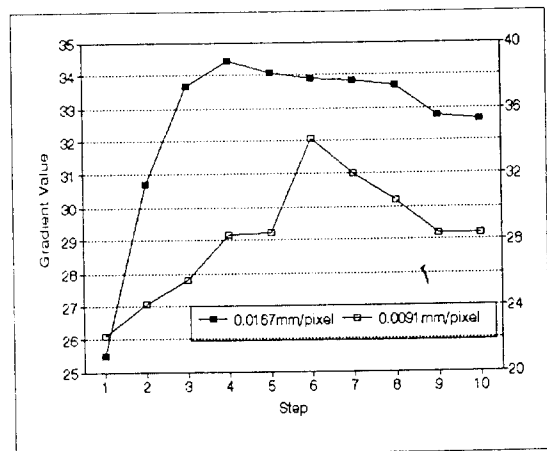


Fig.4 Variation of Gradient value



Fig.5 Fine image in 16.7 μ/pixel



Fig6. Fine image in $9.1 \mu/\text{pixel}$

Fig. 5와 Fig. 6은 Gradient 값이 최상이 되는 지점의 영상을 나타내고 있다. 이 두 영상은 앞의 두 영상과 비교해서 흐려짐이 많이 좋아졌다는 것을 알 수가 있다.

Fig. 7은 각 위치에 따른 눈금 사이의 픽셀 수의 변화를 보여주고 있다. 이 값은 초기 영상과 마지막 영상에서는 거의 그 경향과 무관하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 흐려짐이 너무 심하여 정확한 쓰레쉬홀딩 지점을 찾지 못하여 정확한 이진 영상을

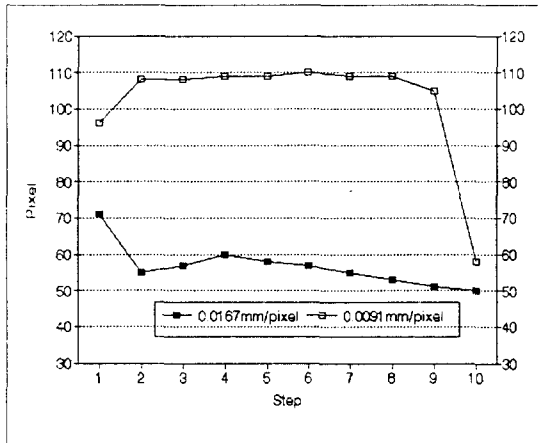


Fig.7 Variation of pixel count

을 얻지 못한 데 있다. 그러나, 초기보다 1mm 이송시킨 영상부터는 그 픽셀 수의 변화가 일정한 경향을 나타내고 있다. 즉, 픽셀 수가 점차 증가하다가 다시 감소하는 것을 볼 수가 있다. 이러한 현상은, 흐려짐으로 인해서 윤곽선이 정확하게 나타나지 않아 뿌연게 넓게 나타나므로 쓰레쉬홀딩을 하면 이 부분이 모두 눈금으로 나타나므로 눈금의 가장자리부터 다음 눈금의 가장자리까지의 간격이 좁아지게 된다. 그러므로 촛점이 맞게 될수록 간격은 점차 넓어지게 되는 것이다. 그러나 이 값은 그 변화량이 매우 작아서 50mm 경통에서는 어느 정도 판별이 가능한 경향을 보이고 있지만 100mm 경통의 경우에 촛점 부근에서는 거의

아무런 변화가 없음을 볼 수가 있다.

위의 두가지 경향을 비교해 볼 때, 거의 같은 경향을 나타내고 있으나 Gradient 값이 좀 더 명확한 경향을 나타내고 있음을 알 수가 있다.

그러므로, Gradient 값으로 영상의 최상의 촛점 상태를 판단하는 방법이 더 타당성이 있음을 알 수 있다.

5. 결론

이상과 같이 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영상의 확대율이 적을 경우에는 윤곽선간의 간격 변화로도 촛점상태의 판별이 가능하였으나 배율이 높은 경우에는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.
2. Gradient operator를 이용하여 영상의 촛점상태를 판별할 수 있었으며, 이것은 고배율이나 저배율, 모두 적용이 가능하였다.

참고 문헌

- [1] D. Zhang, Y. Nomura, and S. Fujii, " Error Analysis and Optimal Setup on Camera Calibration ", ACCV'95, pp.II-210~II-214. December 1995
- [2] F. Bergholm, " Edge Focusing ", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-9, No.6, pp. 726~741, 1990
- [3] Z. Chen, C. Wang, and S. Ho, " An Effective Search Approach to Camera Parameter Estimation Using an Arbitrary Planar Calibration Object ", Pattern Recognition, Vol.26, No.5, pp.655~666, 1993
- [4] R.C. Gonzalez and P. Wintz, *Digital Image Processing*, by Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1977
- [5] 권오달, "컴퓨터비전 및 자동촛점 장치를 이용한 크레터 마멸 연구", 대한기계학회 춘계 학술대회논문집, pp. 369~373, 1995