

영상 측정 시스템의 오차 분석

Error Analysis of the Image Measurement System

김준희, 유은이, 사승윤(승실대학교대학원), 김광래(인덕전문대학), 유봉환(승실대학교)
Jun Hee Kim, Eun Yi Yu, Seung Yoon Sa(Graduate School, Soong Sil Univ),
Kwang Lae Kim(In Duck College), Bong Hwan Ryu(Soong Sil Univ.)

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. Among 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 calibrate and generalize distortion phenomenon is important. Thus, we must fix the discrimination criteria which is collected by image recognition of precise focus. Also, radial distortion causes an inward or outward displacement of a given image point from its ideal location. This type of distortion is mainly caused by flawed radial curvature curve of the elements. Thus, we were analyzed the distortion in terms of the changed with lens magnification.

Key Words : camera calibration(카메라 보정), gradient operator(그라디언트 연산자), focusing(초점), lens distortion(렌즈의 왜곡)

1. 서 론

컴퓨터 비전을 기초로 한 정밀 측정과 공장 자동화 분야에 관한 관심도가 점차로 증가하고 있다. 그러나, 이러한 비전 시스템 사용의 증가에도 불구하고 측정 오차나, 왜곡(distortion)현상들 때문에, 실물과 같은 형태의 형상을 획득하여 정확하고 정밀한 측정을 하는 데에는 많은 어려움이 따르고 있다. 왜곡 현상은 크게 두가지로 나눌 수가 있는데, 그 첫 번째 범주는 3차원 영상을 2차원 평면에 표현(mapping)하는 것에 따른 기하학적인 오차를 들 수가 있으며, 두 번째 범주로는 측정 과정의 외부 요인에 의하여 발생하는 것들이 있다. 즉, 카메라의 정확한 초점을 판별하지 못하여 발생하는 영상의 흐려짐(blurring)으로 인한 윤곽선의 왜곡, 렌즈의 굴곡으로 인한 직선의 왜곡, 빛의 회절이나 산란으로 인한 왜곡 등을 들 수가 있다. 그러므로, 정밀한 측정을 위해서는 다양한 왜곡 현상을 보정하고, 그 보정치들을 일반화하여, 실제 현장에서 사용할 수 있도록 하는 것이 매우 중요한 일이라 할 수 있다.

또한, 획득한 영상이 최적의 영상인지를 판단하는 기준 또한 정립되어 있지 않아서 보통 육안을 통해

서 관찰하기에 최적의 영상이라고 판단되어지면, 그때의 영상으로 처리를 하고 측정에 입하여 왔던 것이 현재의 실정이다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

이러한 문제점들을 개선하기 위하여 대부분 기하학적인 오차를 보정하기 위한 연구들이 오랜 기간 동안 시도되었으며 특히, Tsai⁽⁵⁾ 등은 이 분야에 있어서 기본적인 토대를 구축하였다. Shih⁽⁶⁾ 등은 고유치 문제를 적용하여 렌즈의 왜곡을 오차 분석에 의하여 보정하려는 시도를 하였으며, Weng⁽⁷⁾은 실제 물체의 좌표와 이 물체에 대응하는 영상에 투영된 좌표 사이에 최소자승오차를 최소화하여 렌즈의 왜곡을 계산하였다. 국내에서는 자동 초점 장치를 개발하여 최적의 영상을 얻으려는 노력이 많이 진행되고 있으며 이 부분에 있어서는 많은 발전을 보이고 있다⁽⁸⁾.

본 연구에서는 왜곡 현상 중, 영상의 흐려짐으로 인한 윤곽선의 왜곡 현상을 감소시키기 위한 방법으로 정확한 초점에서 획득된 영상인지를 판별하는 기준을 정립하도록 하였다. 그리고 렌즈의 굴곡으로 인하여 발생하는 직선의 휨이나 영상의 중심과 바깥 쪽으로의 간격 변화를 측정하여 그 왜곡을 분석하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 최적의 영상을 판별하

고 실제 작업에서 발생하는 오차들을 보정하여 정밀한 측정과 가공이 이루어 질 수 있도록 하는 토대를 마련하고자 하는 데 있다.

2. 관련 이론

2-1 카메라의 위치 보정

영상에 있어서 윤곽선이라는 것은 광장도의 불연속 점을 의미하고 있다. 이러한 윤곽선의 성분은 영상의 공간 파워 스펙트럼에서 고주파 성분으로 표현된다. 고주파 에너지의 양이 많을수록 윤곽선 성분이 정확하게 나타나 흐려짐의 발생이 적어진다는 것을 의미한다.

고주파 에너지의 양을 나타내는 지표로서 Laplacian 과 Gradient 가 이용되고 있다. 이 두 값은 고주파 에너지의 양에 비례하여 증가하는 경향을 나타내므로 초점의 상태를 판단할 수가 있다.

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

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

결국 Laplacian 영상 $L(x, y)$ 는 다음과 같다.

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

여기서, $H_L(x, y)$ 는 공간 영역에서의 3×3 마스크이다.

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

$$G_x(x, y) = f(x, y) * H_x(x, y) \quad (5)$$

$$G_y(x, y) = f(x, y) * H_y(x, y)$$

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

2-2 렌즈에 의한 왜곡

카메라의 다양한 왜곡들 중에서도 가장 지배적인 왜곡은 반경 왜곡이다. 반경 왜곡이란 영상점의 이상적인 위치로부터 바깥쪽 또는 안쪽으로 변위가 발생하는 것을 의미한다. 이런 왜곡은 렌즈가 곡률 반경을 가진 결점이 있기 때문에 발생하게 된다. 영상 점들이 음(-)의 반경 변위를 갖는 것은 가운데가 볼록한 왜곡으로 간주되어지며, 이 왜곡은 바깥 점들이 서로 응집하여 크기를 감소시킨다. 양(+)의 반경 변위는 가운데가 오목한 왜곡으로 간주되어지며, 이 왜곡은 바깥 점들이 퍼져서 크기를 증가시킨다. 이 왜곡들의 형태는 광축에 대하여 엄밀히 말하자면 대칭이다. Fig. 1은 반경 왜곡의 효과를 나타내고 있다.

완전하게 중심이 맞은 렌즈의 반경 왜곡은 다음 식과 같이 표현되어진다.

$$X_d = X_u(1 + kR^2)^{-1} \quad (6)$$

$$Y_d = Y_u(1 + kR^2)^{-1} \quad (7)$$

$$R^2 = X_u^2 + Y_u^2 \quad (8)$$

여기서 (X_d, Y_d) 는 왜곡된 영상좌표이고, k 는 렌즈왜곡 반경계수, (X_u, Y_u) 는 왜곡되지 않은 이상적인 영상좌표이다.

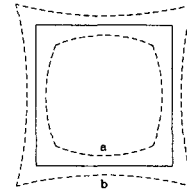


Fig. 1 Effect of radial distortion.

Solid line: no distortion,

Dashed line: radial distortion

(a: negative, b: positive)

3. 실험 장치 및 방법

3-1 실험 장치

영상 획득을 위한 실험 장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

영상의 왜곡을 측정하기 위하여 target의 영상을 획득하게 되는데 이때의 영상 획득 시스템은 먼저 target의 중심과 CCD카메라의 영상면과 렌즈의 광

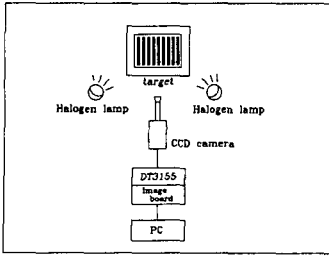


Fig. 2 Schematic diagram of image acquisition

축이 동일 직선 상에 놓여야 한다. 또한, target면과 CCD카메라의 촬상면이 평면에 수직하고 서로 평행하게 놓이도록 한다.

이러한 영상 획득 시스템에서 target의 영상을 획득하기 위하여 할로젠 램프를 조명으로 사용하여 양 방향으로 비추며 CCD카메라와 DT3155 영상획득 보드를 통해 1 프레임의 영상이 PC에 저장되도록 구성한다. 또한 영상의 배율을 변화시켜주기 위해 5가지(10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 50mm)의 경통을 제작하고, 이들을 조합하여 여러 단계로 배율을 변화시킬 수 있도록 한다. 이송기구에 카메라를 부착시켜 초점의 위치에서 카메라의 미소 이송을 가능하게 한다.

3-2. 실험 방법

렌즈의 왜곡을 알아보기 위하여 영상획득시 최적의 초점위치를 설정하기 위한 것과 이 위치에서 렌즈의 왜곡으로 인한 영상 내에서의 왜곡이 어느 정도로 나타나는지를 알아보며, 그 다음에는 배율이 커지고 작아짐에 따라 이송의 영향이 어떻게 변화하는지를 알아 본다.

먼저, 영상획득시 최적의 초점위치를 찾기위하여 최초로 초점이 잡히는 위치에서 초점이 다시 흐려지는 위치까지 배율에 따라 미소량을 이동시키면서 영상을 획득한다. 이렇게 얻어진 영상은 윤곽선의 성분은 y 방향이 주를 이루고 있으므로 Gradient의 x 방향 연산자인 3×3 수직 sobel 오퍼레이터를 적용하여 Gradient 영상을 얻으며, 각각의 3×3 마스크에 의하여 산출된 Gradient 값들의 평균을 구하여 그 값의 추이를 관찰한다.

경통길이 10mm, 25mm에서는 이송을 1mm로 하였으며, 고배율인 50mm, 75mm, 100mm, 120mm 경통에서는 0.5mm의 이송을 주어 각각의 이송량의 변화에 따라 영상을 획득하고, 이 영상들로부터 최적의 초점위치를 구하게 된다.

이때, 영상 획득을 위해 사용되는 target은 일정한

등간격을 가지는 격자무늬를 사용하였으며, 렌즈의 배율에 따라 이들의 x방향에 대한 간격의 변화가 어떻게 발생하는지를 관찰하면서, 렌즈의 곡률에 대한 왜곡을 살펴본다.

4. 실험 결과 및 고찰

4-1 초점상태의 판별

Fig. 3은 본 연구를 수행하기 위하여 제작된 것으로 등간격의 표준 격자무늬의 형태를 나타내고 있다. 이 표준 격자무늬가 최초로 인식되기 시작할 때의 6가지 배율에서의 영상은 Fig. 4와 같다.

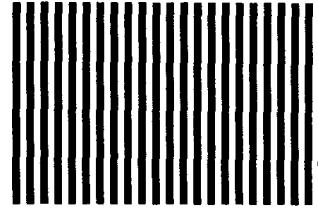


Fig. 3 Test image for experiment

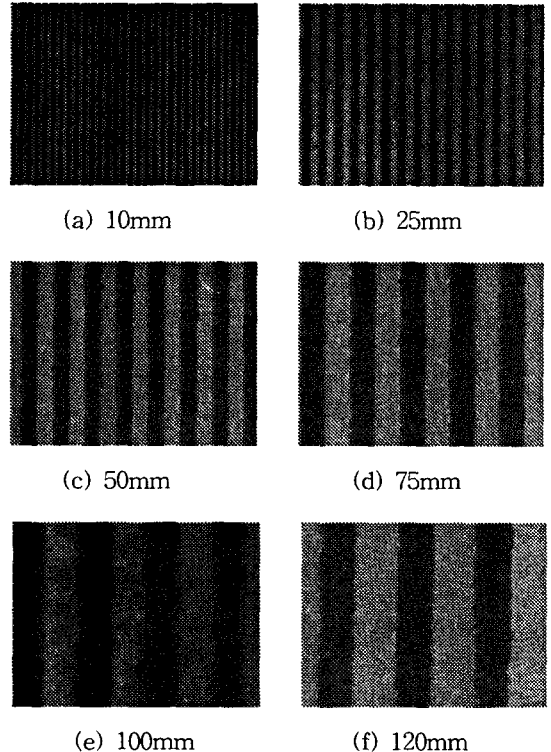


Fig. 4 Blurred image on lens tube

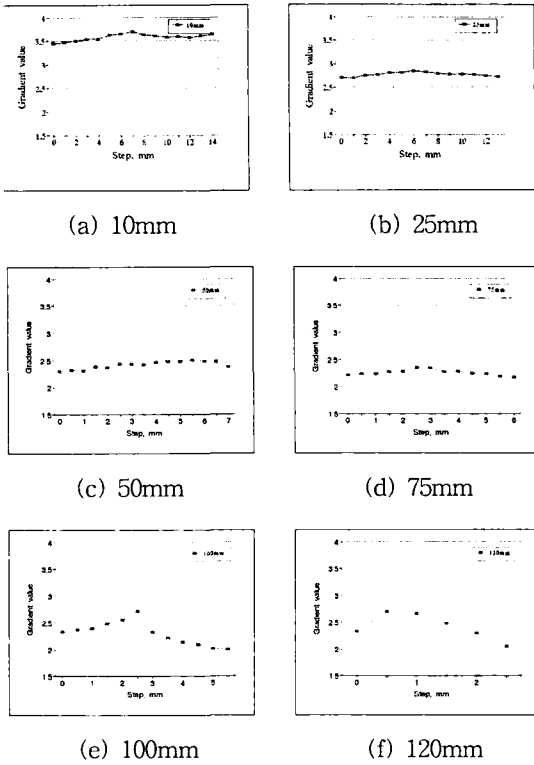


Fig. 5 Variation of gradient value

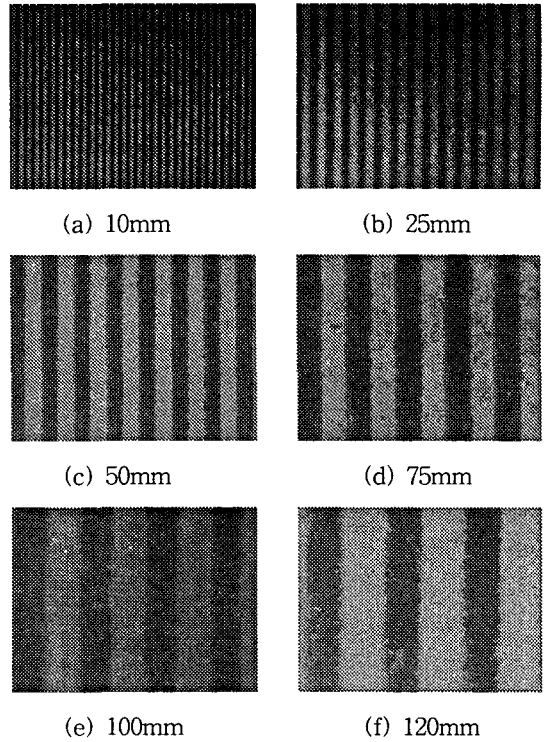


Fig. 6 Fine image in maximum Gradient value

이 영상들은 확실한 초점위치를 찾지 못하여 얼마간의 흐려짐이 발생되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 최적의 영상 판별의 기준이 되는 Gradient 값의 변화를 나타내고 있다. 이 값은 단조롭게 증가하다가 최대점을 지난 후 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 예를 들면, 75mm 경통인 경우 Gradient 값이 초기의 2.2117에서 시작하여 최고 2.3507까지 증가하다가 점차 감소하여 2.1699로 변화한 것을 알 수가 있다.

각각의 경통의 경우를 비교해 보면, 경통 길이가 짧은 경우는 이송 1mm에서도 완만한 경사를 이루면서 최대점과 최소점의 차가 크지 않으나, 길이가 긴 경통에서는 이송 0.5mm에서도 급격한 경사를 이루고 최대값 또한 확연하게 드러나는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 초점 심도의 차이에서 비롯된 것으로 추정할 수 있는데, 경통이 길어질수록 배율은 점차 높아지고 반면에 초점 심도는 작아지므로 약간의 이송에도 상이 맺히는 범위를 벗어나게 되는 것을 보여주고 있다.

Fig. 6는 각 경통 길이당의 Gradient 값이 최상이 되는 지점의 영상을 나타내고 있다. 이 영상들은 앞의 영상들과 비교해서 흐려짐이 개선되었다는 것을 알 수 있다.

4-2 격자 간격의 변화

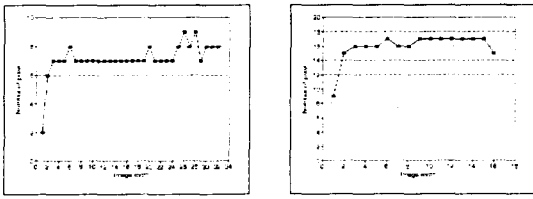
Gradient값이 최대가 되는 지점에서의 영상을 스레쉬홀딩하여 각 격자 사이의 화소의 수를 세어 보면 Fig. 7와 같은 결과를 얻을 수 있다.

작은 배율일 때에는 픽셀수의 변화가 거의 없으나, 배율이 높아질수록 그 변화가 조금씩 커지게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 배율이 커질수록 반경 방향 오차가 크게 발생하는 것을 나타낸다.

4-3 영상의 라인 프로 파일 (Line profile)

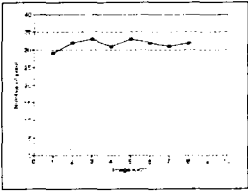
Fig. 8은 각 배율마다 초점이 잘 맞은 경우와 맞지 않은 경우의 영상의 라인 프로 파일을 같이 나타내고 있다. 실선은 Gradient로 구하였을 때 영상의 초점이 잘 맞았을 경우이고, 점선은 초점이 맞지 않았을 경우에 해당된다.

전체적으로 점선은 실선에 비해서 그 최대점이 낮고 간격이 넓은 부드러운 곡선을 이루고 있다. 이것은 초점이 잘 맞았을 때보다 명암 대비(contrast)가 확실하지 않음을 나타내고 있다.

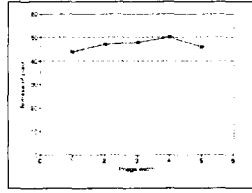


(a) 10mm

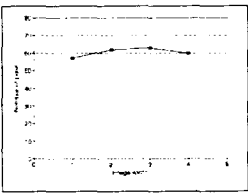
(b) 25mm



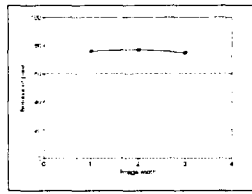
(c) 50mm



(d) 75mm

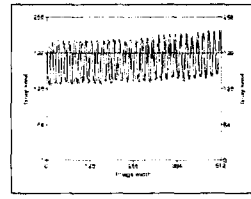


(e) 100mm

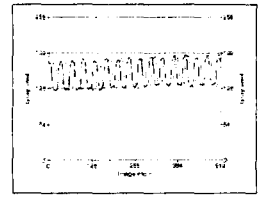


(f) 120mm

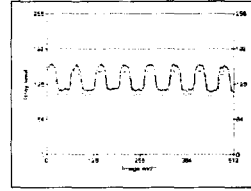
Fig. 7 Variation of pixel number on sacle



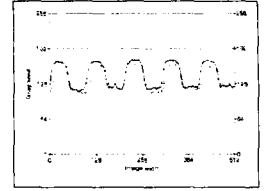
(a) 10mm



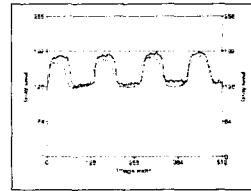
(b) 25mm



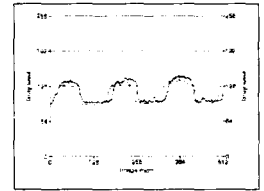
(c) 50mm



(d) 75mm



(e) 100mm



(f) 120mm

Fig. 8 Line profile on scale

Dashed line:blurred image

Solid line:fine image

4-4 고찰

본 연구에서 얻고자 한 것은 컴퓨터 비전 시스템을 이용한 측정에 있어서 획득한 영상이 최적의 영상인지를 판별할 수 있도록 하는 기준과 여러 가지 오차의 보정치들이다. 이를 위하여 판별 기준 중 초점점상태를 판단할 수 있는 Gradient 기법을 사용하여 기준을 정립하였으며, 정밀한 표준 격자를 이용하여 반경 방향 왜곡이 배율에 따라 어느 정도 발생하는지도 살펴보았다. 경통의 길이만을 조절하여 배율을 조정하였으며, 이에 따라 반경 방향의 왜곡이 동일한 렌즈에서도 배율이 클수록 왜곡이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한 라인 프로 파일을 이용하여 선명한 영상과 흐려짐이 발생한 영상과의 차이를 눈으로 확인할 수 있었다.

이러한 Gradient 기법과 왜곡 정도를 알아보는 작업은 매우 빠른 시간에 처리되며, 현장에서 직접 적용이 가능하다는 장점이 있다.

반경 방향 왜곡을 측정하는데 있어서는 이와 같은 기법을 이용하여 앞으로 보정치를 산출하여 실 영상에 가까운 영상을 획득하는 데 기여할 것이다.

5. 결 론

컴퓨터 비전 시스템을 이용한 측정을 보다 정밀하고, 자동 검사 장치의 기본이 되는 작업으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Gradient operator를 이용하여 영상의 초점상태를 판별할 수 있었으며, 고배율이나 저배율 모두 적용이 가능하였다.
2. 표준 격자무늬를 사용하여 렌즈의 굴곡으로 인한 반경 방향 왜곡의 정도를 화소의 수로 파악할 수 있었다.
3. 라인 프로 파일을 이용하여 영상의 선명도를 육안으로 직접 구별할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. D. Zhang. , Y. Nomura. and S. Fujii, " Error Analysis and Optimal Setup on Camera Calibration," ACCV'95, pp.Ⅱ-210~214, Dec., 1995
2. F. Bergholm, " Edge Focusing ," IEEE Trans. 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 R. E. Wood, *Digital Image Processing*, by Addison-Wesley, 1992
5. R. K. Lenz and R. Y.Tsai, "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, No.5, pp.713~720, 1987
6. S. W. Shih, Y. P. Hung and W. S. Lin, " Accurate linear technique for camera calibration considering lens distortion by solving an eigenvalue problem," in Optical Engg., Vol.32, No.1, pp. 138~149, Jan., 1993
7. J. Weng, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation," in IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp. 965~980, 1992
8. 권오달, "컴퓨터비전 및 자동초점 장치를 이용한 크레이터 마멸 연구," 대한기계학회 춘계 학술대회논문집, pp. 369~373, 1995