

선폭들의 투영변화율을 이용한 카메라 교정 파라미터 추정

*정준익, *문성룡, **노도환
*전북대학교 전기공학과, **전북대학교 전자정보공학부

The Camera Calibration Parameters Estimation using The Projection Variations of Line Widths

*Jeong Jun-ik, *Moon Sung-Young, **Rho Do-Hwan
*Dept. of Electrical Eng., **Div. of Electronic & Information in Chonbuk National University

Abstract - With 3-D vision measuring, camera calibration is necessary to calculate parameters accurately. Camera calibration was developed widely in two categories. The first establishes reference points in space, and the second uses a grid type frame and statistical method. But, the former has difficulty to setup reference points and the latter has low accuracy. In this paper we present an algorithm for camera calibration using perspective ratio of the grid type frame with different line widths. It can easily estimate camera calibration parameters such as focal length, scale factor, pose, orientations, and distance. But, radial lens distortion is not modeled. The advantage of this algorithm is that it can estimate the distance of the object. Also, the proposed camera calibration method is possible estimated distance in dynamic environment such as autonomous navigation. To validate proposed method, we set up the experiments with a frame on rotator at a distance of 1,2,3,4[m] from camera and rotate the frame from -60 to 60 degrees. Both computer simulation and real data have been used to test the proposed method and very good results have been obtained. We have investigated the distance error affected by scale factor or different line widths and experimentally found an average scale factor that includes the least distance error with each image. It advances camera calibration one more step from static environments to real world such as autonomous land vehicle use.

1. 서 론

공장자동화, 로보틱스, 항공사진 등 시각시스템을 이용하여 대상을 계측하거나 인식할 경우 계측 대상의 위치·자세 등의 수량적인 정보를 추정하려면 카메라 교정은 선행되어야 한다.

카메라 교정 파라미터로는 광학적·전기적 특성에 관여하는 내부 파라미터와 두 시스템(카메라와 대상)간의 위치·자세 관계를 나타내는 외부 파라미터로 나눌 수 있다. 내부 파라미터에는 화면거리, 이미지 중심, 렌즈 왜곡, 스케일 인자(scale factor) 등이 있고, 외부 파라미터에는 두 시스템 좌표계의 축의 방향을 나타내는 회전각과 원점간의 위치벡터로 나눌 수 있다.

기존의 카메라 교정에 관한 연구는 크게 선형적인 접근법과 비선형적인 접근법으로 구분된다.

선형적인 방법은 계산이 쉬우나 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 비선형적인 방법은 계산은 어렵지만 정확한 장점이 있지만, 좋은 초기치를 추정해야 하는 단점이 있다. 특이한 교정법으로는 두개 혹은 세개의 교정판을 이용하는 방법¹⁾, 기하학적인 접근법²⁾, 신경망을 이용한 방법³⁾, 통계적 방법⁴⁾, 무한원점을 이용한 방법^{5,6)} 등이 있다. 이러한 방법은 각 방법에서 제시한 모델이 없는 추정이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서 이러한 방법의 단점을 보완하고자 선폭의 영상면상 투영비율을 이용하여 카메라 교정 파라미터를 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

2. 기본 카메라 모델

다른 선폭들로 구성된 교정판을 이용하기 위해서 논문에서는 교정판과 카메라 좌표계를 사용한다. 좌표계중 직교좌표계를 이용하여 교정판의 위치, 자세를 표현한다. 그림 1은 핀홀카메라에 기본적인 좌표계를 나타낸 것이다. 공간상의 한 점을 P_w 라 하고, 좌표를 $P_w = [x_w \ y_w \ z_w]^T$ 라 하자. 각 좌표의 기준 단위는 [mm]이다. 공간좌표계를 WCS, 카메라좌표계를 CCS라 하자.

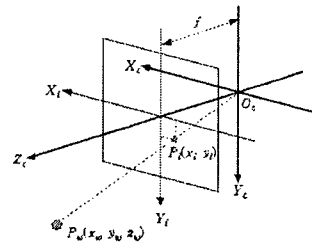


그림 1. 핀홀 카메라 투영
Fig. 1. pin hole camera perspective

영상면 좌표계 ICS는 CCS의 x-y평면과 평행하게 설정하고, 광축을 z축으로 한다. 렌즈 중심을 원점으로하면, 영상면은 카메라 좌표계로 (0, 0, f)로 표현할 수 있다. 공간상의 점 P_w 와 영상면에 투영된 점 P_i (in pixels)은 다음 식과 같이 표현된다.

$$kP_i = MRP_w + T \tag{1}$$

여기에서, k는 스케일 팩터, R과 T는 각각 회전과 이동을 나타낸다. M은 카메라 투영행렬이고, f는 초점거리이다. 식(2)는 영상좌표와 카메라좌표와의 투영관계를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} x_i &= fx_c / z_c \\ y_i &= fy_c / z_c \\ z_i &= f \end{aligned} \tag{2}$$

영상좌표에서 열 스케일 팩터를 S_x , 행 스케일 팩터를 S_y 라 하면, 투영된 영상좌표는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i S_x \\ y'_i &= y_i S_y \end{aligned} \tag{3}$$

식(4)는 스케일 팩터 계수 k를 나타낸 것이다.

$$k = S_x / S_y \tag{4}$$

3. 선폭의 투영관계 해석

그림 3은 한 선의 선폭을 수평폭은 수직성분으로 시작점과 끝점을 각각 pm 과 pn 으로 구분하여 표현한 것이다.

영상면 좌표에서 한 선폭은 식(5)와 같이 산출된다.

$$w'_{mn} = \sqrt{(x'_m - x'_n)^2 + (y'_m - y'_n)^2} \quad (5)$$

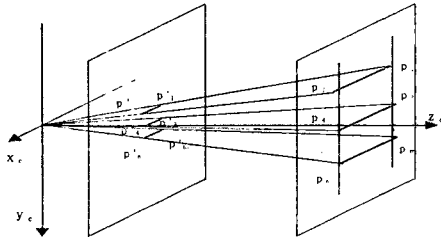


그림 2. 선폭들의 투영

Fig. 2. Perspective of line widths

식(6)은 두점 pm과 pn으로 구성된 선폭을 카메라 좌표계에서 구현한 것이다.

$$w_{mn} = \frac{1}{f} \sqrt{(z_n x'_n - z_m x'_m)^2 + (z_n y'_n - z_m y'_m)^2 + f^2 (z_n - z_m)^2} \quad (6)$$

만약, 카메라 좌표계에서 xy평면과 대상물체의 좌표계가 평행하다면, 대상체의 모든 선폭 w는 같은 z좌표값을 갖는다. 그때, 선폭은 동일하게 식(7)을 통해 투영된다.

$$\frac{z_{mn}}{f} w'_{mn} = w_{mn} \quad (7)$$

대상좌표계가 각축에 대해 회전하였을때, 각 선폭은 두점의 z 좌표값에 의해 투영된다. 식(8)은 이 관계를 나타낸 것이다. 이와 같은 z값의 이동은 그림 3에서의 같이 동일한 투영비를 갖지 않고, 변하게 된다.

$$\frac{z_{mn}}{f} w'_{mn} = \zeta_{mn} w_{mn} \quad (8)$$

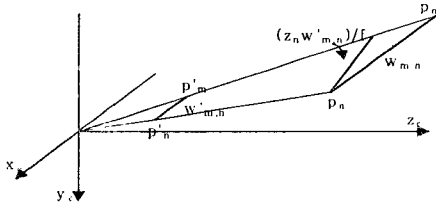


그림 3. 이동하였을때, 선폭의 투영

Fig. 3. Projection of line width when moved

선들이 평행하지 않을때, 회전에 의한 변화값을 갖게 된다. 그러나, 선폭은 두점 pm과 pn이 독립적이므로 투영 변화율은 다음과 같은 식(9)의 관계로서 표현된다.

$$\zeta_{mn} w_{mn} = \zeta_{nm} w_{nm} \quad (9)$$

여기에서, ζ 는 선폭이 zm과 zn에 대해 투영되었을때, 같은 값을 갖는다. 카메라 좌표계의 xy평면과 대상좌표계가 평행하면, 이 경우 ζ 값은 1이다.

식(9)는 다음과 같이 z에 대해 나타낼 수 있다.

$$\zeta_{mn} = \frac{z_n}{z_m} \zeta_{nm} \quad (10)$$

식(8)과 (10)을 이용하면, 실제 선폭과 투영된 선폭과의 비는 다음 식(11)과 같이 표현된다.

$$\frac{w_{mn}}{w'_{nm}} = \frac{1}{f} \frac{z_n}{\zeta_{mn}} = \frac{1}{f} \frac{z_m}{\zeta_{nm}} \quad (11)$$

만약, 우리가 한 선폭의 두점 n, m을 알면, 식(11)에 의

해 ζ 를 추정할 수 있다. 추정된 ζ 값을 이용하여 f를 변화시켜 $\zeta=1$ 을 만족하는 f값을 추정한다.

본 논문에서는 이러한 ζ 값의 변화를 이용하여 다수의 선폭들에 의한 반복수행으로 최적의 초점거리를 추정할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

4. 카메라 교정 알고리즘

다른 선폭들로 구성된 교정판을 이용하여 카메라로 투영된 영상을 정확히 분석하기 위한 알고리즘을 구현한다. 알고리즘의 흐름도는 그림 4와 같고 각 단계별로 설명하면 다음과 같다.

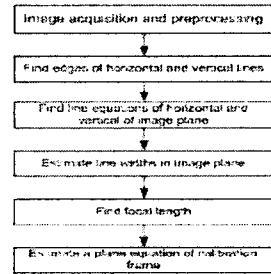


그림 4. 알고리즘 순서도

Fig. 4. Flow chart of algorithm

단계 1 : 영상의 양자화 오차를 보상하기 위한 평활화 처리

단계 2 : Exoskeleton 방법을 이용하여 경계점을 추정

단계 3 : 그림과 같은 부영역을 반복수행하여 영상면상에서 수평수직선을 추정

단계 4 : 추정된 직선의 방정식을 이용하여 수평, 수직의 교점을 추정하고, 이를 이용하여 선폭을 산출

단계 5 : 식(11)을 이용하여 $\zeta=1$ 을 만족하는 초점거리들을 추정한다. 추정된 초점거리들에서 최소이승법을 적용하여 최적의 초점거리를 산출

단계 6 : 초점거리를 이용하여 교정판위의 점들을 계산하고, 추정된 점들을 최소이승법에 적용하여 교정판의 평면의 방정식을 추정하여 카메라와 교정판과의 위치, 자세를 추정

5. 실험 및 결과

제안한 교정판과 알고리즘의 유용성을 입증하기 위하여 그림 5와 같이 카메라를 임의로 설치하고, 교정판을 로봇암에 설치하여 단계적으로 회전하며 각각에 대한 카메라 초점거리와 교정판의 위치, 자세 추정오차를 제시한다. 실험에 적용된 카메라는 6.4(H)×4.8(V)[mm]의 영역에 682(H)×492(V)[pixels]의 분해능을 가진다. 좌표계의 기본 단위를 [mm]로 설정하고, 교정판과 카메라 중심과의 거리를 1,200[mm]로 고정된 후 로테이터로 -60도에서 60도의 범위로 1[°]씩 회전이동시키면서 초점거리와 카메라 좌표계에서 교정판의 위치, 자세를 추정한다.

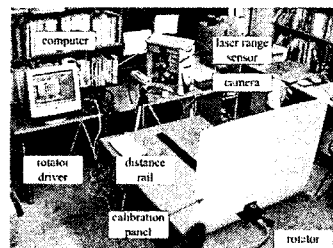


그림 5. 시스템 구성도

Fig. 5. System

5.1 스케일 팩터 인자 k

그림 6은 CCD 소자 배열로 인한 스케일 팩터의 비율을 추정된 결과이다. 카메라 제원과 비교하였을 때 약 1%의 오차를 포함함을 알 수 있다.

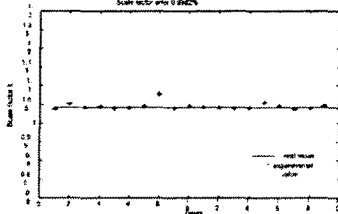


그림 6. 스케일 팩터 오차
Fig. 6. Scale factor errors

5.2 초점거리

그림 7은 교정판이 반시계방향으로 30도 회전하였을 때 추정된 초점거리가 표준분포로 추정되는 것을 나타낸 그림이다.

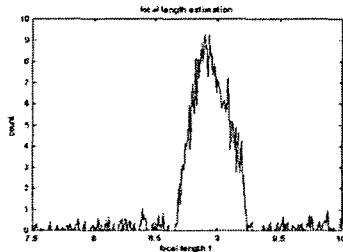


그림 7. 추정된 초점거리들의 분포
Fig. 7. Distribution of focal length

그림 8은 교정판이 반시계방향으로 0도에서 60도까지 회전하였을 때 추정된 초점거리의 오차를 나타낸 것이다. 추정된 초점거리의 정확성을 증명하기 위해서는 CCD와 렌즈사이의 거리를 측정하여야 하지만, 추정된 초점거리의 평균을 이용하여 오차를 추정하였다. 추정된 오차는 약 2%로 나타난다.

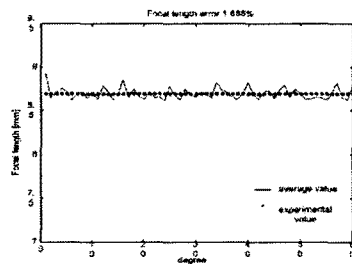


그림 8. $\phi=0$ 일때의 θ 변화
Fig. 8. When $\phi=0$, fluctuation of θ

5.3 위치 및 자세

그림 9는 카메라 좌표계에서 교정판의 θ 값의 변화를 보여준다. 약 ± 2 도의 범위를 갖는다.

5.4 거리

그림 10은 렌즈 중심과 광축과 교정판이 만나는 곳과의 거리를 추정된 결과이다. 이상적으로 교정판은 로테이터에서 회전하므로, 거리는 일정하여야 한다. 그러나, 실험결과는 거리가 변동함을 나타낸다. 이는 교정판이 회전하면서 흔들림과 또한, 로테이터의 중

심과 교정판의 중심, 광축이 불일치하여 거리를 변동시킨다.

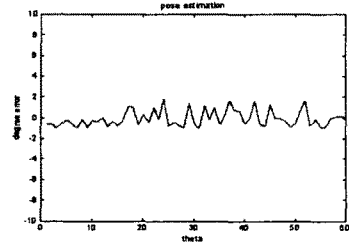


그림 9. 초점거리 추정 오차
Fig. 9. Estimation errors of focal length

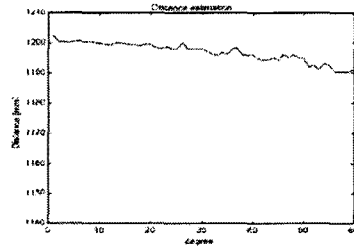


그림 10. 거리 추정 오차
Fig. 10. Estimation errors of distance

3. 결 론

본 논문에서는 다른 선택들로 구성된 교정판을 이용하여 각 선택들의 투명변화율을 이용한 카메라 교정 알고리즘에 대해 제시하였다. 만약, 교정판의 선택을 알고 있다면, 제안한 교정 알고리즘은 카메라 파라미터를 초점거리, 스케일 팩터, 위치, 자세, 거리를 각각 1%, 1.7%, 4%, +2도, 3%의 오차를 포함하며 추정한다.

제안한 알고리즘의 장점은 대상물체와의 거리를 쉽게 추정할 수 있는 장점이 있다. 또한, 자율주행 차량과 같은 유동적인 환경에서 선행차량의 선택을 이용하여 교정 파라미터를 추정할 수 있다.

본 연구의 후속 과제로는 교정 파라미터들의 추정오차를 감소시킬 수 있는 선택들의 설정 및 배치와 화상처리를 이용하여 정확한 경계를 추정할 수 있도록 보완하고, 또한, 자율 무인주행차량에 적용하여 선행차량의 거리를 추정할 수 있는 알고리즘으로 확대 개발하는데 있다 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.Echigo, "A camera calibration technique using three sets of parallel lines," *Machine Vision Appl.*, vol. 3, pp. 159-167, 1990.
- [2] M. Fisher and R. Ballas, "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Commun. Assoc. Comput. Mach.*, vol. 24, pp. 381-395, 1981.
- [3] J. Wen and G. Schweitzer, "Hybrid calibration of CCD cameras using artificial neural nets," *IEEE Int. Joint Conf. Neural Networks*, vol. 1, pp. 337-342, 1991.
- [4] R. L. Czaplewski, "Misclassification bias in areal estimates," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 58, no. 2, pp. 189-192, 1992.
- [5] B. Carprille and V. Torre, "Using vanishing points for camera calibration," *Int. J. Comput. Vision*, Vol. 4, pp.127-140, 1990.
- [6] K. Kanatani, "Statistical analysis of focal length calibration using vanishing points," *IEEE Trans. Robotics Automation* 8-6, 767/775, 1992.