다른 선폭들로 구성된 격자형 교정판을 이용한 간단한 카메라 교정 시스템의 개발

A Development of the Simple Camera Calibration System using the Grid Type Frame with Different Line Widths

°정준익*, 최성구*, 노도환*

*전북대학교 전기공학과(Tel:+82-0652-70-2398; Fax:+82-0652-70-2394;E-mail:rdh@moak.chonbuk.ac.kr)

Abstracts Recently, the development of computer achieves a system which is similar to the mechanics of human visual system. The 3-dimensional measurement using monocular vision system must be achieved a camera calibration. So far, the camera calibration technique required reference target in a scene.

But, these methods are inefficient because they have many calculation procedures and difficulties in analysis. Therefore, this paper proposes a native method that without reference target in a scene. We use the grid type frame with different line widths. This method uses vanishing point concept that possess a rotation parameter of the camera and perspective ration that perspect each line widths into a image.

We confirmed accuracy of calibration parameter estimation through experiment on the algorithm with a grid paper with different line widths.

Keywords camera calibration, grid paper, vanishing point, defferent line widths

1. 서론

일반적으로 시각시스템은 다른 종류의 계측 시스템보다 다양하고 많은 작업 정보를 얻는데 유리하다. 시각 시스템으로써 3차원 공간상의 물체에 대한 정보를 정확히 추정하기위해서는 카메라와 물체와의 관계(위치, 자세, 거리)를 산출할 수 있는 카메라 교정(Camera Calibration)이 행해져야 한다.

현재까지 발표된 카메라 교정법으로는 대부분이 무한원점의 성질[1,3,9,10]을 이용하고 있으며, 보편적으로 2가지로 분류할 수 있다. 공간상에 4개 혹은 6개의 기지점을 설치하고 무한원점의 원리를 이용하여 카메라의 내부 파라메터를 추정하는 것[11]과 그리드(grid) 교정판을 이용하여 기지점을 참조하지 않고 추정하는 방법[1,2,3,5,9,10,12]이 있다. 전자의 경우에는 공간상에 기지의 참조점 설치가 어려운 단점이 있고, 후자의 경우에는 격자 교정판을 이용하여 기지점이 필요하지 않아 편리하지만 2개의 카메라를 이용하여 추정하며, 이때에 발생하는 매칭문제의 어려움이 있다. 그외에도 높은 정확도를 위하여 공간상의 동일평면상에 60개 이상의 기지점을 설치하여 2-stage의 카메라 교정을 행하는 연구[7,8]도 발표되었다. 그러나, 이러한 연구는 실제 공간상에 적용하기 위한 제약조건이 많다.

본 연구에서는 이와 같은 교정법의 단점들을 극복하고, 무한원점의 성질과 1개의 모노 비전 시스템만을 이용하여 카메라의 내부 파라메타와 물체에 대한 상대적인 위치, 자세 및 거리를 정확하고 간편하게 추정할 수 있는 교정시스템을 제안한다. 또한, 카메라 교정시 편의성을 제공하기 위하여 화상처리 및 확률적 기법을 이용하여 정확한 추정을 위한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 교정판은 기존의 교정판 제작 기법인 동일한 두께의 그리드선을 이용하지 않고 각각의 그리드선마다 고유의 線幅을 부여하여 여러 가지 환경에서 간편하게 카메라 교정과 대상물체의 3차원 정보를 쉽게 추정할 수 있도록 제작한다.

2. Coordinate Systems

3차원 공간상의 물체에 대한 계측을 행하기 위해서는 공간 좌표계(world coordinate)를 카메라 좌표계로 변환하여야한다.

공간상에서 카메라 좌표계의 원점을 표현하는데에는 직교(cartesian), 원통형(spherical)과 구(cylindrical)좌표계가 있다. 여기에서는 구좌표계를 이용하여 공간 좌표계에서의 카메라의 위치, 자세를 표현한다.

본 논문에서는 공간 좌표계(Wx, Wy, Wz), 카메라 좌표계(Cx, Cy, Cz), 영상 좌표계(x_i, y_i)로 표기한다.

공간좌표계상에서 카메라 좌표계의 원점을 Wc(Wcx, Wcy, Wcz)라하면, 공간상에서 카메라의 위치 및 거리는 식(1)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{W_{cx}^2 + W_{cy}^2 + W_{cz}^2} \\ \theta &= \tan^{-1}\frac{W_{cy}}{W_{cx}} \\ \phi &= \tan^{-1}\frac{\sqrt{W_{cx}^2 + W_{cy}^2}}{z} \end{aligned} \tag{1}$$

식(2)와 같은 Euler angle과 식(3)의 Translation를 이용하여 식(4)를 통해 공간좌표계를 카메라좌표계로 변환한다.

$$\begin{aligned} R &= \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{bmatrix} \\ \lambda_{11} &= \cos\phi\cos\psi - \sin\phi\cos\theta\sin\psi \\ \lambda_{21} &= -\cos\phi\sin\psi - \sin\phi\cos\theta\cos\psi \\ \lambda_{31} &= \sin\phi\sin\theta \\ \lambda_{12} &= \sin\phi\cos\psi + \cos\phi\cos\theta\sin\psi \\ \lambda_{22} &= -\sin\phi\sin\psi + \cos\phi\cos\theta\cos\psi \\ \lambda_{32} &= -\cos\phi\sin\theta \\ \lambda_{13} &= \sin\theta\sin\psi \\ \lambda_{23} &= \sin\theta\cos\psi \\ \lambda_{33} &= \cos\theta \end{aligned} \tag{2}$$

φ : z축을 중심으로 반시계방향(오른손 좌표계)로 회전
θ : φ 회전후 x축을 중심으로 반시계방향으로 회전
ψ : θ 회전후 z축을 중심으로 반시계방향으로 회전

$$\mathbf{T}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & W_{cx}\\ 0 & 1 & 0 & W_{cy}\\ 0 & 0 & 1 & W_{cz}\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{3}$$

$$C = RW^T + TW_c^T \tag{4}$$

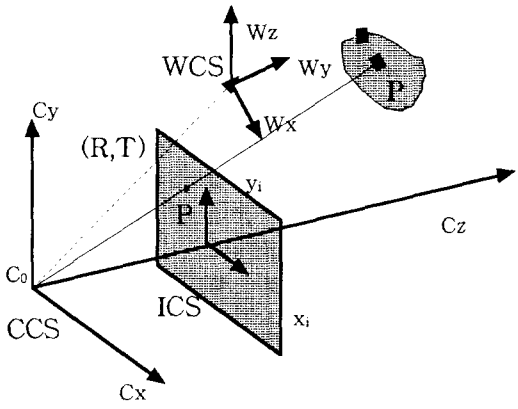

그림 1. 카메라 좌표계
Fig. 1. Camera coordinates system (CCS)

그림 1.은 공간상의 임의의 좌표에 대한 카메라 좌표계와 영상면 좌표와의 투영관계를 해석한 것이다. 즉, 공간상 임의의 좌표에 위치한 물체와 영상면과의 투영관계를 나타낸 그림이다.

공간상의 물체 P(x_c, y_c, z_c)가 영상면상에 투영되었을 때, P'(x_{ip}, y_{ip})의 좌표는 식(5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} x_{ip} &= fx_c/z_c \\ y_{ip} &= fy_c/z_c \\ z_{ip} &= f \end{aligned} \tag{5}$$

영상면의 크기가 m×n이라하면 영상면의 중심은 식(6)과 같이 x, y 각각 $\pm\Delta$의 offset을 포함한다.

$$C_{x0}=\frac{m-1}{2}\pm\Delta C_{x0}\ , \qquad C_{y0}=\frac{n-1}{2}\pm\Delta C_{y0} \tag{6}$$

영상면에서의 좌표가 (i, j)라 하고, 렬들(columns)사이의 scale을 S_x, 행들(rows)사이의 scale을 S_y라하면, 실제 카메라 좌표계에서의 좌표는 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} x_i &= (i-C_{x0})S_x \\ y_i &= (C_{y0}-j)S_y \end{aligned} \tag{7}$$

식(5)와 식(7)에서 공간상의 물체 P가 영상면상에 투영되었을 때의 실제 P'의 영상좌표는

$$\begin{aligned} x_{ip} &= (fx_c/z_c - C_{x0})S_x \\ y_{ip} &= (C_{y0}-fy_c/z_c)S_y \\ z_{ip} &= f \end{aligned} \tag{8}$$

와 같다.

카메라의 교정은 식(6)의 영상좌표계 원점의 offset과 식(7)의 scale factor S_x, S_y와 관계가 있다. 그외에도 렌즈 왜곡등이 있으나, Jim Z C Lai[2]는 원점의 offset은 좌표계의 위치 및 자세에 거의 영향을 미치지 않고, 렌즈 왜곡 또한, 극단적으로 변하지 않는다고 하였다. 또한, 좌표계의 위치와 자세를 결정하는데 원점의 offset이 렌즈 왜곡보다 더 민감하다고 하였다. 그러나, scale factor는 계측의 정확도와 좌표계의 위치 결정에 큰 영향이 있다는 연구결과를 발표하였다. 따라서, 본 논문에서는 단지 scale factor만을 고려한다.

3. 대상체(교정판) 모델링

본 논문에서는 그림 1.의 물체 P대신에 그림 2.와 같은 교정판을 이용하여 교정을 행한다. 정확한 카메라 교정을 행하기 위해서 교정판의 모델링이 필요하다.

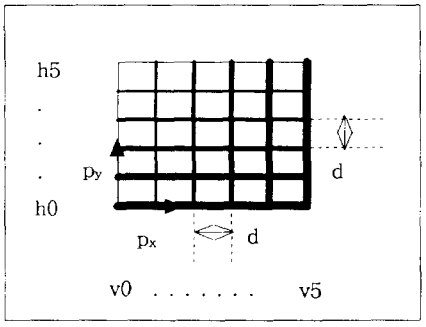

그림 2. 교정판의 구조
Fig. 2. Construction of calibration panel

그림 2.에서처럼 행, 열로 설정된 각각의 p_x, p_y축에 평행한 6개의 직선을 h_0, .., h_5, v_0, ...,v_5라하고, 각 직선의 두께의 좌표값을 hw_0, ..., hw_5, vw_0, ..., vw_5라 하자. 이때, 각 수평·수직직선의 중심간의 간격은 d이다.

p_x축과 평행한 h직선들의 일반식을 f(y)=y라하면, 이들 각각의 직선식은 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Gh_0(x,y) &= \sum_{y=\frac{-hw_0}{2}}^{\frac{hw_0}{2}} f(y) \\ Gh_1(x,y) &= d + \sum_{y=\frac{-hw_1}{2}}^{\frac{hw_1}{2}} f(y) \\ &\cdot \\ &\cdot \\ Gh_n(x,y) &= nd + \sum_{y=\frac{-hw_n}{2}}^{\frac{hw_n}{2}} f(y) \end{aligned} \tag{9}$$

$$\text{단, } \frac{-hw_0}{2} \le x \le 5d+\frac{hw_5}{2}\ , \quad n=0,1,2,3,4,5$$

또한, p_y축에 평행한 v직선들의 일반식을 g(x)=x라하면, 이들 각각의 직선식은 식(10)과 같이 표현할 수 있다.

$$Gv_n(x,y) = nd + \sum_{x=\frac{-hw_n}{2}}^{\frac{hw_n}{2}} g(x) \tag{10}$$

$$\text{단, } \frac{-hw_0}{2} \le y \le 5d+\frac{hw_5}{2}\ , \quad n=0,1,2,3,4,5$$

식(9)와 식(10)과 같이 모델링된 교정판 위의 점들은 식(8)을 통해 투영되어진다. 식(8)에서와 같이 영상면위의 점들이 추정되면 초점거리 f와 z_c값을 알면 실제 공간상의 x_c, y_c값을 추정할 수 있다. 본 논문에서는 무한원점의 성질을 이용하여 간단히 초

점거리 f를 추정한다.

4. 무한원점의 성질

본 절에서는 카메라의 교정 파라메타 추정시 이용되는 무한원점의 개념과 초점거리와 자세 추정[11]에 대해 기술한다.

4.1 무한원점의 개념

공간상에서 점 (a_x, a_y, a_z)를 통과하는 직선은 직선의 방향벡터가 $n = (n_x, n_y, n_z)$이고, 직선위의 각점 사이의 거리비가 t 일 경우,

$$\begin{aligned} x &= a_x + t\,n_x \\ y &= a_y + t\,n_y \\ z &= a_z + t\,n_z \end{aligned} \tag{11}$$

와 같은 직선식을 구할 수 있다.

위의 직선에 대한 화상면상의 무한원점은 식(5)의 원리를 이용하여 초점거리가 f일때,

$$\begin{aligned} x_\infty &= \lim_{t\to\infty} f\frac{a_x + tn_y}{a_z + tn_z} = f\frac{n_x}{n_z} \\ y_\infty &= \lim_{t\to\infty} f\frac{a_y + tn_y}{a_z + tn_z} = f\frac{n_y}{n_z} \\ z_\infty &= \lim_{t\to\infty} f\frac{a_z + tn_z}{a_z + tn_z} = f \end{aligned} \tag{12}$$

로서 구할 수 있다.

즉, 공간상에 있는 직선의 방향 벡터를 알면, 식(12)의 우변에 대입하여 화상면상에서 무한원점을 구할 수 있음을 나타낸다.

4.2. 초점거리 f의 추정

공간상에 직교하는 두 직선의 방향벡터를 $(n_{1x}, n_{1y}, n_{1z})^T$와 $(n_{2x}, n_{2y}, n_{2z})^T$라 하고, 이 두 직선의 무한원점을 각각$(v_x, v_y)^T$와 $(w_x, w_y)^T$라 하자. 이때, 초점거리는 식(13)과 같다.

$$f_c^2 = -(v_x w_x + v_y w_y) \tag{13}$$

4.3. 자세추정

영상면위의 무한원점과 식(13)의 초점거리가 구해지면, 공간상에서의 직선의 방향벡터는 식(14)로 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} (n_x, n_y, n_z)^T &= (kv_x, kv_y, -kf)^T \\ \text{단,}\quad k &= \frac{1}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + f^2}} \end{aligned} \tag{14}$$

5. 카메라 교정 파라메타 추정 알고리즘

다른 선폭들로 구성된 교정판을 이용하여 카메라로 투영된 영상을 정확히 분석하기 위한 알고리즘을 구현한다. 알고리즘의 흐름도는 그림 3.과 같고 각 단계별로 나타내면 다음과 같다.

단계 1 : 영상획득

-. 교정판의 영상을 획득한다.

단계 2 : 전처리

-. 이 단계에서는 영상면에 평균 intensity보다 너무 어둡거나 밝은 부분에 대해 보상하기 위한 평활화 처리를 한다.

평활화 처리된 영상에서 보편적으로 이용하는 [2×2]의 Roberts 필터를 이용하여 수평·수직 직선의 에지추출을 시행한다. Roberts 필터는 임의의 화소점 (i, j)에서 intensity가 I_{ij} 일때 (i, j)점에서 gradient의 크기와 방향을 계산함으로서 직선들의 에지를 추출한다.

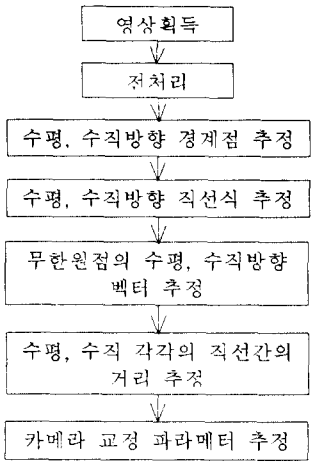

그림 3. 카메라 교정 파라메터 추정 알고리즘

Fig. 3. the calibration parameter estimation algorithm of camera

단계 3 : 수평, 수직방향 경계점 추정

-. Roberts 수평, 수직 필터를 이용하여 각각의 경우에 발생하는 경계점들을 추정한다.

단계 4 : 수평, 수직방향 직선식 추정

-. 단계 3에서 추정된 경계점들을 least median squres를 이용하여 직선식들을 구한다. 구해진 수평·수직 직선들을 이용하여 무한원점을 추정한다.

단계 5 : 무한원점의 수평, 수직방향벡터 추정

-. 단계 4에서 구해진 수평, 수직 직선식들을 이용하여 무한원점을 산출한다. 추정된 무한원점의 수평, 수직의 단위방향벡터를 구한다.

단계 6 : 수평, 수직 각각의 직선간의 거리추정

-. 수평방향의 경계점들은 y축방향으로 가장 가까운 거리에 있는 경계점과의 거리를 산출한다. 수직방향의 경계점들은 x축방향으로 가장 근접한 경계점과의 거리를 산출한다.

단계 7 : 카메라 교정 파라메터 추정

-. 단계 6에서 추정된 수평, 수직 각각의 거리들을 교정판의 선폭들과의 비율을 계산한다. 계산된 비율과 무한원점을 이용하여 카메라 교정 파라메터인 초점거리, 위치, 자세, 거리를 추정한다.

5. 실험 및 고찰

본 논문에서는 공간상에 서로 다른 선폭들로 구성된 교정판을 배치하고, 무한원점의 개념과 각각 다른 선폭들의 영상면에 대한 투영비율을 이용하여 카메라의 교정 파라메타를 추정하는 알고리즘을 제시하였다.

제안한 알고리즘과 서로 다른 선폭들로 구성된 그리드형 교정판으로 구성된 카메라 교정 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 카메라를 공간상에서 Auto Traverse를 이용하여 단계적으로 이동하며 각각에 대한 무한원점의 절대오차를 추정하고 카메라의 교정 파라메타의 추정오차를 제시한다.

그림 4.는 실험에 적용된 교정판으로 카메라와 사이각이 30° 일때를 나타낸 그림이다. 교정판의 수직·수평 선폭들은 3, 5, 7, 9, 11, 13[mm]이고, 이들 배치간격은 가로, 세로 50[mm]로 설정하였다. 실험에 적용되는 카메라는 6.4(H)×4.8(V)[mm]의 영역에 682(H)×492(V)[pixels]의 분해능을 가진다.

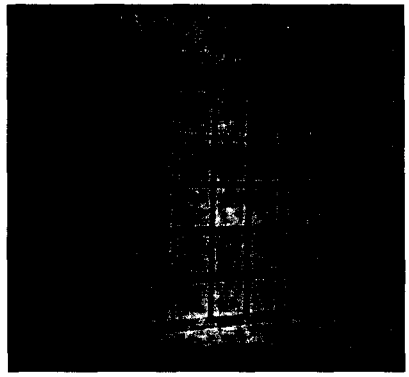

그림 4. 다른 선폭들로 구성된 교정판
Fig. 4. a calibration panel with different line widths

그림 5.는 교정판과 카메라 좌표계의 중심과의 거리가 830[mm]인 때, 교정판과 카메라 광축과의 사이각을 -50° ~50° 범위에서 시계와 반시계방향으로 10° 씩 변화시켰을 때의 무한원점의 절대오차를 나타낸 그림이다.

그림 5.에서와 같이 30 °부근에서 무한원점의 절대오차가 가장 적음을 알 수 있다.

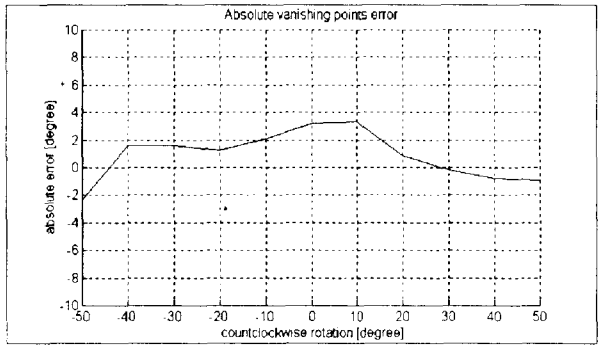

그림 5. 무한원점 절대오차추정
Fig. 5. absolute error estimation of vanishing points

논문[11]과 [12]의 결과에 비해 그림 5.에서와 같이 0° 를 중심으로 오차가 대칭이 되지 않는다. 이러한 이유는 서로 다른 선폭으로 구성된 교정판을 이용하기 때문이다. 따라서, 공간상의 임의의 위치에 교정판이 설정된다하더라도 동일한 두께의 직선 또는 점으로 구성된 교정판과 비교하여 정확한 카메라 교정 파라메타를 추정할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 서로 다른 선폭들로 구성된 그리드형 교정판과 정확한 교정 파라메타를 추정하기위한 알고리즘으로 구성된 카메라 교정 시스템을 제시하였다. 또한, 교정판상의 직선들을 실제 좌표계에서 이용하기 위하여 모델링하였다.

제안하는 교정법의 활용분야로는 카메라의 교정 파라메타 추정에 필요한 비젼 시스템 분야와 영상을 이용하여 대상물체와의 위치, 자세 및 거리 산출이 필요한 시스템의 한 부분으로도 이용할 수 있으리라 생각된다.

본 연구의 추후 과제로는 교정 파라메타들의 추정오차를 감소시킬수 있는 선폭들의 설정 및 배치와 화상처리를 이용하여 정확한 경계를 추정할 수 있는 알고리즘으로 확대 개발하는데 있다하겠다.

참고문헌

[1] B. Carprille and V. Torre, "Using vanishing points for carama calibration", Int. J. Comput. Vision, Vol. 4, pp.127-140. 1990.

[2] Jim Z C Lai, "On the sensitivity of camera calibration", Image and Vision Computing, Vol. 11, No. 10, Dec., 1993.

[3] William Chen and Bernard C. Jiang, "3-D Camera calibration using vanishing point concept", Pattern Recognition, Vol. 24, pp. 57-67, 1991.

[4] K. Kanatani and Y. Onodera, Anatomy of camera calibration using vanishing points", IEICE Trans., Vol. 74, No. 10, pp.3369-3378. 1991.

[5] M. J. Magee and J. K. Aggarwal, "Determining vanishing points form perspective images", Comput. Vision Graphics Image Process., Vol. 26, pp.256-267. 1984.

[6] R. Weiss, H. Nakatani and M. Riseman, "An error analysis for surface orientation from vanishing points", IEEE Trans. Pattern Alnal. Machine Intell., Vol. 12, No. 12, pp.1179-1185, 1991

[7] R. Y. Tsai, "An efficient and accurate camera calibration techinue for 3D machine", Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 22-26, June, Miami, FL, pp. 364-376, 1986.

[8] R. Y. Tsai and R. K. Lenz, "A new technique for fully autonomous and efficient 3D robotics hand/eye calibration", IEEE Trans. Robotics Automation 5, 345-358, June, 1989.

[9] T. Echigo, "A carama calibration technique using three sets of parallel lines, Machine Vision Appl., Vol. 3, pp.159-167. 1990.

[10] W. I. Grosky and L. A. Tamburino, "A unified approach to the linear camera calibration problem", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 12, pp.663-671. 1990.

[11] 최성구, "3차원 계측을 위한 입체시 관측계의 교정방식에 관한 연구", 전북대학교석사학위논문, 1994.

[12] 최성구, 노도환, "정방형 교정 frame을 이용한 카메라의 교정 파라메타 추정에 관한 연구", 대한전자공학회논문지, Vol. 33-B, No. 7, pp. 127-137, 1996.