

에피폴라기초행렬을 리용한 립체시각체계에서의 카메라교정의 한가지 방법

방금석, 최춘화

선행연구[1]에서는 위상정합을 리용하여 대응점들을 구하고 카메라교정을 진행하는 방법을 제안하였지만 계산비용이 많이 소비된다.

선행연구[2]에서는 카메라교정에 핀홀카메라모형을 리용하는 방법을 제안하였지만 그 정확성이 떨어진다.

본문에서는 립체시각체계에서 에피폴라기초행렬을 리용한 최량화방법으로 카메라교정을 진행하는 한가지 방법을 제안하였다.

1. 립체시각체계에서 카메라교정의 수학적모형

핀홀카메라모형[1]은 화상공간(화상점은 $m[x, y]^T$)과 대상공간(대상점은 $P[p_x, p_y, p_z]^T$) 사이의 관계에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$s \begin{pmatrix} m \\ 1 \end{pmatrix} = A [R_w T_w] \begin{pmatrix} P \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_x & \mu & x_0 \\ 0 & \alpha_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이고 s 는 미정의 무계결수이다. $P[p_x, p_y, p_z]^T$ 와 $m[x, y]^T$ 는 공간과 그것에 대응하는 화상평면의 점이다. 그리고 $[R_w T_w]$ 는 카메라자세로서 회전행렬과 평행이동벡토르이다. 또한 A 는 카메라내부교정행렬로서 5개의 파라미터(x, y 방향 α_x 와 α_y 에 따르는 카메라유효초점거리, 비례결수 μ 는 보통 0으로 설정)를 포함한다.

오른쪽 카메라와 왼쪽 카메라(화상점: $m_L[x_L, y_L]^T$ 와 $m_R[x_R, y_R]^T$)의 대상공간(대상점 $P[p_x, p_y, p_z]^T$)과 화상공간사이의 관계[3]는 각각 다음과 같다.

$$s_L \begin{pmatrix} m_L \\ 1 \end{pmatrix} = A_L [R_L T_L] \begin{pmatrix} P \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$s_R \begin{pmatrix} m_R \\ 1 \end{pmatrix} = A_R [R_R T_R] \begin{pmatrix} P \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (3)에서 왼쪽 카메라자리표계는 보통 3차원자리표계로 정의된다.

왼쪽 카메라자리표계 ($O_L : p_{XL} p_{YL} p_{ZL}$)와 오른쪽 카메라자리표계 ($O_R : p_{XR} p_{YR} p_{ZR}$)사이의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} p_{XL} \\ p_{YL} \\ p_{ZL} \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} p_{XR} \\ p_{YR} \\ p_{ZR} \end{pmatrix} + T \quad (5)$$

식 (3)과 (4)로부터 R 와 T 는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{cases} R = R_R R_L^{-1} \\ T = T_R - R_R R_L^{-1} T_L \end{cases} \quad (6)$$

이로부터 립체시각체계의 카메라교정에서는 식 (6)으로 표시되는 카메라자세인 회전 행렬 R 와 평행이동행렬 T 를 결정하여야 한다.

2. 에피플라기초행렬을 리용한 카메라교정

에피플라기초행렬(F)과 카메라내부파라미터(A) 및 외부파라미터 ($[T]_x, R$) 사이에는 다음과 같은 관계[1]가 있다.

$$A^T \text{FAR}^T = [T]_x \quad (7)$$

식 (7)에서 기초행렬 F 는 2개의 화상에서 대응하는 특징점들로부터 결정한다. 행렬 $A^T \text{FAR}^T$ 는 경사대칭행렬이므로 이로부터 카메라의 미지파라미터들을 포함한 6개의 제한식을 얻는다.

식 (7)의 오른쪽에 있는 평행이동행렬의 매 성분을 $t_{ij}, i, j = \overline{1, 3}$ 라고 하면 다음의 식이 성립한다.

$$t_{11} = t_{22} = t_{33} = t_{12} + t_{21} = t_{13} + t_{31} = t_{23} + t_{32} = 0 \quad (8)$$

기초행렬 F 의 성분들을 f_{ij} , 회전행렬 R 의 성분들을 r_{ij} 로 표시하면 다음과 같다.

$$f_{11}r_{11}\alpha_u^2 + (f_{12}r_{12}\alpha_v + (f_{11}u_0 + f_{12}v_0 + f_{13})r_{13})\alpha_u = 0 \quad (9)$$

$$f_{22}r_{22}\alpha_v^2 + (f_{21}r_{21}\alpha_u + (f_{21}u_0 + f_{22}v_0 + f_{23})r_{23})\alpha_v = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & (f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})\alpha_u r_{31} + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})\alpha_v r_{32} + \\ & + ((f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})u_0 + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})v_0 + \\ & + f_{13}u_0 + f_{23}v_0 + f_{33})r_{33} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & f_{11}\alpha_u^2 r_{21} + f_{12}\alpha_u \alpha_v r_{22} + (f_{11}\alpha_u u_0 + f_{12}\alpha_u v_0 + f_{13}\alpha_u)r_{23} + \\ & + f_{21}\alpha_u \alpha_v r_{11} + f_{22}\alpha_v^2 r_{12} + (f_{21}\alpha_v u_0 + f_{22}\alpha_v v_0 + f_{23}\alpha_v)r_{13} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & f_{11}\alpha_u^2 r_{31} + f_{12}\alpha_u \alpha_v r_{32} + (f_{11}\alpha_u u_0 + f_{12}\alpha_u v_0 + f_{13}\alpha_u)r_{33} + \\ & + (f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})\alpha_u r_{11} + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})\alpha_v r_{12} + \\ & + ((f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})u_0 + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})v_0 + \\ & + f_{13}u_0 + f_{23}v_0 + f_{33})r_{13} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & f_{21}\alpha_u \alpha_v r_{31} + f_{22}\alpha_v^2 r_{32} + (f_{21}\alpha_v u_0 + f_{22}\alpha_v v_0 + f_{23}\alpha_v)r_{33} + \\ & + (f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})\alpha_u r_{21} + \\ & + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})\alpha_v r_{22} + \\ & + ((f_{11}u_0 + f_{21}v_0 + f_{31})u_0 + (f_{12}u_0 + f_{22}v_0 + f_{32})v_0 + \\ & + f_{13}u_0 + f_{23}v_0 + f_{33})r_{23} = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

이제 다음과 같은 벡토르

$$V = (t_{11}, t_{22}, t_{33}, t_{12} + t_{21}, t_{13} + t_{31}, t_{23} + t_{32})$$

를 리용하면 식 (9)–(14)는

$$V = 0 \quad (15)$$

으로 된다. 따라서 카메라의 교정을 위한 파라미터들은 식 (15)의 제한밑에서 식 (16)을 만족시키는 최량풀이로 된다는것을 알수 있다.

식 (15)의 제한밑에서 식 (17)을 최소로 하는 최량풀이에 의해 카메라의 내부파라미터 A 와 회전행렬 R 가 결정되며 평행이동벡토르는 식 (7)로부터 계산된다. 즉 $[T]_x$ 로부터 평행이동벡토르 $t = (t_x, t_y, t_z)^T$ 는

$$(t_x, t_y, t_z)^T \cong (t_{32}, t_{31}, t_{21})^T$$

로 결정된다.

실지 촬영된 화상 즉 잡음이 존재하는 화상들에서는 행렬 $A^T F A R^T$ 가 정확한 경사대칭행렬이 아닐수 있으므로 평행이동벡토르는

$$(t_x, t_y, t_z)^T \cong \frac{1}{2}(t_{32} - t_{23}, t_{13} - t_{31}, t_{21} - t_{12})^T \quad (16)$$

와 같이 결정된다.

결국 에피폴라기초행렬을 리용한 카메라파라미터들은 식 (15)의 제한밑에서 목적함수

$$f(\alpha_u, \alpha_v, u_0, v_0, r_{11}, \dots, r_{33}) = \sum_{i=1}^n \|v_i\|^2 \quad (17)$$

를 최소로 하는 최량인 파라미터들로 결정된다.

식 (17)의 비선형최량화문제는 파라미터들의 초기풀이에 중요하게 관계된다. 카메라 내부파라미터 A 의 초기풀이는 리용되는 카메라의 특성에 따라 주어진다. 카메라외부파라미터 T, R 는 화상들로부터 결정된 기초행렬에 의하여 $E \cong A^T F A$ 를 구한 다음 인자분해

$$E \cong T(t) \cdot R \quad (18)$$

를 리용하여 결정한다.

3. 실험결과 및 분석

실험에서 리용한 립체시각체계의 장치는 카메라 2대와 1대의 투영기로 구성되었다. 이 립체시각체계에서는 컴퓨터에 있는 격자무늬가 그려진 교정판을 투영기를 통하여 투영한다. 그리고 투영면에 투영된 화상을 각각 왼쪽 카메라와 오른쪽 카메라로 입력한다. 입력된 2개의 화상평면들사이의 에피폴라기초행렬을 리용하여 식 (15)의 제한밑에서 식 (17)의 목적함수를 최소로 하는 파라미터들을 구한 다음 립체시각체계의 카메라교정을 위한 회전행렬을 결정한다.

립체시각체계를 다음의 그림에 보여주었다. 그림에서 보여준것처럼 격자무늬교정판을 투영하여 얻어진 화상을 2개의 카메라로 입력한다.

입력된 화상들에 대하여 왼쪽 카메라화상을 기준으로 오른쪽 카메라화상의 회전행렬 R 를 구하면 다음과 같이 표시된다.

$$R = \begin{pmatrix} 0.9978 & -0.0665 & -0.0000 \\ 0.0665 & 0.9978 & 0.0000 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



그림. 립체시각체계

론문에서 제안한 방법과 선행방법[2]을 리용하여 두 카메라화상사이의 대응점들의 정합을 진행하였다. 계산결과 자리표편차들의 합평균은 각각 $E_1 = 0.56172$ 와 $E_2 = 0.6113$ 이다. 이로부터 제안한 방법이 선행방법보다 카메라자세교정이 개선되었다는것을 알수 있다.

맺는말

에피폴라기초행렬을 리용한 립체시각체계에서의 카메라교정방법을 제안하고 최량화 방법으로 카메라교정성능을 개선하였다.

참고문헌

- [1] R. Hartley; Multiple View Geometry in Computer Vision, CAMBRIDGE University Press, 97~104, 2006.
- [2] H. Zhao et al.; Optics and Lasers in Engineering, 68, 1, 213, 2015.
- [3] J. Brito; Computer Vision and Image Processing, 157, 1, 254, 2017.

주체108(2019)년 2월 5일 원고접수

A Camera Calibration Method of a Stereo Vision System Using the Epipolar Fundamental Matrix

Pang Kum Sok, Choe Chun Hwa

In this paper, we have proposed a camera calibration method using the epipolar fundamental matrix between the images captured by two cameras in a stereo vision system.

Key words: camera calibration, fundamental matrix, stereo vision system