

무한원점의 성질을 이용한 포장 및 비포장 도로에서의 카메라 교정 파라미터 추정

The estimation of camera calibration parameters using the properties of vanishing point at the paved and unpaved road

정준익*, 정명희**, 노도환***

(Jeong Jun-ik, Jeong Myeong-Hee, Rho Do-Whan)

Abstract - In general, camera calibration has to be gone ahead necessarily to estimate a position and an orientation of the object exactly using a camera. Autonomous land system in order to run a vehicle autonomously needs a camera calibration method applying a camera and various road environment. Camera calibration is to prescribe the confrontation relation between third dimension space and the image plane. It means to find camera calibration parameters.

Camera calibration parameters using the paved road and the unpaved road are estimated. The proposed algorithm has been detected through the image processing after obtaining the paved road and the unpaved road. There is able to detect easily edges because the road lanes exist in the paved road. Image processing method is two. One is a method on the paved road. Image is segmentalized using open, dilation, and erosion. The other is a method on the unpaved road. Edges are detected using blur and sharpening. So it has been made use of Hough transformation in order to detect the correct straight line because it has less error than least-square method. In addition to, this thesis has been used vanishing point' principle. an algorithm suggests camera calibration method using Hough transformation and vanishing point.

When the algorithm was applied, the result of focal length was about 10.7[mm] and RMS errors of rotation were 0.10913 and 0.11476 ranges. these have the stabilized ranges comparatively. This shows that this algorithm can be applied to camera calibration on the paved and unpaved road.

Key Words : camera calibration, vanishing point, paved, unpaved road

1. 서론

인간의 시각시스템에 유사한 형태를 가진 카메라는 탐지영역이 넓고 비접촉상태에서 다양한 정보획득이 가능하기 때문에 다양한 분야에서 사용되고 있다. 카메라를 이용하여 물체의 위치나 크기를 정확하게 계측하기 위해서는 반드시 카메라 교정^[1]이 선행되어져야 한다. 또한 자율주행 시스템에서 정확한 파라미터 추정을 위해 카메라와 도로와의 관계가 규정되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 카메라 교정파라미터의 추정방법은 도로환경에서 존재하는 나무나 전신주, 건물과 같은 지지물이 노면에 대해 수직으로 존재한다는 가정하에 자동차가 차를 주행을 하기 위하여 실제 도로에서 차선이 존재하는 포장도로와 차선이 없는 비포장도로 영상에서 전처리과정을 통하여 도로경계의 예지를 추출한 다음 정확한 직선을 찾아주는 Hough 변환^[2]을 적용하여 도로경계에 대한 직선의 방정식을

추정한다. 이를 추정된 직선 방정식으로 무한원점의 성질^[3]을 이용하여 카메라 교정파라미터인 내부파라미터(화면거리)와 외부파라미터(회전성분)를 추정하는 방법을 제안한다.

제 2 장 도로에서 시스템 좌표계와 교정 파라미터 추정

2.1 시스템 좌표계 구성

도로환경에서 카메라 교정을 하기 위해서는 도로면과 카메라와의 수리적인 관계가 해석되어야 한다. 그림 1은 카메라와 도로면과의 좌표관계를 나타낸 그림이다.

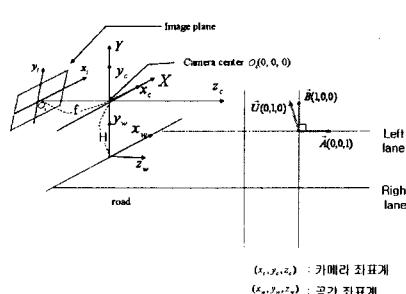


그림 1 시스템좌표계
Fig. 1 system coordinates

저자 소개

* 정준익 : 全北大學 電氣工學科 博士課程

** 정명희 : 全北大學 電氣工學科 碩士課程

*** 노도환 : 全北大學 電子情報工學部 教授

그림 1에서 카메라 좌표계 (x_c, y_c, z_c) 의 x_c 축을 도로면의 공간좌표계의 x_w 과 서로 평행하게 설정을 한다. 그리고 카메라 좌표계의 z_c 축을 도로폭의 중앙에 선이 있다고 가정을 하고 이 선과 서로 평행하게 카메라 좌표계의 z_c 를 설정한다. 이선은 도로의 차선들과 서로 평행하다. 즉, 도로의 차선은 카메라 좌표계의 z_c 과 서로 평행하다는 것을 의미한다. 다시 바꾸어 말하면 카메라 좌표계의 원점은 공간 좌표계 (x_w, y_w, z_w) 에서 y 축으로 H의 거리에 설정하였다.

이때의 영상좌표계는 카메라 좌표계의 xy평면과 평행한 평면이 있고 광축인 Z축에서 영상평면의 중심은 원점이고, 렌즈 중심은 좌표 $(0, 0, f)$ 이다. 이때의 공간좌표계와 영상좌표계와의 관계는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_i &= PP_c \\ &= P \begin{bmatrix} x_w \\ y_w - H \\ z_w \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

이는 카메라가 회전을 하지 않고 모든 좌표계가 광축을 중심으로 일치한다고 가정을 하고 좌표변환 관계를 나타낸 것이다. 여기에서 P는 투영행렬을 나타낸다.

본 논문에서는 카메라 좌표계와 영상 좌표계 사이의 화면거리 f 를 추정하고 공간 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계에서의 x_c 좌표축에 대해 각 α 만큼의 회전각과 y_c 좌표축에 대해 각 β 만큼의 회전각들과 병진성분 (T_x, T_y, T_z) 을 추정한다. 여기서 병진성분은 카메라 좌표계와 공간 좌표계 사이의 이동거리 즉, 카메라와 도로면과의 높이다. 그러므로 y 축방향의 병진성분 $T_y = H$ 이고 $T_x, T_z = 0$ 이다. 그리므로 추정하고자 하는 병진성분의 좌표는 $(0, T_y, 0)$ 이다. 본 논문에서 추정하고자 하는 카메라 교정 파라미터는 내부파라미터인 화면거리 f 와 외부파라미터인 회전성분 (α, β) 과 병진성분 $(T_y = H)$ 만을 추정한다.

2.2 지지물 방향벡터를 통한 회전성분 추정

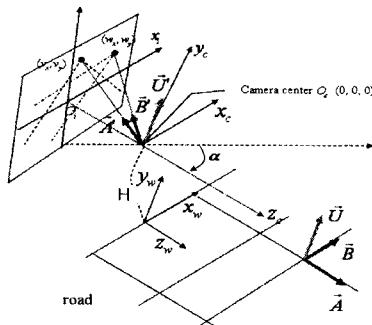


그림 2 회전에 의한 시스템좌표계

Fig. 2 system coordinates by rotation

공간상에 평행한 두 차선은 영상면에서 무한원점 (v_x, v_y) 에서 만나게 된다. 그림 2에서와 같이 두 차선에 수직으로 직교하는 또 다른 평행선이 있다고 가정한다면 이 평행선이 영상면상에 투영이 되면 영상평면에 또 하나의 무한원점으로

투영되고 이때의 좌표를 (w_x, w_y) 라 한다. 이때, $\alpha, \beta = 0$ 일 때의 $\vec{A}, \vec{B}, \vec{U}$ 는 단위 방향벡터이다. 그럼 2-2와 같이 차선의 단위방향벡터를 \vec{A} 라하고 도로평면에서 차선과 수직인 단위방향벡터를 \vec{B} 라 하면 \vec{A} 와 \vec{B} 를 내적하면 $\vec{A} \cdot \vec{B} = 0$ 이 된다. 이때 \vec{B} 는 차선과 직교하는 수평방향 평행선이라고 간주할 수 있다. 그러나 실제 공간상에서 차선과 직교하는 평행선상이 없으므로 본 논문에서는 도로면의 단위법선벡터를 $U(0, 1, 0)$ 으로 생성하고 나무와 건물 등에 의해 발생하는 방향벡터를 법선벡터로 간주하여 이를 이용하여 역으로 공간상의 수평방향 무한원점 (w_x, w_y) 를 이용하여 직선의 단위방향벡터를 추정한다. \vec{A} 단위방향벡터는 공간에서 차선의 단위 방향벡터이고 곧 이는 카메라 좌표계와 영상 좌표계사이의 단위방향벡터 \vec{A}' 와 동일하다. \vec{B} 는 공간상에서 차선과 서로 수직인 또 하나의 평행선의 단위방향벡터이고 카메라 좌표계에서 단위방향벡터 \vec{B}' 와 같다. 똑같은 해석으로 \vec{U} 는 공간상에서 \vec{A} 와 \vec{B} 를 외적한 단위법선벡터(단위방향벡터)이다. 이 단위법선벡터 또한 카메라 좌표계와 영상 좌표계 사이의 단위방향벡터 \vec{U}' 와 같다. 만약에 카메라 좌표계를 x_c 축을 중심으로 α 만큼 회전시키고 y_c 를 중심으로 β 만큼 회전시켰을 때 식(3)과 같이 나타낸다. 여기서 λ 는 공간상의 차선의 벡터 크기이고, R은 회전행렬이다.

$$R_a^{-1} R_b^{-1} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ f \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(3)에서 무한원점 $(v_x, v_y, -f)$ 을 알고 있기 때문에 회전성분 α 와 β 를 추정할 수 있다

2.3 지지물 방향벡터를 통한 화면거리 추정

공간상에 차선과 수직인 평행선이 영상평면에 투영이 되면 무한원점 (w_x, w_y) 이 생성된다. 식(4)는 카메라 좌표계에서 x_c 축과 y_c 축을 반시계 방향으로 회전시켜 무한원점 (w_x, w_y) 을 영상면 중심으로 일치시킨 것은 공간상에서 수평방향벡터 \vec{B} 와 같음을 나타낸다. λ 는 상수로서 벡터의 크기를 나타낸다.

$$R_a^{-1} R_b^{-1} \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \\ f \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

또한 카메라좌표계와 영상면좌표계상의 벡터들은 식(5)와 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} \vec{A}' &= R_a R_b \vec{A} \\ \vec{U}' &= R_a R_b \vec{U} \end{aligned} \quad (5)$$

카메라좌표계와 영상면좌표계상의 벡터들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{B}' &= \vec{A}' \times \vec{U}' \\ \vec{U}' &= \vec{A}' \times \vec{B}' \end{aligned} \quad (6)$$

식(5)와 (6)에서 벡터 \vec{B}' 는 다음과 같다.

$$\vec{B} = [kw_x \ kw_y \ k] ^T \quad (7)$$

$$\text{단, } k = \frac{1}{\sqrt{w_x^2 + w_y^2 + f^2}}$$

자세추정에서 이미 a , β 를 추정하였으므로 식(4)와 식(5), 6)에 의하여 수평방향 무한원점(w_x , w_y)을 추정할 수 있다. 무한원점(w_x , w_y)의 좌표를 알 수 있으므로 화면거리 추정 알고리즘 $f = \sqrt{|v_x w_x + v_y w_y|}$ 에 두 쌍의 무한원점을 대입하면 화면거리를 추정할 수 있다.

제 3 장 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 실제 포장이나 비포장도로에서 카메라를 설치하기 위해 도로면 중앙에 카메라 삼각대를 도로면의 평평한 곳에 설치를 하였고 카메라를 회전시키지 않은 초기의 상태 회전 0° 일 때에 정확한 수평을 맞추기 위해서 수평자를 이용하여 수평을 맞추었다. 카메라 위치는 도로면에서 카메라 짐벌까지의 약 1.3m와 짐벌에서 카메라 중앙까지의 높이 약 85cm인 지점 즉, 약 1.385m 인지점에 카메라를 설치하였다. 카메라 좌표계의 z_c 축을 도로차선과 평행하게 설정을 하였다. 영상의 크기는 $640 \times 480[\text{pixel}]$, 도로폭은 포장도로에서는 약 3.2[m]이고 비포장도로에서는 약 4.1[m]인 도로에서 Matlab을 사용하였다. 실험 방법으로는 카메라 짐벌에서 tilt의 각도를 1° 씩 변화시켜 $0^\circ < a < 90^\circ$ 범위에서 조절하였다.

영상에서 가우시안 에지필터를 사용하여 경계점을 추정하고 hough 변환^[17,18]을 이용하여 수평수직방향 직선의 방정식을 추정하였다.

그림 5-1은 실험영상의 일예를 나타낸 것이다.



(a) 포장도로(paved) (b) 비포장 도로(unpaved)

그림 3 원시 영상

Fig. 3 Original image

3.1 포장도로의 교정파라미터 추정 결과

그림 4는 추정된 직선의 방정식을 적용하고 무한원점의 성질을 이용하여 포장도로에서 $\beta = 0$, $0^\circ < a < 20^\circ$ 의 변화에 대한 화면거리와 추정된 a 의 오차를 나타낸 것이다.

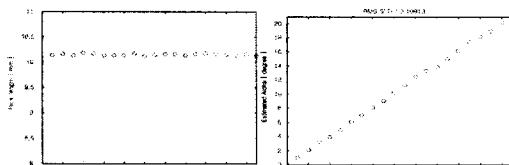


그림 4 포장도로에서 화면거리와 a 추정오차 결과

Fig. 4 Result of focal length and a estimation errors

on the paved road

그림에서와 같이 화면거리는 평균 10.74[mm], a 의 RMS 오차는 0.109로 추정되었다.

3.2 비포장도로의 교정파라미터 추정 결과

그림 5는 포장도로에서와 동일하게 비포장도로에서 $\beta = 0$, $0^\circ < a < 20^\circ$ 의 변화에 대한 화면거리와 추정된 a 의 오차를 나타낸 것이다.

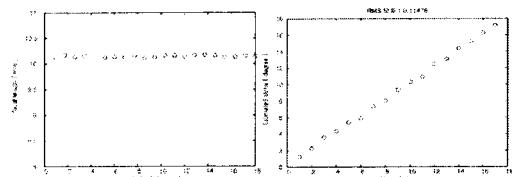


그림 5 비포장도로에서 화면거리와 a 추정 결과

Fig. 5 Result of focal length and a estimation errors on the unpaved road

그림 5에서와 같이 화면거리는 평균 10.8[mm], a 의 RMS 오차는 0.114로 추정되었다.

제 4 장 결 론

본 논문에서는 일반적 주행환경에서 카메라 외부 및 화면거리를 추정하는 방법에 대해 제안하였고, 포장도로와 비포장도로를 대상으로 그 결과를 제시하였다.

제안한 교정법은 포장도로에서나 비포장도로에서 a 의 변화에 대한 화면거리 추정이 거의 일치하여 정확함을 보였다. 자세 추정에 있어서도 포장도로와 비포장 도로와의 비교를 하였을 때 tilt의 조절에 따른 a 와 추정된 a 의 오차의 차이가 비교적 적음을 실험결과로 제시하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 제안한 교정방법으로 3차원 공간상의 대상물체에 대한 자세 및 위치계측이 가능함을 실험 결과로 알 수가 있다. 그러나 Hough 변환으로 보다 정확한 직선식을 검출하기 위해서는 영상처리과정을 더욱 향상 시켜야 한다. 또한 Hough 변환을 이용함으로써 처리시간을 줄이기 위해서 최적의 영상처리과정과 알고리즘을 확장해 나가야 한다.

참고문헌

- [1] Zhengyou Zhang, Senior Member, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 22, no. 11, Nov. 2000.
- [2] A. L. Kesidis, and N. Papamerkos, "On the gray-scale inverse Hough transform," Democritus University of Thrace, Image and Vision Computer, pp. 607-618, 2000.
- [3] Shih-Ping Liou and Ramesh C. Jain, "Road Following Using Vanishing Points," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 39, no. 10, pp. 116-130, 1987.