

카메라 교정에 의한 전동휠체어의 ^{위치}주행지도 구성에 관한 연구

신대섭, 문철홍*, 홍승홍
인하대학교 전자공학과, 광주대학교 전자공학과*

A Study on the Construction of Locomotion Map of Motorized Wheelchair using a Camera Calibration

D. S. Shin, C. H. Moon*, S. H. Hong
Dept. of Electronics Inha Univ., Dept. of Electronics, Gwangju Univ.*

Abstract

In this paper, The vehicle's path construction method for motorized wheelchair's autonomous navigation in a building through analysis of a corridor image using vision system has been proposed and We detected lines of vertical axis through camera distortion parameter, which was measured by camera calibration in a corridor image. Then we got the feature points in the lines. We analyzed the distance of feature points and what is feature points, we reconstructed corridor image to vehicle's path

1. 서 론

이동로봇이 자율 주행을 할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 자율 주행을 하기 위해서는 주어진 환경에서 자신의 위치와 이동할 목표점을 추정할 수 있어야 한다. 현재 이동 로봇의 주행 방법으로는 단일 카메라에서 가이드 라인 (guide line)을 인식하는 방법과 지표(land mark)를 인식하는 방법이 고안되어 있다.

전자는 로봇이 주행하여야 할 경로에 연속되는 가이드 라인을 미리 설치하고 이동로봇은 단순히 이 라인을 추종하기만 하면 된다. 이러한 방법의 장점은 입력되는 가이드 라인(guide line) 화상에서 가이드라인의 중심만을 검출하면 되기 때문에 실시간 처리가 가능하다. 그러나 가이드 라인의 손상이 있을 경우나 가이드 라인이 설치되지 않은 환경에서는 주행이 불가능하다. 후자는 각 경로마다 독특한 지표를 부착하여서, 입력되는 화상에서 지표의 형태에 따라 자신의

를 파악하는 것이다. 이 방법은 이동로봇 자신의 좌표를 알 수 있다는 장점이 있으나, 실제 주행을 위해서는 여러 가지 모양의 지표가 필요하며, 화상 내에서 지표를 추적하지 못하는 경우에 주행이 어려워진다.

본 논문에서는 카메라에서 입력되는 화상정보를 필터링을 통하여 화상의 잡음을 제거하고, 잡음이 제거된 화상에서 그라디언트(gradient) 방법을 통하여 화상에서의 에지를 검색하였다. 복도 화상에서 추출된 윤곽선들은 주로 직선으로 구성되며, 세가지의 방향성분을 포함하고 있다. 화상으로부터 직선을 추출하는 방법에서는 휴(hough) 변환 방법이 가장 유용하게 사용되는데 이 방법은 잡음에 강하고, 투영 직선의 요소(element)를 손상시키지 않는다는 장점이 있으나 직선 선분의 양 끝점을 검색할 수 없다는 단점이 있다. 그러므로, 직선을 정확하게 표현하기 위해서는 직선의 끝점을 검출하는 다른 처리를 수행해야 한다. 그리고 휴변환 방법의 단점을 보완하고 직선의 양 끝점을 검출하는 다른 방법으로는 회전변환 방법이 있는데, 이 방법은 화상 평면의 중심에 대하여 일정한 각도마다 에지 화상을 회전시키며 회전된 화상에서 수평 직선 선분을 검색하여, 직선 추출 알고리즘을 수행시킨 후 검색된 직선을 원래의 화상을 얻기 위하여 역회전시킨다. 이 방법은 직선의 양끝점을 검색할 수 있다는 장점이 있으나 하나의 직선을 중복해서 검색하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 동일한 버킷 내부에서 중복되는 직선의 제거를 위한 알고리즘을 적용하였으며, 복도 영상에서 대부분의 에지는 수평, 수직 및 광축의 세 가지 성분으로 구성되기 때문에 회전 각도 영역을 제한하여 불필요한 직선 선분의 검출을 최소화하였다. 회전 각도 영역을 제한한 회전 변환 방법에서 검출되는 직선들은 복도의 형상에 대한

특징 성분을 포함하고 있으며, 이러한 특성 성분은 여러 직선이 교차하는 코너(corner)로 나타난다.

2. 본 론

경계선 추출 방법은 영상의 그래디언트를 이용하였으며, 영상 $f(x, y)$ 에서 그래디언트는 밝기값의 변화량을 뜻한다. 영상 $f(x, y)$ 에서 그래디언트 크기 $s(x, y)$ 와 방향 $\theta(x, y)$ 은

$$s(x, y) = (d1^2 + d2^2)^{1/2}$$

$$\theta(x, y) = \text{atan}(d2 / d1)$$

$$d1 = f(x+1, y) - f(x, y)$$

$$d2 = f(x, y+1) - f(x, y)$$

와 같이 정의되고 경계선으로 부터 직선 선분을 검색하는 순서는 다음과 같이 요약된다.

화상 평면의 중심에 대하여 고정된 각도씩 에지 화상을 회전시킨다(회전의 범위는 복도의 특성에 알맞게 세 방향으로 제한함). 각 회전된 화상에서 수평 직선 선분을 검색하기 위하여 화상을 검색하고 직선 검색 알고리즘을 수행시킨후, 중복 검출된 직선을 제거하기 위하여 직선 추출 알고리즘을 수행시킨다. 검색된 끝점을 원래의 에지 화상을 얻기 위하여 역회전 시킨다.

2.1 회전 변환 방법

직선 선분은 회전된 화상에서 수평방향으로 조사하여 검색할 수 있고, 원래의 직선 선분은 검색된 선분을 역회전하여 얻을 수 있다. 원래의 에지 화상에서 에지 엘레먼트는 식 (1)를 이용하여 회전변환한다.

$$x' = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta$$

$$y' = -x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta$$

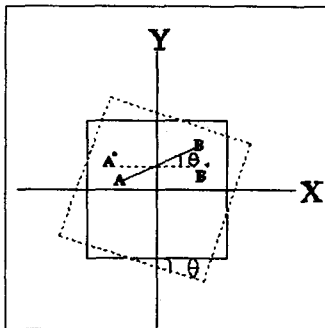


그림1. 영상평면의 회전
Fig.1. Rotation of an image plane.

역 변환은 식 (2)에 나타냈다.

$$x = x' \cdot \cos\theta - y' \cdot \sin\theta$$

$$y = x' \cdot \sin\theta + y' \cdot \cos\theta$$

파라미터 평면 영역 제한 휴 변환은 검출대상 직선의 방향이 제한되어 있을 경우 각 픽셀에 대한 $\theta - \rho$ 파라미터 평면에서의 궤적을 제한되어진 범위내의 부분에서만 그리는 방식이다. 이 방식에 의해 필요로 하는 메모리양과 시간이 대폭적으로 감소된다.

복도영상에서는 수평선과 수직선 그리고 사선의 경우에 대해서만 영역을 제한시키고 이때 파라미터 평면위의 θ 축의 $\theta = 0^\circ$ 은 X-Y평면위의 수평선에 대응하고, $\theta = 90^\circ$ 은 수직선에 대응하게 된다. 실제로는 직선에 $2^\circ - 3^\circ$ 정도의 기울기가 있을 경우 (오차)도 생각하여 $\theta - \rho$ 파라미터 평면을 그림2 과 같이 θ 축의 $-3^\circ - 3^\circ$ 의 영역, $40^\circ - 50^\circ$ 의 영역, $87^\circ - 93^\circ$ 의 영역만을 θ 축의 영역으로 제한하여도 수직선, 수평선, 사선이 추출된다.

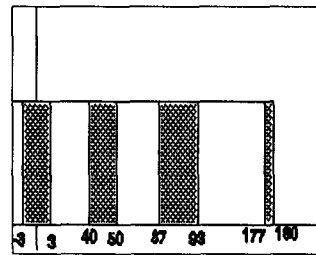


그림2. 파라미터 영역 제한
Fig.2. Constrained parameter region

2.2 카메라 교정의 중요성

카메라 내부의 기하 구조와 광학적 특성(내부 매개 변수)을 결정하는 과정(단일 카메라의 기하학적 특성과 어떤 월드(world)좌표계에 대한 카메라 프레임의 3차원 위치와 방향(외부 매개 변수)를 결정하는 것(두 카메라사이의 회전 행렬 R 과 이동 벡터 T)이다. 카메라 교정의 목적은 3차원 세계 좌표와 컴퓨터에 의해서 바라보는 2차원 화상 좌표의 관계를 형성하기 위한 것이다. 한번 이러한 관계가 형성되면 2차원 정보로부터 3차원 정보를 추론하거나 역순이 가능하다.

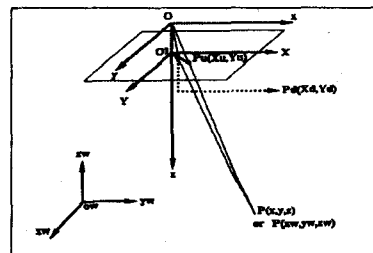


그림3. 카메라의 기하구조
Fig.3. Camera Geometry

(x_w, y_w, z_w) 은 3차원 세계 좌표계에서 물체점

p의 3차원 좌표이고, (x, y, z)는 3차원 카메라 좌표계에서 같은 점 p의 3차원 좌표이다. 점 p는 z축이 광축 일때 광학 중심점 "0"에 집중된다. (x, y)는 0(화상 평면과 광축 z가 교차 하는 점)이 중심인 화상 좌표계이며 x와 y축에 평행하다. 유효 초점 거리 f는 화상 평면과 중심과의 거리이고, (x_u, y_u)는 완전한 바늘 구멍(pin hole) 카메라 모델이 사용되었을때의 화상 좌표계이다. (x_d, y_d)는 카메라 왜곡 때문에 발생하는 실제 화상 좌표이며, 프레임 버퍼중심(x_f, y_f)은 컴퓨터에서 사용되는 좌표계로서 단위는 프레임 메모리에서 이진 화상에 대하여 픽셀의 수로 나타낸다.

1) (x_w, y_w, z_w)에서 (x, y, z)으로의 변환
(월드 좌표계에서 카메라 좌표계로의 변환)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \text{-----}(3)$$

2) 바늘 구멍 카메라 기하구조에서 원근 방정식은

$$X_u = f \frac{x}{z} \quad Y_u = f \frac{y}{z} \text{-----}(4)$$

3) 2차 다항식으로 구성된 광학 렌즈의 왜곡은

$$\begin{aligned} X &= X_d = X_u(1+kR^2)^{-1} \\ Y &= Y_d = Y_u(1+kR^2)^{-1} \end{aligned} \text{-----}(5)$$

$$\text{단 } R^2 = X_u^2 + Y_u^2$$

4) 실제 화상 좌표 (X, Y)에서 컴퓨터 화상 좌표 (X_f, Y_f)로의 변환

$$\begin{aligned} X_f &= d_x^{-1} X + C_x \\ Y_f &= d_y^{-1} Y + C_y \end{aligned} \text{-----}(6)$$

(C_x, C_y) : 컴퓨터 화상 중심 좌표

(d_x, d_y) : 화상 평면에서 컴퓨터 화소 사이의 거리

3. 실험 결과

본 연구의 실험에 사용된 카메라는 Pulnix 545로서 픽처 엘레먼트(Picture Element)는 510(H)×492(V)로 구성되어 있으며, 화상처리 보드는 PC Vision Plus, 컴퓨터는 IBM 486 호환 기종을 사용하였으며, 프로그램 작성을 위하여 C언어를 사용하였다. 카메라를 통하여 입력된 복도 영상은 화상 처리기의 화상 메모리에 512×480으로 저장되며, 주행 지도 구성을 위한 시뮬레이션에 앞서 계측의 정밀도를 위하여 사용하는 카메라에 대하여 교정을 실시하였으며, 카메라의 교정은 시스템의 가동 초기에 1회만 실시하였다. 주행 지도 구성을 위한 시뮬레이션 순서는 카메라에서 입력되는 복도 영상을 필터링하고, 잡음이 제거

된 영상에서 회전 변환을 이용하여 직선을 검출하고, 특징점 추출 트리를 이용하여 영상에서 해당 특징점을 추출하며, 추출된 특징점을 이용하여 최종적으로 주행 지도를 작성한다.

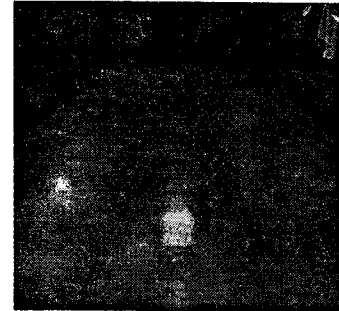


그림 4. 카메라 교정
Fig.4. Camera calibration

그리고, 카메라 교정을 위해서 그림4와 같이 영상중심부위의 9곳을 선정한다. 각 점간의 거리는 100cm간격이며 각 점의 월드좌표는 표1과 같다.

표1. 카메라 교정점의 월드좌표

Table 1. World coordinate of camera calibration points

(106,765)	(0,765)	(94,765)
(106,665)	(0,765)	(94,765)
(106,565)	(0,765)	(94,765)

표1의 월드좌표는 카메라 렌즈를 통하여 영상좌표로 변환되며 변환된 좌표는 표2와 같다.

표2. 카메라 교정점의 영상좌표

Table 2. Image coordinate of camera calibration points

(132,178)	(262,180)	(392,184)
(112,206)	(260,209)	(409,212)
(86,242)	(259,246)	(433,250)

표1과 표2에 의해 카메라 교정을 수행하며 계산된 카메라의 변수는 표3과 같다.

표3. 카메라의 변수

Table 3. Camera parameter

f	k	R _x	R _y	R _z
15.45	0.01	78.8	-4.25	-178.91

3.1 직선 검출

본 논문에서는 윤곽선검출에 대한 알고리즘은 기존의 그라디언트(gradient) 방법을 이용하였으며 카메라로 입력된 원 영상과 윤곽선 검출 영상

을 그림5 에 나타냈다.

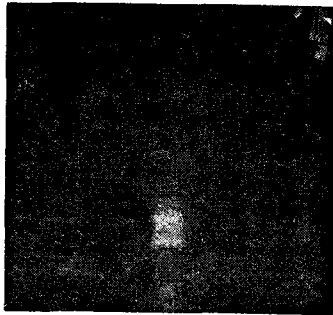


그림5. 복도 영상
Fig. 5. Corridor image

43~47° 사이의 직선검출에서 평행한 직선은 1°의 편차로 검출되었으며 오른쪽 중간의 직선들은 계시판에 나타난 직선에 대한 오검출 결과이다. 영역 132~138° 사이에서도 1~2° 간격으로 검출되었다.

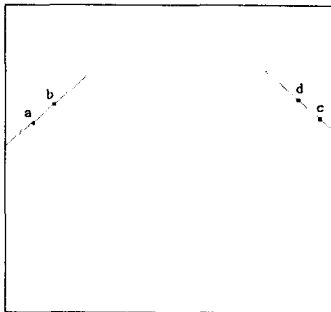


그림6. 복도의 사선 검출
Fig. 6. Extraction of sloping line

검출된 복도의 사선에서 추출된 특징점(a,b,c,c)의 거리를 구하고, 각각의 점에 대해 평균하여 주행 통로 폭을 재구성하면 그림7 과 같고 이는 최종 구성된 전동 휠체어의 주행지도이다.

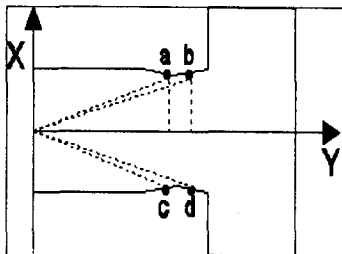


그림7. 전동휠체어의 주행지도
Fig. 7. Locomotion map of motorized wheelchairs

각 과정의 오차에서 가장 큰 영향을 주는 것은

실험에 나타난것과 같이 카메라의 내부 변수 및 외부 변수에서의 오차이며 직선 검출 과정에서의 오차는 회전 변환을 사용하기 때문에 회전시의 오차($\sqrt{2-1}$) 및 역회전시의 최대 오차($\sqrt{2-1}$)를 합한 $2(\sqrt{2-1})$ 의 오차를 포함하였다. 실험에서 필터링과 윤곽선의 검출에 의한 거리 계측의 오차를 규명하지 못하였으며 추후 연구 과제로 고려된다.

4. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 전동휠체어의 실내 주행을 위한 계측에 대한 전반적인 방법에 대하여 체계적인 정리를 하였으며 복도의 특징점을 추출하는 트리틀을 통하여 검출된 특징점을 전동휠체어 주행지도를 구성하기 위해서 사용하였고 영상 정보를 통해 거리 계측을 위해서는 카메라의 교정을 통해서 카메라의 왜곡을 보정하여 실험한 결과 복도의 특징점을 추출하여 거리를 계측하였다. 이러한 과정을 통하여 작성된 주행지도는 정지 화상에 대하여 처리된 결과이며 이동중인 전동휠체어에서 취득한 입력 영상을 처리하기 위해서는 이동 영상에 대한 카메라의 교정 방법과 추출된 특징점의 이동 과정을 추적할 수 있는 방법에 대한 연구가 더욱 더 진행되어야 하며, 이러한 알고리즘을 실시간으로 처리할 수 있는 하드웨어에 대한 연구가 바람직하다고 고려된다.

참고 문헌

1. 홍 승홍 외, "지체부자유자를 위한 다기등 전동휠체어의 연구 개발", 과학기술처 특정과제 2 차년도 연구보고서, 1992
2. Richard L. Madarasz, Loren C. Heiny, Robert F. Crompt, Neal M. Mazur, "The Design of an Autonomous Vehicle for the Disabled", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, NO 3, pp 117-125, 1986
3. T. Kanbara, J. Miura, Y. Shirai, "Selection of Efficient Landmarks for an Autonomous Vehicle", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1332-1338, 1993
4. Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323-344, 1987