

단안 카메라를 이용한 소형 자동차의 임무 수행

김진우* · 하종은**

Performing Missions of a Minicar Using a Single Camera

Jin-Woo Kim* · Jong-Eun Ha**

요 약

본 논문에서는 카메라 및 기타 센서 처리를 통한 소형차의 자율 주행을 통한 미션 수행에 대해 다루도록 한다. 주어진 차선내에서 안전한 운행을 위해서는 차선내에서의 차량의 자세 정보 추출이 필요하다. 이를 위해 호모그라피를 이용하도록 한다. 주어진 영상을 흑백 이미지로 변환후 이치화와 에지를 이용하여 차선에서 필요한 제어점들을 추출한다. 호모그라피를 이용하여 두 개의 제어점들을 세계 좌표계로 변환후 차량의 각도와 위치를 계산하도록 한다. 칼라 정보를 이용하여 신호등 판단을 하도록 한다. 실험을 통해 주어진 임무를 잘 수행함을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper deals with performing missions through autonomous navigation using camera and other sensors. Extracting pose of the car is necessary to navigate safely within the given road. Homography is used to find it. Color image is converted into grey image and thresholding and edge is used to find control points. Two control points are converted into world coordinates using homography to find the angle and position of the car. Color is used to find traffic signal. It was confirmed that the given tasks performed well through experiments.

키워드

Localization, Color Processing, Plane Homography, Robot Vision
위치 추정, 칼라 처리, 평면 호모그라피, 로봇 비전

1. 서 론

본 논문에서는 단안 카메라를 이용한 영상 처리를 통해 소형 모형 차량의 임무 수행에 대해 다루도록 한다. 일반적인 자율 주행 차량의 경우 라이다, 레이더, GPS, 관성센서등의 다양한 센서들을 이용하고 있다[1]. Shin등[2]은 이동 로봇의 자율 주행을 위해 구

조광 기반의 센서를 다수 배치하여 로봇 주변 360도 영역을 처리하고 있다. Noh등[3]은 이동 로봇의 추측 항법(dead reckoning)과 ICP(Iterative Closest Points) 알고리즘을 이용한 지도 작성을 다루고 있다. Kim등[4]은 주행 공간상에 존재하는 초음파 비콘을 이용한 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)에 대해 다루고 있다. Kim등[5]은 이동 로

* 서울과학기술대학교 자동차공학과 대학원
(kjkwh@gmail.com)

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

• 접수일 : 2017. 01. 12
• 수정완료일 : 2017. 02. 13
• 게재확정일 : 2017. 02. 24

• Received : Jan. 12, 2017, Revised : Feb. 13, 2017, Accepted : Feb. 24, 2017

• Corresponding Author : Jong-Eun Ha

Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,

Email : jeha@seoultech.ac.kr

봇상의 레이저 거리 센서를 이용한 차선 인식 방법을 다루고 있다. Jeong 등[6]은 이동 로봇의 위치 추정에 관련된 다양한 함수 구현에 대해 다루고 있다. Song 등[7]은 자율 주행을 위한 경로 계획시 조향휠 조작과 주행속력 변화를 최소화하는 방법을 제안하고 있다. Park 등[8] 이동 로봇에서 레이저 거리 센서를 이용한 실내 복도 환경 주행 방법에 대해 다루고 있다. Ko 등[9]은 소형 모형 자동차의 외란 관측기를 이용한 속도 제어에 대해 다루고 있다.

그림 1은 소형차를 이용한 경진 대회 관련 임무와 제공 소형 차량을 보여주고 있다. 주요 센서로는 카메라와 거리 감지 센서가 있다.

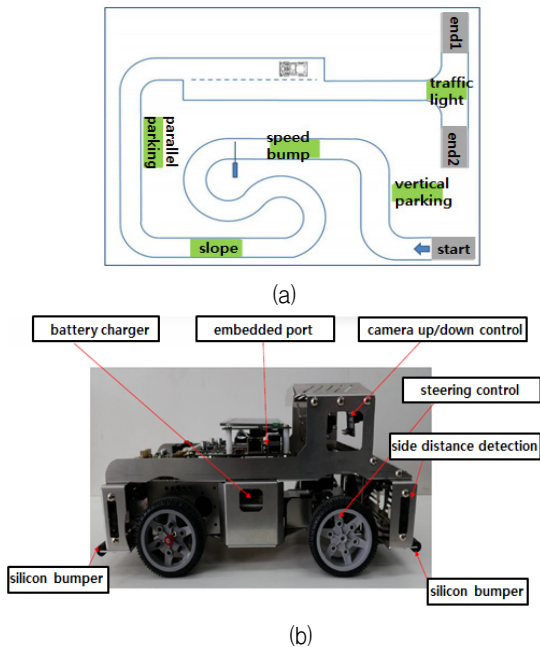


그림 1. 대회 개요 (a) 수행 임무 (b) 대회 사용 차량
 Fig. 1 Overview of contest (a) missions (b) car used in contest

카메라를 이용한 영상 처리를 통해 주어진 차선내를 운행하면서 각각의 지정된 위치에서 주어진 임무를 수행해야 한다. 주행 경로 중에는 방지턱과 언덕구간이 있으며, 수직 주차와 수평 주차를 위한 지점도 포함되어 있다. 최종 목표 지점 앞에 신호등이 있으며 왼쪽, 오른쪽으로 신호등의 표시에 따라 운행을 하여야 한다. 본 논문에서는, 임무 수행을 위해 단안카메

라에서 얻은 영상과 호모그래피(homography) 행렬을 이용한 차량의 자세와 차량의 도로중앙으로부터 떨어진 거리의 계산을 통한 위치 추정 방법에 대해 다루도록 한다. 또한, HSV 색상모델을 이용하여 색상의 분포를 분석하여 신호등 색을 구분하고 원의 넓이를 이용하여 신호등의 인식 및 종류 구분을 하는 것에 대해 다루도록 한다. 마지막으로 최소회전반지름을 이용한 진입각도 계산을 통한 수직주차와 평행주차를 수행하는 알고리즘에 대해 다루도록 한다.

II. 호모그래피 행렬을 이용한 차량의 위치 추정

주어진 차선내에서 안정적인 주행을 위해서는 차선 상에서 차량의 자세 정보 추출이 필요하다. 차선 기준으로 횡방향으로의 차량의 위치와 차선 방향을 기준으로 얼마만큼 회전되어 있는지 등의 정보가 필요하다. 차선내에서 차량의 위치 추정은 차선과 차량 사이의 거리와 각도를 이용한다. 차선은 항상 차량이 달리는 도로 위에 존재한다. 일반적으로 단안 카메라의 영상으로부터는 차선의 3D 좌표를 알 수 없다. 차선이 평면상에 존재할 때는 차선이 존재하는 평면과 이미 지상에 투영된 평면 사이의 관계는 호모그래피 행렬을 이용하여 나타낼수 있으며 다음과 같다[10].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$(u, v, 1)^T$ 는 이미지상의 좌표를 나타내며 $(X, Y, Z)^T$ 는 평면상의 세계 좌표계 기준의 좌표를 나타낸다. h_{ij} 는 호모그래피 행렬을 나타낸다. 네 쌍 이상의 대응점을 이용하여 호모그래피 행렬을 구할 수 있게 된다[10]. 호모그래피 행렬은 차량에 카메라를 장착후 수동으로 제어점들을 지정후 미리 구해두도록 한다. 실제 주행시에는 영상에서 양쪽 차선상에서 제어점들을 추출후 이들 점들을 호모그래피를 이용하여 실제 주행 평면상의 세계 좌표계로 변환하여 차량의 자세 정보를 추출하도록 한다.

차량 자세 추정을 위한 영상 처리 과정을 다음과 같다. 그림 2-(a)는 320(W)X240(H) 픽셀 크기를 가지

는 원 이미지이다. 칼라 이미지를 흑백으로 처리후 영상의 하단부에 320(W)X120(H)의 크기를 가지는 관심 영역에 대해서만 처리를 수행하도록 한다. 흑백 이미지상에서 이치화를 수행후 에지 크기를 이용하여 차선의 경계를 찾는다. 차선 표시의 양쪽 경계중 차선의 중앙에 가까운 안쪽 차선에서 추출된 제어점들을 사용하도록 한다. 관심 영역을 세 영역으로 나눈 후 각각의 영역에서 제어점들을 추출한다. 각각의 추출된 제어점들을 호모그라피 행렬을 이용하여 세계 좌표계상의 좌표로 변환후 제어점간의 실제 거리를 이용하여 최종적으로 제어점들을 선택하도록 한다. 추출된 제어점들중 실제 거리가 5cm보다 크고 35cm보다 작은 조건을 만족하는 두 개의 제어점들을 이용하여 차량의 자세 정보를 추출하도록 한다. 그림 2-(b)는 추출된 제어점들을 보여주고 있다.

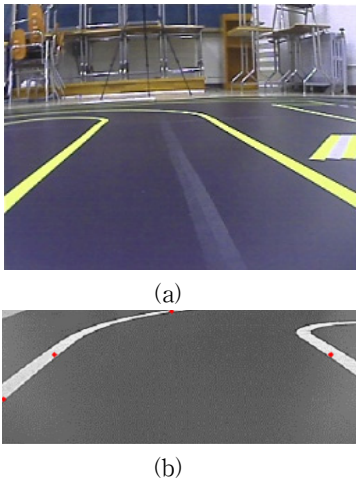


그림 2. 제어점 추출 (a) 원 이미지 (b) 추출 결과
Fig. 2 Detection of control points (a) original image (b) detection result

다음으로 추출된 두 개의 제어점을 이용한 차량의 자세 정보 추출에 대해 다루도록 한다. 영상으로 보이는 차선의 각도는 차량과 차선 사이의 각도와 같으며 차선과 평행하도록 차량을 회전시키면 차량과 차선 사이의 거리를 알 수 있다. 차선의 각도는 homography 행렬을 통해 구해진 한 차선 위의 두 점으로 구한다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2)$$

θ 는 차량과 차선 사이의 각도이고 x_1, y_1, x_2, y_2 는 영상에서 선택된 차선 위의 두 점의 차량을 기준으로 한 실제좌표이다. 차량의 위치는 계산된 차량의 각도와 회전행렬을 이용하여 차선 위의 점을 변환시켜 차량과 차선까지의 거리를 알아낸 뒤 도로 중앙에서 떨어진 거리를 계산하도록 한다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$t_x = X - (x \cos\theta + y \sin\theta) \quad (4)$$

X, Y 는 도로의 중앙을 기준으로 한 차선의 좌표이고 x, y 는 차량을 기준으로 한 차선의 좌표이다. 도로중앙부터 떨어진 거리 t_x 를 구할 때 X 는 안쪽 차선 쪽의 절반으로 계산한다.

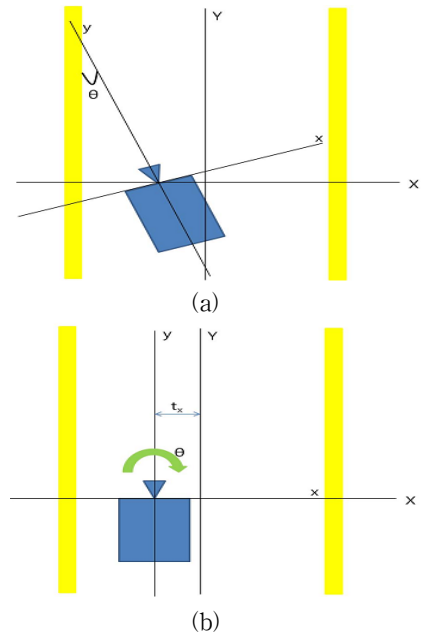


그림 3. 차량 자세 정보 추정 (a) 각도 추정 (b) 위치 추정
Fig. 3 Estimation of the pose of a car (a) angle estimation (b) location estimation

III. HSV 색상모델을 이용한 신호등 처리

신호등 처리를 위해 색상을 이용한 구분 방법을 이용하도록 한다. 빨강색, 초록색, 파란색 채널의 명암으로 색상을 표현하는 RGB 색상모델의 경우 광원의 강도와 위치 등에 따라 모든 채널이 영향을 받게 되어 조명조건이 달라질 경우 색상을 제대로 구분하기 힘들어진다. HSV 색상모델은 색상(Hue)을 나타내는 H 채널과 채도(Saturation)와 명도(Value)를 나타내는 S, V 채널로 구성되어 있다. 색상과 채도, 명도가 분리되어 있어 빛의 변화에 대해서 색상을 구분하는데 비교적 영향이 적은 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 색상 처리를 위해 HSV 색상 모델을 이용하도록 한다.

주어진 신호등 표식의 안정적인 검출을 위해 광원의 위치와 차량의 자세, 위치를 다르게 하여 얻은 약 100장의 신호등 표식 영상으로부터 빨강색과 초록색에 대한 H, S, V 채널의 분포를 분석하여 각 표식에 대한 모델을 구성하였다. 신호등의 신호는 화살표와 원형이 있다. 이를 구분된 색상 집단에서 구분을 하기 위해 원의 넓이와 집단의 너비를 이용하였다. 집단의 면적으로부터 지름을 계산하고 계산된 지름과 집단의 너비를 비교하여 신호의 종류를 구분하도록 한다.

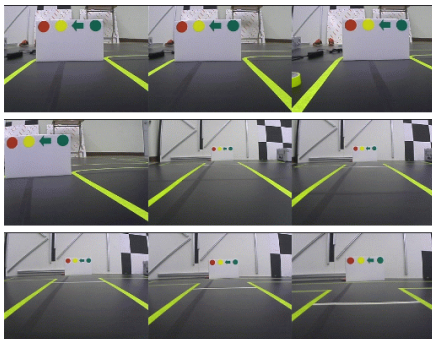


그림 4. HSV 분석에 사용된 영상 이미지들
Fig. 4 Images used in the analysis of HSV

IV. 최소회전반지름을 이용한 자동주차

최소 회전반경은 에커먼 조향방식에서 조향각도가 주어졌을 때 회전반경을 계산하는 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$R = \frac{L}{\sin \alpha} \tag{5}$$

R 은 회전 반경을 나타내며 L 은 두 바퀴 사이의 거리, α 는 조향각도를 나타낸다. 회전반경을 이용하여 자동주차시 진입 조향각도를 계산해 수직주차는 한 개의 호, 평행주차는 두 개의 호를 생성하여 자동주차 경로를 생성하도록 하며 그림 5와 같다.

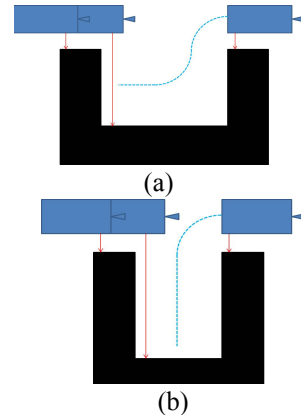


그림 5. 평행 주차(a) 직각 주차(b)
Fig. 5 Parallel parking(a) and vertical parking(b)

차량이 모터로 조향각도를 생성하게 될 때 기구학적으로 모터의 회전각도와 차량의 조향각도 간의 계산식은 다음과 같으며 그림 6은 관련 사항을 보여주고 있다.

$$\delta = \frac{l \times L}{r \times R} \tag{6}$$

δ 은 모터의 회전각도이고 R 은 차량의 회전반지름, L 은 차량의 축거, r 은 모터와 차축까지의 거리, l 은 차축과 타이어 중앙까지의 거리이다. 생성된 진입각도로 주차공간 내부로 진입 후에는 벽면과 평행하게 주차될 수 있도록 반복 동작을 통해 세부 조절을 한다.

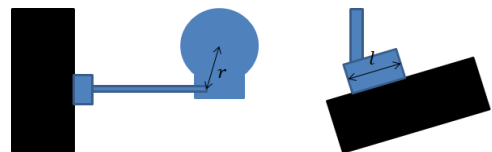


그림 6. 모터를 이용한 조향시스템
Fig. 6 Steering system using motor

V. 실험 결과

호모그래피를 이용하여 이미지상의 제어점들을 도로평면의 세계 좌표계 기준 점으로 변환함으로써 차량의 자세와 위치를 계산하였다. 따라서, 호모그래피 행렬의 정확도는 위치 추정 정확성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 호모그래피 행렬 계산은 50x50mm 크기를 가지는 체스보드 형태의 패턴을 이용하였으며 그림 7에 나타나있다. 총 82개의 점을 수동으로 추출하여 이용하였다. 구해진 호모그래피 행렬에 의한 오차는 표 1과 같다. 오차는 구해진 호모그래피 행렬에 의한 계산값과 알고 있는 참값과의 차이를 이용하였다.

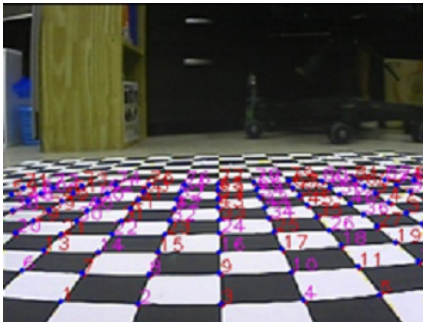


그림 7. 호모그래피 계산에 사용된 제어점들
Fig. 7 Control points used in homography computation

표 1. 호모그래피에 의한 오차
Table 1. Error by homography

mean error	std	max error
4.78 mm	2.20 mm	10.89 mm

위치 추정 성능평가는 차량의 자세와 위치를 변경하면서 평가를 실시하였으며 그림 8에 일부 과정이 나타나 있다. 5가지 자세(0°, 11°, 21°, -11°, -21°)와 5가지 위치(0mm, 50mm, 100mm, -50mm, -100mm)에 대해 25번의 평가를 실시하였고 오차평가는 식 (7)을 이용하였으며 결과는 표 2에 나타나 있다.

$$x \text{ 오차} = \frac{|\text{참값} - \text{측정값}|}{\text{도로폭의 절반}} \times 100 \quad (7)$$

$$\theta \text{ 오차} = \frac{|\text{참값} - \text{측정값}|}{90^\circ} \times 100$$

신호등 처리를 위해 사용한 HSV 색상 모델의 인자값들은 표 3과 같다. 그림 9는 칼라 정보를 이용한 신호등 처리 결과를 보여주고 있다.

표 2. Localization 성능 평가
Table 2. Evaluation of performance of localization

	t_x error[%]	θ error[%]
mean error	3.23	0.83
std	2.20	0.56
max error	8.93	1.97

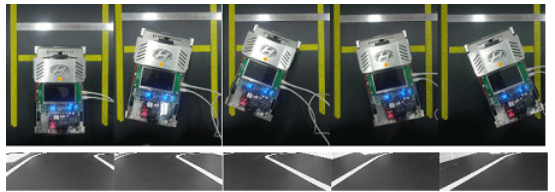


그림 8. 위치 추정 성능평가
Fig. 8 Evaluation of localization performance

표 3. 빨간색과 초록색의 HSV 분석
Table 3. HSV analysis of red and green color

	mean	std
Red H	6.65	15.22
Red S	182.88	17.40
Red V	143.19	12.89
Green H	84.83	3.03
Green S	188.23	21.69
Green V	91.08	6.68



그림 9. 색상 정보를 이용한 신호등 구분
Fig. 9 Traffic light classification using color information

VI. 결론

본 논문에서는 소형 모형 차량의 카메라를 이용한 자율 주행과 임무 수행에 대해 다루었다. 이치화 및 에지 처리를 통해 차선에서 제어점들을 추출후 평면 호모그라피를 이용하여 주어진 차선내에서 차량의 위치와 각도 정보를 추출하였다. HSV 색상모델을 이용하여 색상 구분 및 신호등의 종류를 구분하였다. 또한, 최소회전반지름을 이용하여 주차 궤적을 생성하여 주차를 하였다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음

References

- [1] J. Ryu, J. Sark, D. Ogay, S. Bulavintsev, H. Kim, Y. Song, M. Yoon, J. Kim, and J. Kang, "Introduction to Autonomous Vehicle PHAROS," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 8, 2012, pp. 787-793.
- [2] J. Shin and S. Yi, "Ring Array of Structured Light Image Based Ranging and Autonomous Navigation for Mobile Robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 6, 2012, pp. 571-578.
- [3] S. Noh, T. Kim, and N. Ko, "Map Building Using ICP Algorithm based a Robot Position Prediction," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 4, 2013, pp. 575-582.
- [4] T. Kim, N. Ko, and S. Noh, "Particle Filter SLAM for Indoor Navigation of a Mobile Robot Using Ultrasonic Beacons," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 391-399.
- [5] H. Kim, Y. Hawng, Y. Kim, D. Lee, and J. Lee, "A Real Time Lane Detection Algorithm Using LRF for Autonomous Navigation of a Mobile Robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 19, no. 11, 2013, pp. 1029-1035.
- [6] S. Jeong, N. Ko, and T. Kim, "Development and Implementation of Functions for Mobile Robot Navigation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 421-432.
- [7] G. Song and J. Lee, "Path Planning for Autonomous Navigation of a Driverless Ground Vehicle Based on Waypoints," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 2, 2014, pp. 211-217.
- [8] J. Park and T. Park, "Autonomous Navigation System of Mobile Robot Using Laser Scanner for Corridor Environment," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 11, 2015, pp. 1044-1049.
- [9] Y. Jo, Y. Kim, and J. Kim, "Robust Speed Control of an Autonomous Vehicle Using Disturbance Observer," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 22, no. 5, 2016, pp. 339-345.
- [10] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry*, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

저자 소개



김진우(Jin-Woo Kim)

2015년 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 졸업(공학사)
 2015년~현재 서울과학기술대학교 자동차공학과 대학원 석사과정
 ※ 관심분야 : 무인자율주행, 무인감시, 머신비전



하종은(Jong-Eun Ha)

1992년 서울대학교 기계공학과 졸업(공학사)
 1994년 서울대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
 2000년 한국과학기술원 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)
 2000년~2002년 삼성코닝
 2002년~2005년 동명대학교 멀티미디어공학과
 2005년~현재 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 교수
 ※ 관심분야 : 딥러닝, 무인자율주행, 머신비전