

## 그림자를 이용한 원거리 차량 인식 및 추적

안영선\* · 곽성우\*\*

## Long Distance Vehicle Recognition and Tracking using Shadow

Young-Sun Ahn\* · Seong-Woo Kwak\*\*

## 요 약

본 논문에서는 무인자율주행자동차를 레이싱 경기에 운용하기 위해 차량의 전면유리 중앙에 설치된 단안카메라를 사용하여 원거리에 있는 차량을 인식하고 추적하는 알고리즘을 제안한다. 차량은 하르(Haar) 특징을 사용하여 탐지하고, 차량바닥에 있는 그림자를 검출하여 차량의 크기와 위치를 판단한다. 인식된 차량의 주변을 ROI(Region Of Interest)로 설정하여 다음 프레임들에서는 ROI 내부의 차량 그림자를 찾아 추적한다. 이를 통하여 차량의 위치, 상대속도와 이동방향을 예측한다. 실험결과는 100m이상의 거리에서 90%이상의 인식율로 차량을 인식하였다.

## ABSTRACT

This paper presents an algorithm for recognizing and tracking a vehicle at a distance using a monocular camera installed at the center of the windshield of a vehicle to operate an autonomous vehicle in a racing. The vehicle is detected using the Haar feature, and the size and position of the vehicle are determined by detecting the shadows at the bottom of the vehicle. The region around the recognized vehicle is determined as ROI (Region Of Interest) and the vehicle shadow within the ROI is found and tracked in the next frame. Then the position, relative speed and direction of the vehicle are predicted. Experimental results show that the vehicle is recognized with a recognition rate of over 90% at a distance of more than 100 meters.

## 키워드

Single Camera, Long Distance, Vehicle Recognition, Shadow  
단안 카메라, 원거리, 차량 인식, 그림자

## 1. 서 론

최근 전 세계 자동차 관련 업체들은 무인 자율주행 자동차를 상용화하기 위해 모든 역량을 집중하고 있다. 자율주행 기술은 1990년 미국 방위고등연구계획국(DARPA : Defence Advanced Research Projects Agency)이 군사적 목적으로 운용하기 위해 지상 차

량에 대해서 처음 연구를 시작하였다[1]. 현재 개발된 자율주행 자동차에는 값비싼 센서가 장착되어 주행환경을 인식한다. 그 중에서 비전 센서는 상대적으로 저렴하고 여러 가지 정보를 동시에 얻을 수 있다는 장점이 있다[2]. 여러 정보에 대한 인식 및 판단 과정에서 많은 처리량이 필요하지만 최근 고속 컴퓨터의 개발로 이 문제는 점차 해결되고 있다[3].

\* 대구경북과학기술원 연구원(younsunan@naver.com)

\*\* 교신저자 : 계명대학교 전자공학과

• 접수일 : 2018. 12. 15

• 수정완료일 : 2019. 01. 15

• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Dec. 15, 2018, Revised : Jan. 15, 2019, Accepted : Feb. 15, 2019

• Corresponding Author : Seong-Woo Kwak

Dept. Electronic Engineering, Keimyung University,

Email : ksw@kmu.ac.kr

자동차 레이싱 경기에서는 전방에 주행하는 차량의 상대적인 속도와 거리를 인지하여 추월 가능 여부를 빠르게 판단해야 한다. 본 논문에서는 무인자율주행자동차간의 레이싱경기에서 차량에 설치된 단안카메라를 사용하여 LiDAR( Light Detection And Ranging)[4]가 인식하기 어려운 먼 곳의 차량을 인지하는 방법을 제안한다. LiDAR는 인식거리가 비교적 짧기 때문에 전방에 있는 차량과 상대속도가 크면 근접거리에서의 차량인지로 인해 갑자기 정지하거나 회피해야 하므로 사고 위험의 가능성이 크다. 따라서 빠른 속도로 자율주행하기 위해서는 먼 곳의 차량을 미리 인지하는 것이 매우 중요하다[5].

본 논문에서는 무인자율주행차량의 전면유리 중앙에 설치된 단안카메라를 사용하여 먼 곳에 있는 차량을 인식하고, 위치, 상대속도와 이동방향을 예측할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 하르(Haar) 특징을 사용하여 차량 후보를 추출한 후, 후면의 그림자를 이용하여 차량을 인식하였다. 실험결과는 제시된 알고리즘이 먼 곳의 차량을 빠른 시간에 인식할 수 있음을 보여준다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 원거리 차량을 인식하고 추적하는 방법을 제안하고, 3장에서는 제시된 알고리즘에 따른 실험결과를 보여주며, 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 차량인식 및 추적 과정

본 논문에서 제안된 알고리즘은 그림 1과 같이 차량인지, ROI( Region Of Interest)생성(creation)[6], 속도 및 방향 예측 순으로 진행된다. 차량인지는 하르 특징(Haar-like feature)에 기반한 하르 캐스케이드(Haar-based cascade) 분류기를 사용하여 차량 후보를 검출하고, 이 영역에서 차량 바닥의 그림자를 확인하여 차량을 인식하도록 하였다. 인식된 차량을 추적하기 위한 ROI 생성은 검출된 차량의 그림자의 중심 좌표와 크기를 이용하여 차량을 포함하는 최적의 영역을 만들어 차량을 추종할 수 있게 하는 과정이다. 최종적으로 인지된 차량의 좌표를 다음 영상과의 시간과 좌표차이를 활용하여 전방에 인식된 차량의 상대속도 및 방향을 예측하였다. 제안된 알고리즘의 결과는 자율주행자동차의 통합 제어 시스템에 전달하며,

인식된 차량의 상태에 따라 최적경로를 만들어 차량을 제어한다.

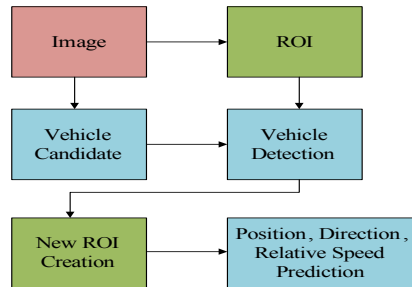


그림 1. 알고리즘 구성  
Fig. 1 Algorithm configuration

### 2.1 후보군 검출

하르 특징(Haar-like feature)은 검출하고자 하는 물체 영역간의 명암 패턴을 의미한다. 오브젝트를 추출하는 연산이 비교적 간단하여 빠른 속도로 실행할 수 있는 장점이 있다[7-8].

제안된 알고리즘에서는 하르 특징을 활용하여 주행 중 저장한 영상데이터의 positive 이미지인 차량후면 영상을 약 1000장, negative 이미지를 약 1500장 준비하여 캐스케이드(cascade) 방식으로 분류기를 학습시켰다. 차량 후면 인식기를 위해 학습에 사용한 이미지는 자체적으로 취득한 DB에서 이미지를 크롭핑하여 positive 이미지를 생성했고, 차량 이외의 오브젝트를 negative 이미지로 사용했다.



(a) Haar cascade detection result 1



(b) Haar cascade detection result 2

그림 2. 차량 후보군 검출  
Fig. 2 Detection of vehicle candidate

그림 2는 하르 캐스케이드 분류기를 사용하여 차량의 후보군을 검출한 것이다. 그림 2(a)와 (b)는 분류기를 통해 차량의 후보를 검출하여 결과를 실선의 초록색 박스로 표시한 이미지이다. 차량 뿐 아니라 차량과 유사한 물체들이 차량후보로 검출된 것을 볼 수 있다.

## 2.2 차량 그림자 검출 및 ROI 생성

본 논문에서는 하르 특징으로 검출된 차량 후보군들 중에서 차량으로 최종적으로 판단하기 위해 차량 바닥에 생기는 그림자를 확인한다. 기존의 차량인식 알고리즘에는 차량의 후미등을 확인하여 판단하는 방법[9]을 사용하지만 먼 곳의 차량은 기존의 방법으로 판단하기 어렵다. 일몰시간 전에는 차량 바닥의 그림자가 먼 곳의 차량에도 발견되기 때문에 후보군 영역의 수평예지를 클러스터링(clustering)하여 후보군 영역의 40~60(%) 길이인 그림자를 검출하고, 그림자 중심점에서 그림자 길이의 2배인 가로, 세로가 같은 사각형의 ROI를 생성한다. 다음 영상에서는 이전에 생성된 ROI 내부에서 비슷한 크기의 그림자를 찾아 차량을 추적한다. 그림자는 픽셀의 밝기가 매우 낮기 때문에 주행하는 도로의 바닥 밝기의 약 50%를 임계값으로 하여 영상을 이진화하고 레이블링 기법[10]을 통해 ROI내부의 그림자를 추출한다. 먼 거리의 차량은 분류기가 계속해서 후보군을 검출하기 어렵기 때문에 차량을 지속적으로 추적하여 연속된 인지결과를 갖고 있어야 한다. 그림 3은 차량 후보군 내부의 그림자를 찾아 차량을 검출 한 것이다. 차량 아래쪽의 그림자의 가로 길이는 차량의 가로 크기와 같다고 가정하고 가로의 비율에 따라 차량의 영역을 그려 검출 결과를 표시(굵은 실선 빨간색 박스)하였다. 영상에서 초록색 박스는 차량 후보군을 나타내며 빨간색 박스는 최종적으로 차량으로 인식된 것이다. 차량 후보군들 중에서 그림자가 확인된 것은 차량으로 인식되고 나머지는 배제한다. 그림 3의 결과는 후보군들 중에서 실제 차량만 인식되는 것을 볼 수 있다.



그림 3. 그림자를 이용한 차량 검출  
Fig. 3 Vehicle detection using shadow

## 2.2 위치, 상대속도 및 방향 예측

인지된 차량의 월드좌표 위치는 이미지 픽셀좌표와 월드좌표간의 캘리브레이션(calibration)을 통해 그림자의 중심점을 차량의 위치로 좌표를 변환한다. 카메라가 설치된 차량의 틸팅(tilting)과 인지된 차량과 고저차를 감안하여 오차를 최소화 하도록 차량 위치를 예측하였다. 차량의 틸팅은 내부 관성(IMU) 센서를 통해 측정되며, 차량 간의 고저차는 미리 취득된 도로의 정밀 맵을 이용하여 현재 차량이 있는 위치와 전방 도로에 있는 차량의 고저차를 계산한다.

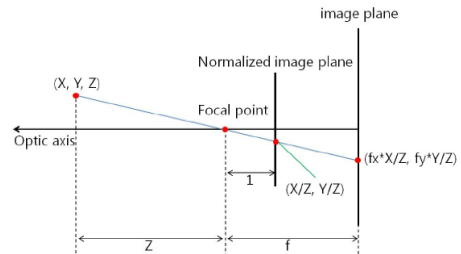


그림 4. 3D와 2D의 좌표관계  
Fig 4. Relation of 3D and 2D coordinates

그림 4에서 3D 공간의 한 점(X, Y, Z)이 초점(focal point)을 지나 초점거리가 1이 되는 정규화된 이미지 평면(normalized image plane)에 투사되는 2D 좌표는 (X/Z, Y/Z)이다. 여기에 초점거리를 적용하면 실제 이미지에 투영된 픽셀 좌표를 계산 할 수 있다. 이미지 평면의 중심(Cx, Cy)와 스케일(s)을 고려하면 이미지에 투영된 픽셀 좌표의 3D 공간좌표를 계산할 수 있다. 그림 5는 위의 좌표공간간의 관계를 이용하여 이미지에 가로 1m 세로 5m의 그리드(grid) 맵을 표시한 것이다. 이것은 이미지 좌표가 실제 3D 공간 좌표로 맵핑되도록 카메라의 캘리브레이션이 잘되었

다는 것을 확인하기 위한 것이다.

차량의 상대속도와 이동방향은 영상의 전송속도 (fps)와 이미지에서 차량의 이동거리를 이용하여 계산하였다. 예를 들어 그림 6(a)는 분류기를 통해 검출된 차량의 영역에서 차량의 그림자를 인식하여 새로운 관심영역을 만들어 준 것이고, (b)는 그림자를 통한 관심영역에서 차량의 그림자를 추적한 결과(파란색)를 보여준다. 매 프레임당 움직이는 픽셀의 변화를 통해 검출된 차량의 상대속도와 이동방향을 예측한다.

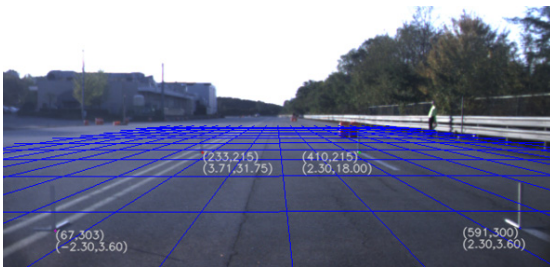
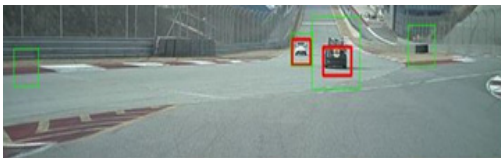
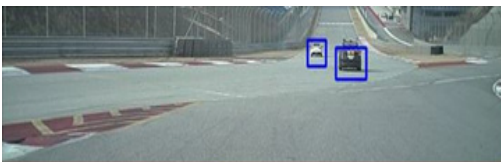


그림 5. 그리드 맵  
Fig. 5 Grid map

실험에 사용된 카메라는 30fps로 동작하며 33.3ms 주기로 이미지를 전송한다. 차량 위치의 중심점의 이동방향과 차량이 검출된 영역의 크기를 이용한 거리 정보를 기반으로 전방 차량의 상대속도 및 이동방향을 추정하였다.



(a) Vehicle detection using weak classifier and shadow



(b) Vehicle location tracking using shadows

그림 6. 차량 인지 및 추적  
Fig. 6 Vehicle detection and tracking

### III. 실험결과

제안된 알고리즘을 OpenCV Library를 활용하여 Core i5, 8G RAM 시스템 환경에서 720x150 사이즈의 이미지를 20fps 속도로 영상 처리하였다.

실험 DB는 인제스피디움 레이싱 트랙에서 17회 취득했으며 주행차량과 50m~120m 사이의 거리에 있는 차량을 검출하고 추적하여 전방의 차량과의 거리 및 거리변화에 따른 상대속도를 추정하여 자율주행을 실시했다. 그림 7은 주행차량의 전방에서 달리는 차량을 검출하고 추적한 결과를 보여준다.

표 1은 제안된 알고리즘으로 인제스피디움 레이싱 트랙에서 17회 실험동안 차량을 인식한 영상 프레임 수와 차량을 인식한 최대 거리, 인식율을 나타낸 것이다. 실험 데이터는 전방에 두 대 이상의 차량이 진행하고 있고 실험차량이 그 뒤를 따라가는 영상으로 구성되어 있다. 제안한 알고리즘은 평균 90% 이상의 인식율을 보였으며 100m이상의 원거리에 있는 차량을 인식하며 추적했다.

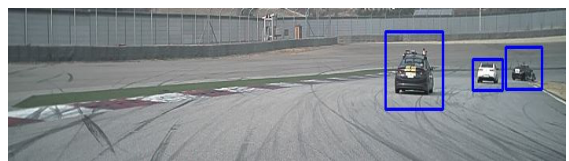


그림 7. 원거리 차량인지 결과  
Fig. 7 Results of long distance vehicle recognition

### IV. 결론

본 논문에서는 자율주행자동차를 레이싱 경기에 운용하기 위해 원거리 차량을 인식 하기 위한 방법을

제안하였다. 하르 특징을 사용하는 분류기로부터 차량 후보군을 추출하고 후면 바닥의 그림자를 이용하여 주행 경로의 전방 차량으로 인식하였다. 실험결과 최초 인식 결과는 80m 정도이며 추적을 통해 100m 이상의 차량을 검출했다. 또한, 인식된 차량의 위치, 상대속도, 진행방향을 예측하여 원거리 차량의 정보를 자율주행자동차에 제공하도록 하였다. 본 논문에서 다루고 있는 원거리 차량인식 알고리즘은 일몰 전의 한정된 환경에서 동작하기 때문에 추후 야간 환경에 대응할 수 있도록 개선하여야한다.

표 1. 차량인지 실험결과

Table. 1 Vehicle recognition experiment results

Data	Total Frames	Detection & Tracking Frames	Max Detection Distance	Recognition Rate
1	5,452	5,311	102m	0.974
2	6,145	5,845	84m	0.951
3	3,124	3,001	102m	0.960
4	5,621	4,862	114m	0.864
5	4,312	3,949	104m	0.915
6	5,214	4,754	110m	0.911
7	7,317	7,034	118m	0.961
8	2,244	2,119	85m	0.944
9	6,317	5,648	104m	0.894
10	5,424	5,079	107m	0.936
11	5,312	4,968	105m	0.935
12	6,746	6,245	111m	0.925
13	2,111	2,004	75m	0.949
14	6,214	5,948	98m	0.957
15	8,452	6,879	106m	0.813
16	3,142	2,943	114m	0.936
17	4,514	4,311	108m	0.955

#### 감사의 글

본 연구는 2017년도 계명대학교 연구기금으로 이루어졌음

## References

- [1] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, K. Lau, C. Oakley, M. Palatucci, V. Pratt, P. Stang, S. Strohband, C. Dupont, L. Jendrossek, C. Koelen, C. Markey, C. Rummel, J. Niekerk, E. Jensen, P. Alessandrini, G. Bradski, B. Davies, S. Ettinger, A. Kaehler, A. Nefian, and P. Mahoney, "Stanley: the robot that won the DARPA grand challenge," *J. of Field Robotics*, vol. 23, no. 9, 2006, pp. 661-692.
- [2] J. Kim and J. Ha, "Performing Missions of a Minicar Using a Single Camera," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, 2018, pp. 123-128.
- [3] Y. Ann, S. Kwak, and J. Yang, "Recognition of lanes, stop lines and speed bumps using top-view images," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 11, 2016, pp. 1879-1886.
- [4] H. Park, J. Kwon, T. Hwang, and D. Kim, "A Development of effective object detection system using multi-device LiDAR sensor in vehicle driving Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 313-320.
- [5] Y. Ann, S. Kwak, J. Lee, H. Lee, H. Liu, H. Jo, S. Park, I. Lee, E. Lee, J. Song, and S. Kim, "Long Distance Vehicle Recognition using Mono-Camera," *Proc. of Korea Institute of Intelligent Systems Spring Conf.*, vol. 27, no. 1, 2017, pp. 235-236.
- [6] G. Kim, G. Lee, J. Doh, G. Park, and J. Park, "Video Based Tail-Lights Status Recognition Algorithm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1443-1449.
- [7] C. Lee, J. Lee, G. Kim, H. Lee, S. Jeong, W. Jin, S. Kim, and D. Han, "Vehicle Detection and Distance Estimation based on Single Camera,"

*Proc. of Symp. of the Korea Institute of Communications and Information Sciences*, 2016, pp. 237-238.

- [8] G. Kim, G. Lee, J. Kim, and J. Park, "Vehicle Detection Using Optimal Features for Adaboost," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1129-1135.
- [9] Y. Cho, "Forward Vehicle Detection Algorithm Using Monocular Camera," *Proc. of The Korean Society Of Automotive Engineers Conf.*, Daejeon, South Korea, 2011, pp. 1699-1702.
- [10] M. Lee, J. Han, C. Jang, and M. Sunwoo, "Information Fusion of Cameras and Laser Radars for Perception Systems of Autonomous Vehicles," *J. of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 1, 2013, pp. 35-45.

## 저자 소개



### 안영선(Young-Sun Ann)

2015년 계명대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2017년 계명대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사)

2017년~현재 대구경북과학기술원 연구원

※ 관심분야 : 자율주행자동차, 비전, 영상처리, 임베디드 시스템



### 곽성우(Seong-Woo Kwak)

1993년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학사)

1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)

2000년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사)

2000년~2003년 인공위성연구센터 선임연구원

2003년~현재 계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 실시간 시스템, 비동기 시스템 설계, 내고장성 시스템 설계, 자율주행자동차