오픈소스 하드웨어 기반 차선검출 기술에 대한 연구

(Lane Detection based Open-Source Hardware according to Change Lane Conditions)

김재상*, 문해민**, 반성범***

(Jae Sang Kim, Hae Min Moon, Sung Bum Pan)

요 약

최근 자동차 산업은 IT 기술을 접목하여 운전자에게 편의를 제공하기 위한 운전자 보조 시스템에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 차선 이탈 방지 및 자율 주행에 적용 가능한 도로상태 변화에 강인한 차선 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 Otsu 임계값 결정 방법과 가우시안 필터와 에지를 통한 후보 영역 검출 방법을 이용한다. 또한, 허프 변환을 통한 차선의 기울기와 폭 정보를 이용하여 차선을 검출한다. 실선뿐만 아니라 점선 차선 검출을 위해 기존에 검출된 차선 정보를 이용하여 다음 프레임에서 차선이 위치할 경로를 계산해 가상의 차선을 그려주는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 실선과 점선 상황에서 차선 검출이 모두 가능했고 오픈소스 하드웨어인 라즈베리 파이 2에 적용할 경우 실시간 처리가 가능함을 확인했다.

■ 중심어 : 차선 검출 ; 자율 주행 ; 오픈소스 하드웨어 ; 라즈베리 파이 2

Abstract

Recently, the automotive industry has been studied about driver assistance systems for helping drivers to drive their cars easily by integrating them with the IT technology. This study suggests a method of detecting lanes, robust to road condition changes and applicable to lane departure warning and autonomous vehicles mode. The proposed method uses the method of detecting candidate areas by using the Gaussian filter and by determining the Otsu threshold value and edge. Moreover, the proposed method uses lane gradient and width information through the Hough transform to detect lanes. The method uses road lane information detected before to detect dashed lines as well as solid lines, calculates routes in which the lanes will be located in the next frame to draw virtual lanes. The proposed algorithm was identified to be able to detect lanes in both dashed- and solid-line situations, and implement real-time processing where applied to Raspberry Pi 2 which is open source hardware.

■ keywords : Lane Detection ; Autonomous Vehicles ; Self-Open-Source Hardware ; Raspberry Pi 2

Ⅰ. 서 론

최근 자동차 탑승자의 편안하고 안전한 주행을 위해서 자동차를 구성하는 상당 부분의 기계적인 시스템들이 컴퓨터와 전기, 전자 시스템으로 바뀌고 있다[1]. 이와 같은 자동차 핵심 시스템들의 발전에 따라 자동차는 과거 단순한 수송수단에서 IT 기술을 접목하여 각종 정보를 전달하고 처리할 수 있는 지능형 자동차로 진화하고 있다. 또한 이를 위한 운전자 보조 시스템에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 대표적인 응용으로 차선이탈 경보, 전방 추돌 경보, 사용자의 운전 패턴 분석을 통한 졸음운전 감지 등이 있다. 그중 차선 인식은 운전자가 주행 중 차선이탈과 같은 위험한 상황을 인지하지 못할 경우 차선이탈 경고시스템을 통해 차선이탈 여부에 대해 경고를 하며 나아가서는 능동적으로 차선을 유지할 수도 있다. 또한 다른 차량의 위치와 장애물에 대한 정보를 제공하여 장애물 회피 시스템에서도 이용될 수 있다. 이러한 차선이탈 시 차선감지기술의 경우 다양한 방법이 연구되고 있다. 먼저 차량에 장착된 다수의 Radar를 통해 전방의 차선을 센싱하여 차선을 효과적으로 인식하는 방법이 있다[2][3]. 하지만 이러한 방법의 경우에는 주로

* 일반회원, 조선대학교 소프트웨어융합공학과
** 일반회원, 조선대학교 제어계측로봇공학과
*** 정회원, 조선대학교 전자공학과
이 논문은 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(2015H1C1A1035823)의 지원을 받아 연구되었음

접수일자 : 2016년 09월 24일 게재확정일 : 2012년 09월 25일
수정일자 : 1차 2017년 03월 13일, 2차 2012년 08월 09일
교신저자 : 반성범 e-mail : sbpan@chosun.ac.kr

고비용의 센서가 고급 차량에서만 장착되어 상용화가 되는 단점을 가지고 있다. 또한, 블랙박스 또는 차량 전방의 카메라를 통해 경계를 인식하는 방법이 있다[4].

차선 검출 알고리즘은 신뢰성을 위해 몇 가지 요구조건을 만족시켜야 하는데, 먼저 차선에 생기는 그림자에 영향을 받지 말아야 하고, 차선 검출은 직선 도로와 굴곡이 있는 도로 모두를 검출할 수 있어야 하고, 평행하고 연속인 차선, 불연속인 차선, 교차하는 차선 등 차선의 형태에 관련 없이 차선을 추출할 수 있어야 한다[5]. 최근의 차선 검출 알고리즘의 연구에서는 특징값을 이용하여 차선을 검출하는 방법의 경우 차선이 한정된 색상이나 형태를 가진다고 가정하고 색상, 경계선, 텍스쳐를 이용하여 차선을 검출한다. 이러한 방법들의 경우 간단한 알고리즘을 사용하기 때문에 낮은 복잡도를 가지나, 그림자가 발생하거나 비로 인한 도로 환경 변화가 발생하는 경우 적용이 어려운 문제가 있다. 또한, 지능형 자동차를 기반으로 IT 기술을 통해 차량의 전자장치들이 고성능화, 소형화, 임베디드화로 발전하고 있다. 이는 전자장치들이 차량에서 차지하는 공간 및 무게를 줄이고, 안전하고 편리한 동시에 친환경적인 자동차 요구에 따른 것이다. 자동차 전자장치뿐만 아니라 다양한 전자장치를 작은 크기와 저렴한 비용을 고려한 오픈소스 하드웨어에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 오픈소스 하드웨어를 기반으로 차선의 손실 및 노후로 인한 도로 환경변화에 강인한 차선 검출 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 Otsu 임계값 결정 기법 및 가우시안 필터와 에지를 통해 후보 영역을 추출한다. 추출된 후보영역을 기준으로 허프 변환을 이용하여 직선을 추출하고, 차선의 기울기와, 폭 정보를 이용하여 실선 차선을 검출한다. 실선을 제외한 손실된 점선의 경우 기존에 검출된 차선 정보를 이용하여 다음 프레임에서 차선이 위치할 경로를 예측하고, 이 경로를 기준으로 가상의 차선을 생성해 차선을 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 실선과 점선에서 95.85% 검출률을 나타냈고 라즈베리 파이 2에서 동작할 경우 0.0365(sec/frame)로 실시간 처리가 가능함을 확인했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 제안하는 시스템의 차선 후보 영역을 검출하는 방법에 대해 기술한다. 3장에서는 다양한 상태의 차선 검출 방법 및 차선 이탈 경고 방법에 대해 자세히 기술한다. 4장에서는 제안하는 방법과 기존 방법의 성능을 비교하고 5장은 결론에 대해 기술한다.

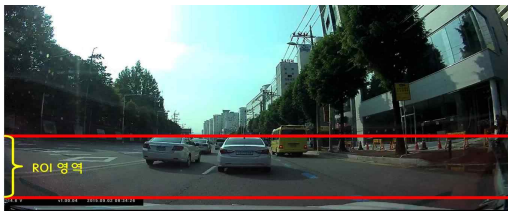
Ⅱ. 차선 후보 영역 검출

1. 차선 후보 영역 설정

도로에서 복잡한 주변 환경은 차선 인식에서 잡음으로 작용하므로 관심 영역의 결정은 차선인식에서 매우 중요하다. 입력 영상을 처리하기 전에 관심 영역을 분리하면 연산 시간을 줄이면서 인식 성능도 높일 수 있다[6]. 그림 1(b)는 입력 영상 그림 1(a)에서 관심 영역을 제외한 영역으로 차량의 내부나 건물, 나무 등으로 구성되어 도로에 관련된 정보를 전혀 제공하지 않음을 알 수 있다. 따라서 이러한 영역이 포함되면 연산 시간이 늘어날 뿐 아니라 잡음으로 작용하여 연산 결과의 정확성도 떨어뜨린다. 관심 영역을 찾을 때 그 위치를 고정하여 사용하는 방식은 별도의 연산 과정이 필요하지 않고 간단하여 널리 사용된다. 즉 차량의 카메라가 일반적으로 앞 유리창의 가운데 윗부분에 고정되어 설치되어 있는 것을 이용하여 그림 1(c)와 같이 입력 영상의 일정한 영역을 고정적으로 정하는 방식으로 불필요한 영역을 제거하여 가운데 아랫부분의 영역이 남는다.

(a) 입력영상

(b) 불필요 영역



(c) 고정 관심 영역

그림 1. 관심 영역 설정

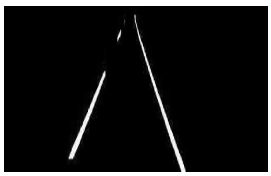
2. 차선 필터링 및 경계선 검출

차선 경계 검출을 위해 입력 영상에 대해 전처리 과정을 거친 뒤 외곽선을 추출한다. 먼저 영상의 외곽선 검출을 위해 RGB 이미지를 그레이 변환한다. 이는 일반적으로 차선 경계선을 찾을 경우 배경보다 밝은 색을 인식하여 처리하므로 색채는 필요 없기 때문이다. 무채색 영상은 다시 이진화 영상으로 변환하는데 이 때 임계값에 따라 결과가 큰 차이를 보인다. 임계값은 날씨와 도로상태, 시간대 등에 따라 달라지는데 상수값을 쓰게 되

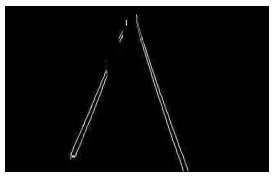
(a) 입력영상

(b) 그레이 변환 영상

(c) 가우시안 필터 적용 영상



(d) 이진화 변환 영상



(e) Canny 에지 적용 영상

그림 2. 제안하는 시스템의 차선 검출 과정

면 좋은 결과를 얻기 어렵다. 본 알고리즘에서는 Otsu 임계값 결정 방식을 적용하도록 하였다. Otsu 임계값 결정 방식은 상대적으로 연산량이 많기는 하지만 임계값 결정 단계가 다른 연산 단계에 비해 단순하므로 전체 연산 시간에는 큰 영향을 미치지 않는다. 제안한 방식을 이용하면 임계값이 영상에 따라 적절한 값으로 변하므로 영상의 상태에 따른 영향을 최소화할 수 있다. 또한 이 단계에서 그늘이나 가드레일 등에 의한 영향도 최소화할 수 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 직선 추출 방식 중 가장 좋은 방식의 하나로 알려져 있는 Canny 가장자리 탐지 방법을 이용하여 에지를 추출한다[7]. 차선 이외의 부분들이 차선으로 검출되는 오검출률을 낮추기 위해 가우시안 필터를 통해 노이즈를 제거하였다.

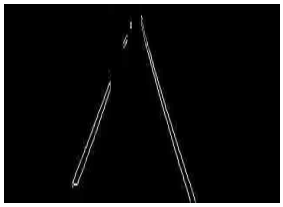
Ⅲ. 차선 검출 및 차선 이탈 경고 알림

1. 허프 변환을 이용한 차선 검출

차선의 위치는 허프 변환을 이용하여 차선 경계선을 직선에 맞추어 결정한다. 차선 경계선의 직선의 식은 다음과 같이 결정되고 θ와 ρ는 직선 모델에 맞도록 결정된다[8].

$$xcos\theta + ysin\theta = \rho \quad (1)$$

차선 검출을 위하여 입력 영상을 그림 4와 같이 나누며, 나눠진 영역 별로 허프 변환을 이용하여 직선을 검출한다. 본 알고



(a) 차선 후보 영역 검출 결과 b) 허프 변환 적용 결과

그림 3 차선 검출 결과

리즘에서는 평균값을 구해 차선의 안쪽과 바깥쪽 가장자리에 있는 가장 강한 선을 선택하였다. 영상에서 차선은 평행한 두 직선이 소실점에서 만난다는 가정을 이용하여, 검출된 직선들이 공통적으로 만나는 소실점을 판단한다. 이후 판단된 소실점을 기준으로 차선이 되는 직선들을 초기 차선으로 가정한다. 그림 3(a)와 같이 초기 검출된 직선 형태의 차선에 허프 변환 알고리즘을 적용한 결과는 그림 3(b)와 같다.

2. 차선 이탈 경고 알림

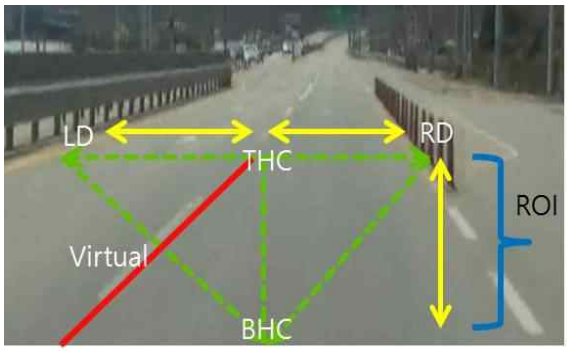
차량내의 동일한 카메라 위치에서 획득한 전방 도로 영상은 일정한 위치에서 좌, 우 차선간의 거리, 차선의 두께 등은 항상 일정하다. 차량이 좌측 차선을 이탈할 때와 우측 차선을 이탈할 때의 범위를 획득한 영상으로부터 찾으면 차선이탈 범위를 설정할 수 있다. 차량이 좌측으로 이동할 때 전방 촬영 영상의 차선은 우측으로 이동하게 되며 반대로 차량이 우측으로 이동할 때 전방 촬영 영상의 차선은 좌측으로 이동하게 된다[9]. 이는 그림 4에서 보이는 바와 같이 차선의 기울기가 바뀐다는 것을 알 수 있다. 여러 차례 실험을 통해 차량의 좌측 차

(a) 정방향 주행일 경우 차선의 기울기

(b) 우측으로 차선을 변경할 경우 차선의 기울기

그림 4. 주행 방향별 차선의 기울기 변화

(a) 차선이 흐릿한 영상



(b) 가상 차선 계산

그림 5. 차선 검출을 위한 가상의 차선의 예

선과 우측 차선의 차선이탈 경고 시점의 위치를 찾고 차선이탈 범위를 설정한다.

3. 가상의 차선 검출 방법

실제 도로의 경우 페인트가 흐리거나 손실이 빈번히 발생한다. 기존의 방법들의 경우 인식하지 못하는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존에 검출된 차선 정보를 기준으로 다음 프레임에서 차선 후보 영역을 검출할 때 가상의 선을 그려주는 방법을 제시한다. 그림 5(a)는 좌측 차선이 흐릿한 경우로 좌측 차선에 가상의 차선을 구하기 위한 방법이다. 먼저 ROI의 중앙인 윗부분(Top High Center, THC)과 아랫부분(Bottom High Center, BHC)을 좌표 값을 구한다. THC 좌표값을 기준으로 좌측 끝 차선(Left Distance, LD)과 오른쪽 끝 차선(Right Distance, RD)의 거리를 구한다. 이와 함께 LD와 RD에서 BHC까지 거리를 구하여 역삼각형을 만든다. 그림 5(b)와 같이 2개의 삼각형이 만들어지게 되고 THC 기준으로 차선의 기울기 정보를 참고하여 좌측의 가상의 차선을 그린다.

IV. 실험 결과

실험에 사용한 영상은 자동차에 블랙박스를 장착하고 주행하면서 획득한 영상으로 평균 24fps 640x480 해상도로 촬영된 영상을 사용하였다. 실험에 사용된 하드웨어는 오픈소스 하드웨어 플랫폼인 라즈베리 파이2로 CPU 900MHZ, 1GB RAM, 라즈베리 파이 전용 운영체제 라즈비안 환경에서 OpneCV를 포팅하여 실험을 진행하였다. 표 1은 차선 검출 실험 결과이다. 실험 데이터는 모두 실제 주행 환경에서 촬영된 영상으로 1데이터 셋의 시간은 60초로 구성된다. 실험영상은 실선 도로, 점선 도로, 곡선 도로 등을 포함한 시내와 고속화 도로며 비가 오지 않은 맑은 날에 촬영되었다.

표 1. 차선 검출 실험 결과

Data Set	Total Frames	True detection	False detection	Detection Rate(%)
Set1	1,460	1,388	72	95.06
Set2	1,460	1,406	54	96.30
Set3	1,460	1,399	61	95.82
Set4	1,460	1,392	68	95.34
Set5	1,460	1,405	55	96.23
Set6	1,460	1,410	50	96.57
Set7	1,460	1,385	75	94.86
Set8	1,460	1,398	62	95.75
Set9	1,460	1,412	48	96.71
Set10	1,460	1,401	59	95.95
성능				**95.85**

차선이탈 경고 알림은 좌, 우 차선 간의 거리, 차선의 두께 등은 항상 일정하며 차량이 차선을 변경할 때 차선의 기울기가 변하는 정보를 이용하여 차선이탈을 판단하였다. 본 실험에서는 차선이탈 판단 기준으로 좌측 차선은 40~70로 우측 차선은 130~160로 설정하였다.

본 논문에서는 기존의 알고리즘과의 성능 비교를 위하여 이수영[10]이 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 실험에 사용된 라즈베리 파이에 시뮬레이션을 진행하였고 이를 표 2에 나타내었다. 처리시간의 경우 이수영은 0.0799(sec/frame), 본 논문에서 제안하는 방법으로 0.0599(sec/frame), 약 1.3배가 차이가 났다. 즉, 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 처리시간이 빠른 것을 확인하였다.

이수영은 명암성분을 이용해 이진화하여 차선을 검출하는 것으로 어두운 환경에서 제안한 방법보다 검출률이 떨어지는 것을 확인하였다. 그림 6은 터널 내의 어두운 환경에서의 실험 영상이다.

(a) 기존 방법

(b) 제안한 방법

그림 6. 기존 연구와의 비교

표 2. 차선 검출 기술의 성능 비교

		이수영[10]	제안한 방법
처리시간(sec/frame)		0.0799	0.0599
차선 상태	실선	O	O
	점선	X	O
성능		91.95%	**95.85%**

표 3. 라즈베리 파이와 PC 성능 비교

비교내용		PC	라즈베리파이 2
CPU		Intel Core-i5 2.67GHz	ARM A7 900MHz
RAM		4GB	1GB
운영체제		Windows7	Raspbian
CPU 사용	최소	22%	26%
	최대	25%	29%
처리시간 (sec/frame)		0.0120	0.0365

표 3은 실험에 사용된 하드웨어의 성능을 비교하기 위해 PC와 라즈베리파이 2의 성능 비교를 나타내었다. PC는 Intel Core-i5 2.67GHz의 CPU와 4GB의 RAM이 장착된 Windows 7 기반의 PC에서 처리하였다. SW를 실행할 경우 PC의 CPU 순간 사용은 최소 22%, 최대 25%, 라즈베리 파이 2의 경우 최소 26%, 최대 29%로 확인하였다. 처리시간은 PC의 경우 0.0120(sec/frame), 라즈베리파이 2의 경우 0.0365(sec/frame)로 PC가 라즈베리파이 2보다 약 3배 정도의 빠른 처리시간을 보였다. 라즈베리파이는 PC에 비해 제한된 메모리와 하드웨어 사양을 갖고 있지만, 휴대성과 비용을 비교해 볼 때 충분히 차량 전자장치의 소형화, 임베디드화 할 수 있는 최적의 조건이라고 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 도로 상태에 강인한 차선 검출 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 Otsu 임계값 결정 방법과 가우시안 필터를 적용하여 노이즈를 제거하였다. Canny 에지검출을 통해 차선 후보영역을 추출하여 허프 변환과 차선의 기울기 정보를 이용하여 차선 검출과 차선이탈시 운전자에게 경고를 알리는 차선이탈 시스템을 구현하였다. 노후화된 차선, 손실된 차선의 경우 기존 검출된 차선 정보와 가상의 차선을 이용하여 손실된 차선을 검출하였다. 실험 결과 제안하는 방법은 실선과 점선으로 이루어진 도로에서 평균 95.8% 검출률을 나타내었으며, 라즈베리 파이 2 환경에서 초당 약 28프레임을 처리함으로써 실시간 처리가 가능함도 확인했다.

향후에는 노후화에 의한 점선 차선의 검출률 향상을 위해 차선 예측 정보를 이용하여 정확도를 향상 시킬 계획이다.

REFERENCES

[1] D.H. Jung , “Trends of Intelligent Vehicles and Future Vehicle Technology Development Project,” *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers,* vol. 28, no. 4, pp. 46-52, Aug. 2006.

[2] Q. Li, L. Chen, M. Li, and S.L. Shaw, “A Seneor-fusion Drivable-region and Lane-detection System for Autonomous Vehicle Navigation in Challenging Road Scenarios,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* vol. 63, issue 2, pp. 520-555, Feb. 2014.

[3] G. Cui, J. Wang, and J. Li, “Robust Multi Lane Detection and Tracking in Urban Scenarios based on LIDAR and Mono-vision,” *IET Image Processing,* vol. 8, issue 5, pp. 269-279, May 2014.

[4] J.H. Bae and J.B. Song, “Monocular Vision based Lane Detection using Segmented Regions from Edge Information,” *Proceedings of the 2011 8th International Conference on Ubiquitous Roborts and Ambient Intelligence,* pp. 499-502, Nov. 2011.

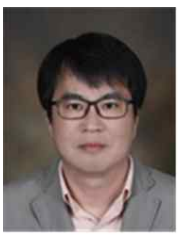
[5] D.R. Kim, H.S. Moon, and Y.D. Kim, “A Study on a Lane Detection and Tracking Algorithm Using

B-Snake," *The Institute of Electronics Engineers of Korea-Signal Processing*, vol. 42, no. 4, pp. 21-30, July 2005.
[6] 김재상, "운전자보조시스템을 위한 오픈소스 하드웨어 기반 차선 및 차량인식에 관한 연구," *조선대학교 산업기술융합대학원 석사학위논문*, 2016.
[7] Q. Lin, Y. Han, and H. Hahn, "Real-time Lane Departure Detection based on Extended Edge-linking Algorithm," *Proceedings of the Second IEEE International Conference on Computer Research and Development*, pp. 725-730, May 2010.
[8] P.M. Daigavane and P.R. Bajai, "Road Lane Detection with Improved Canny Edges using Ant Colony Optimization," *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, pp. 76-80, Nov. 2010.
[9] Y. Jang and C.D Kee, "Lane Detection Algorithm Using the Hough Transform and it's Application," *Proceedings of the The Korean Society Of Automotive Engineers Symposium*, pp. 912-917, Nov. 2002.
[10] T.H. Lee, E.J. Park, and D.H. Choi, "A Single Camera Lane Departure Warning System Using Binary Image," *Proceedings of the Summer Conference of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, pp. 671-674, June 2015.
[11] S.Y Yi, J.H. Ryu, and C.G. Lee, "Development of Embedded Lane Detection Image Processing Algorithm for Car Black Box," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 11, no. 8, pp. 2941-2950, Aug. 2010.

저 자 소 개

김재상(일반회원)
2013년 조선대학교 공학사
2016년 조선대학교 공학석사
<주관심분야 : 오픈소스 하드웨어, 상황인지, 차선인식>

문해민(일반회원)
2009년 조선대학교 공학사
2010년 조선대학교 공학석사
2015년 조선대학교 공학박사
<주관심분야 : 영상압축, 영상처리, 워터마킹>



반성범(정회원)
1999년 서강대학교 공학박사
2005년~현재 조선대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 바이오인식, 영상처리, VLSI 신호처리>