

단일차선추출 및 중심점 분석을 통한 차선이탈검출 알고리즘

배 정 호[†] · 김 수 웅^{**} · 이 해 연^{***} · 이 현 아^{****} · 김 병 만^{***}

요 약

본 논문에서는 차량에 설치된 카메라를 활용하여 차선을 추출하고, 차량이탈을 검출하기 위한 방법에 대해서 논의한다. 하드웨어 기술의 발달로 지능형 자동차에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라서, 카메라를 활용한 차선인식 및 차량이탈검출과 관련하여 다양한 알고리즘들이 제시되었다. 그러나 이들 연구에서는 영상에서 2개의 차선을 모두 찾아야 하기 때문에 처리속도 및 실제 운행환경에서의 다양한 여건으로 인하여 검출률이 떨어진다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 빠른 속도와 높은 검출률을 위해 단일차선을 추출하고, 중심점 분석을 통한 차선이탈검출 알고리즘을 제안한다. 카메라의 기하학적 모델링을 통하여 차선이 존재하는 관심영역을 설정하고, 원본 이미지를 이등분한 후에 허프변환(Hough Transform)을 사용하여 한 차선의 일부를 찾아낸 후에, 일정 크기로 복원한다. 복원한 차선을 설정된 중심점과의 거리계산을 통하여 차선이탈을 판단한다. 실차실험을 통하여 제안한 알고리즘을 기존의 알고리즘과 비교 검증을 수행하였고, 이를 통하여 제안된 알고리즘이 빠르고 정확함을 보였다.

키워드 : 차선추출, 차선이탈검출, 단일차선, 허프변환

Lane Departure Warning Algorithm Through Single Lane Extraction and Center Point Analysis

Jung-Ho Bae[†] · Soo-Woong Kim^{**} · Hae-Yeoun Lee^{***} · Hyun Ah Lee^{****} · Byeong Man Kim^{***}

ABSTRACT

Lane extraction and lane departure warning algorithms using the image sensor attached in the vehicle are addressed. With the research about intelligent automobile, there have been many algorithms about lane recognition and lane departure warning system. However, since these algorithms require to detect 2 lanes, the high time complexity and the low recognition rate under various driving circumstances are critical problems. In this paper, we present a lane departure warning algorithm using single lane extraction and center point analysis that achieves the fast processing time and high detection rate. From the geometry between camera and objects, the region of interest (ROI) is determined and splitted into two parts. Hough transform detects the part of the lane. After the detected lane is restored to have a pre-determined size, lane departure is estimated by calculating the distance from the center point. On real driving environments, the presented algorithm is compared with previous algorithms. Experiment results support that the presented algorithm is fast and accurate.

Keywords : Lane Extraction, Lane Departure Warning, Single-lane, Hough Transform

1. 서 론

2008년 2월 현재 등록된 자동차의 수만 1600만대가 넘었고, 이에 비례하여 한해 발생하는 자동차 사고율도 늘어나고 있다. 또한 차량의 가격상승 및 고급화로 인한 물질적 피해도 지속적으로 증가하고 있다. 최근 컴퓨터 하드웨어 성능의 발달로 컴퓨터비전 및 영상처리 기술이 급속히 발달

하였고, 고해상도의 영상 데이터를 분석 할 수 있을 뿐 아니라, 실시간 동영상 처리까지 가능해졌다. 따라서 컴퓨터비전을 자동차에 응용하여 사고율을 줄이고자 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히나 21세기 첨단 산업과 맞물려 지능형 자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중이고, 본 논문에서는 지능형 자동차의 일부 기능이라고 할 수 있는 차선추출 및 차선이탈 알고리즘에 초점을 맞추었다.

지능형 자동차에서만 아니라, 일반 차량에서도 영상처리에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근 차량용 블랙박스 제품이 출시되고 있는데, 이는 충돌감지 센서와 이미지 센서들을 사용하여 사고 발생시, 전후 영상을 저장하는 것이다. 이를 이용하여 과실을 판단하는 증거자료로 활용할 수 있다. 최근 차량용 블랙박스 제품의 수요가 높아짐에 따라, 여러

[†] 정 회 원 : SK C&C

^{**} 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 석사과정

^{***} 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수

^{****} 종신회원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 2008년 8월 14일

수정일 : 1차 2008년 11월 17일, 2차 2008년 12월 11일

심사완료 : 2008년 12월 12일

기업에서 차선이탈검출 및 경보와 같은 안전에 관련된 기능을 추가하여, 기존제품을 향상하기 위한 노력을 하고 있다. 우리나라의 도로는 매우 잘 포장되어 있어서, 자동차의 주행 속도가 매우 빠르다. 지능형 자동차가 실생활에 적용되기 위해서는, 빠른 주행 속도에도 성능의 저하 없이 정확한 연산의 처리가 가능해야 한다. 이를 위해서는 하드웨어의 발전과 동시에 소프트웨어 알고리즘의 최적화가 필요하다.

국내외에서 차선인식과 관련하여 많은 연구들이 진행되고 있다. 차선인식에 많이 사용되는 기법으로는 허프변환을 이용하는 방법^[1-4], 히스토그램을 이용하는 방법^[5], 에지 연결 정보를 이용하는 방법^[6,7], B-Snake를 이용하는 방법^[8], 차선의 밝기값 및 기하학적 모델을 이용한 방법^[9] 등이 있다. 하지만 이러한 방법들은 많은 영역을 탐색함으로써, 시간을 소비한다는 가장 큰 문제를 가지고 있다. 특히 전방의 차량이 차선을 방해하거나, 소방도로와 같이 중앙선만 있거나, 도로변 주차로 인해 한쪽 차선이 보이지 않는 경우에는 차선 검출률이 많이 떨어진다는 문제점이 존재한다. 2장에서는 이들 방법들에 대해 설명하고 장단점에 대하여 분석한다.

본 논문에서는 이들 문제점들을 극복하는 단일차선추출 및 이에 대한 중심점 분석을 통한 차선이탈검출 알고리즘에 대하여 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 카메라와 대상물의 기하학적인 모델링을 통하여 차선이 나타날 확률이 높은 곳만 관심영역으로 설정하여 탐색한다. 그 후에, 허프변환을 이용하여 확률적으로 우세한 차선의 부분을 찾아내고, 설정된 중심점과 차선의 기하학적인 해석을 통하여 차선이탈경보를 한다^[10,11]. 제안하는 알고리즘은 관심영역을 설정하고, 단일 차선만 사용하기 때문에, 기존의 연구들보다 처리 속도가 빠르며, 실제 차량운행환경에서 나타나는 많은 방해물에 대해서도 강인함을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 차선인식과 차선이탈검출 알고리즘에 대한 기존연구를 설명하고, 3장에서 제안하는 차선추출 및 차선이탈검출 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 기존의 알고리즘과 실험을 통하여 비교분석하였고, 마지막으로 5장에서는 결론과 향후연구에 대해 기술하였다.

2. 관련연구

2.1 허프변환을 통한 차선인식

컴퓨터비전 및 영상처리 분야에서 허프변환은 영상에 존

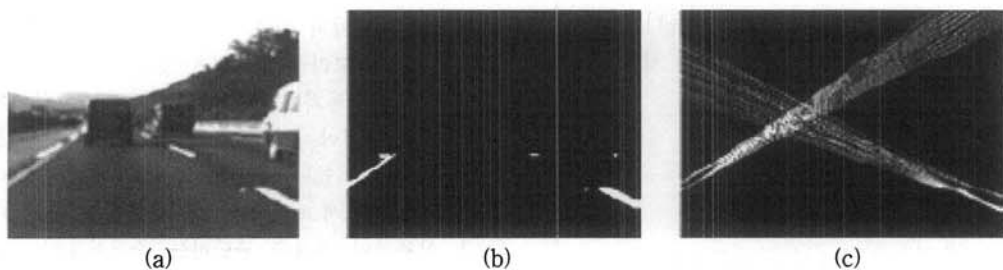
재하는 다항식으로 모델링 가능한 물체를 찾아내는 방법으로, 흐릿한 영상에도 좋은 결과를 얻어내며 잡음에 강인한 특성을 갖는다. 이와 같은 허프변환을 이용하여 직선을 찾아내는 방식을 활용한 차선인식 알고리즘은 차선검출 연구에서 보편적으로 사용되는 방법이다^[1-4].

일반적으로 허프변환을 이용한 차선검출 과정은 다음의 과정을 거친다. 먼저 도로영상에서 차선이 도로영역과는 확연히 구분되는 명암도 값을 가지고 있다는 것을 이용해 평균값을 이용한 반복적인 이진화를 수행한다. (그림 1b)와 같은 이진화 영상에서 차선을 검출하기 위해 소벨 연산자를 이용한 에지를 추출하고 허프변환 계산량의 간소화를 위해 세선화를 수행한다. 그 다음으로 허프변환을 통하여 픽셀도메인을 (그림 1c)에 나타난 것과 같이 파라미터 도메인으로 변환을 수행하면 차선이 존재하는 좌표 근처에 여러 개의 직선 후보점들이 존재하게 되는데, 누적된 직선 후보점들의 픽셀들을 합산하여 그 중 최대값을 검출함으로써, 픽셀도메인상에 존재하는 하나의 직선을 선택하여 차선으로 인식하게 된다.

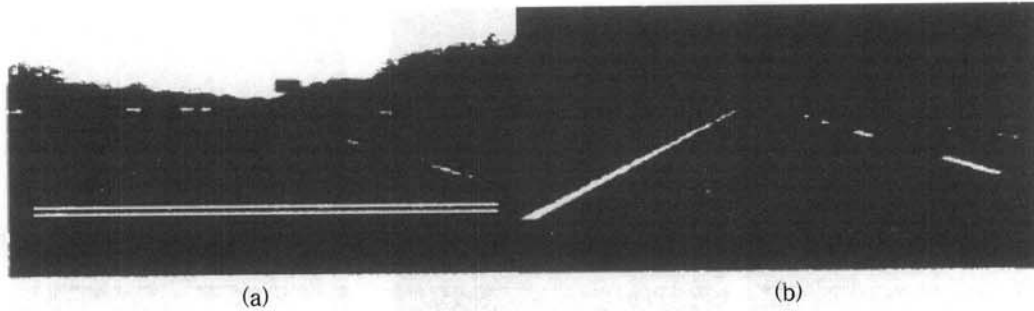
상기 과정에 나타난 것과 같이 허프변환을 이용한 차선검출은 다른 방법들에 비해 간단하지만, 픽셀도메인에 존재하는 직선상의 각 픽셀에 대해 파라미터 평면에 각각의 궤적을 그리는 과정으로 인하여, 픽셀 수가 그 수가 증가하면 처리시간이 크게 증가한다는 단점이 존재하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Jung and Kelber는 에지분포함수를 이용해 차선경계의 방향을 검출하고, 이를 허프변환의 파라미터로 사용하였다^[3]. 관심 영역은 이전 영상에서 검출된 도로를 기준으로 설정하였다. 이 방법은 기존의 단순 허프변환을 사용한 방법들보다 성능이 우수하나, 두 개의 차선을 검출해야 하므로 차량과 가까이 접근하거나, 그림자에 의해 왜곡이 발생하기 쉽다는 문제점을 가지고 있고, 관심 영역이 이전 영상에 의존적이므로, 이전 영상에서 발생한 오차가 전파될 수 있다.

2.2 히스토그램을 통한 차선인식

히스토그램을 이용한 차선 검출에서는 도로영상에서 차선을 감지하기 위해 그레이 레벨에 대한 히스토그램을 계산하여 사용한다^[5]. 먼저 (그림 2a)와 같이 도로영상에서 좁은 수평의 밴드를 구성한 뒤, 영상을 아래에서 위로 탐색하며, 각 탐색 단계마다 해당 밴드의 히스토그램을 계산하여 최대값으로 thresholding 한다. 이렇게 thresholding된 밴드들을



(그림 1) (a) 원영상, (b) 이진화된 도로영상, 및 (c) 추출된 차선 후보



(그림 2) (a) 원본영상과 설정된 밴드 모습, (b) thresholding과 merging 후 영상

결합하여 구성된 결과는 (그림 2b)와 같으며, 이진영상은 차선의 대부분과 그 밖의 다른 객체들도 포함하게 된다.

다음 과정에서는 히스토그램을 기반으로 분할된 이진영상에서 물체의 각 픽셀들의 소멸점과 형성하는 평균각, 중심, 물체의 크기, 물체의 최대폭과 최대값이 위치한 y좌표 등 여러가지 정보들을 이용하여 특징들을 추출한다. 추출된 특징들은 결정트리에 의해 보다 명확히 분류되어, 도로와 차선과의 관계를 분석하는 과정을 거쳐 최종적으로 남은 후보들을 차선으로 검출하는 방법이다. 비록 이 방법은 다른 방법들보다 적은 계산비용을 갖지만, 실제 도로상에는 전방에 차량이 존재할 때 많은 부분이 차량에 의해 가려지게 되는데 점과 도로 주변 환경에 대해 세심하게 고려하지 못한 부분이 문제점을 발생하게 된다.

2.3 에지 연결 정보를 통한 차선인식

에지 연결 정보를 통한 차선 검출 알고리즘은 클러스터링 방식을 사용한다^[6]. 카메라를 통해 받아들여진 영상정보를 먼저 좌영상과 우영상으로 나눈다. 그리고 소벨 연산을 거쳐서 나온 차선의 에지 픽셀을 이용하여 클러스터링을 한다.

클러스터링의 과정은 먼저, 시작점이 될 에지 픽셀을 선정하고 ID를 지정한 후, 시작점의 주변 에지 픽셀 중에 거리가 2픽셀 이내에 있는 에지 픽셀을 찾아내서 시작점과 같은 ID를 부여한다. ID를 부여받은 각 하위 픽셀은 시작점이 되어 다시 자신의 하위 픽셀을 동일한 방법으로 찾는다. 만약 2픽셀 이내에 에지 픽셀이 존재하지 않는다면, ID가 부여되지 않은 다른 에지 픽셀을 찾아 새로운 ID값을 부여하고 동일한 과정을 다시 반복한다. (그림 3a)와 (그림 3b)에 나타난 것과 같이 클러스터링 작업이 끝나면 각 클러스터들

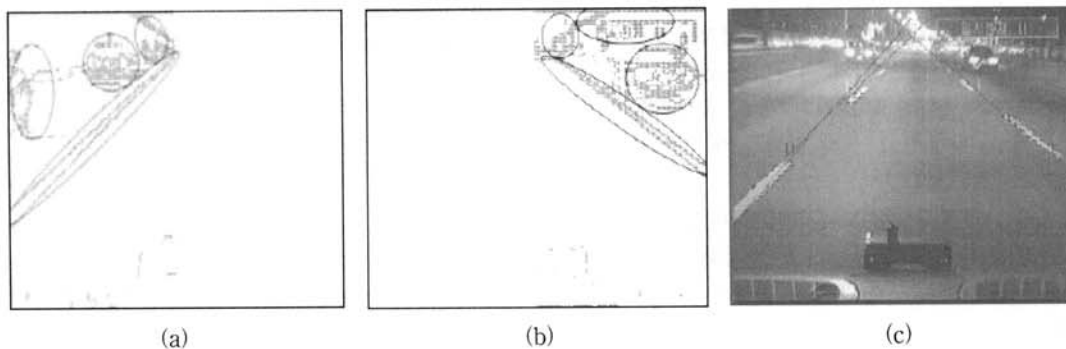
의 최소 및 최대 y값과 그에 대응하는 x좌표 등을 구한다. 두 좌표값을 이용하여 클러스터별로 직선의 방정식을 구해 연장선을 긋는다. 그리고 각 클러스터 사이의 거리를 구하기 위해서 각 클러스터의 직선방정식에 동일한 두 y값을 주고 두 점을 구하여 차선의 폭과의 차이를 구한다. (그림 3c)와 같이 이 차이 값이 최소가 되는 두 클러스터를 차선으로 인식하게 된다.

이 방법은 좌, 우 영상의 차선의 특징을 따로 검출, 클러스터링 하기위해 영상을 절반으로 나누기 때문에 초기에 영상의 분할이 잘못된 경우 계속 잘못 인식될 가능성이 있고, 도로에서 전방차량이 근접해 있을 경우 차선의 많은 부분을 감추기 때문에 영상의 좌우부분을 분할하기위한 중심점을 찾기 위해서도 특수한 방법이 필요하다는 단점이 있다.

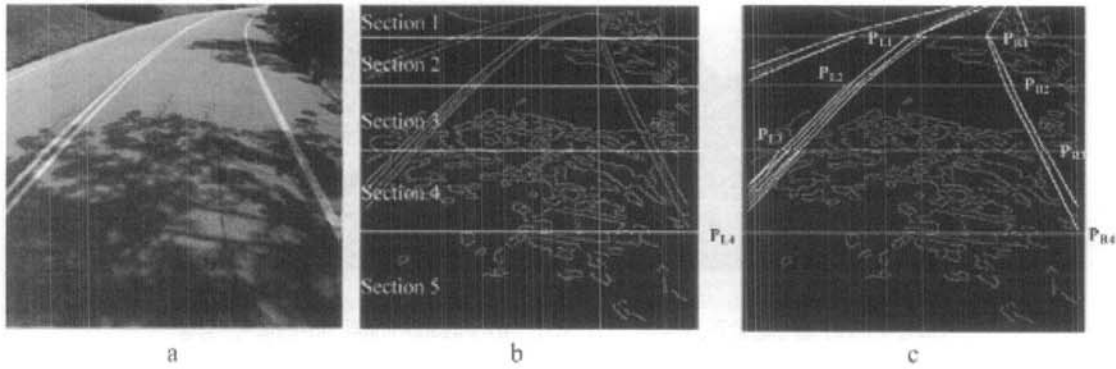
2.4 B-Snake를 이용한 차선인식

차선인식 알고리즘은 크게 특성 기반 기술과 모델 기반 기술로 나눌 수 있다. 특성 기반 기술은 차선 표시가 잘된 도로나, 강한 윤곽선을 가진 도로를 요구하기 때문에 일반적인 도로에는 적용할 수 없는 단점이 있으며, 모델 기반 기술은 잡음과 데이터 손실에는 강하나 특정 형태의 모델에 초점이 맞추어져 있어서 임의의 형태를 갖는 도로에 적용하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Wang *et al.*은 도로 특성에 따른 특징을 추출한 후에, 추출된 특징에 모델을 적용하는 B-Snake 기반 차선검출 알고리즘을 제안하였다^[8].

먼저 영상을 (그림 4b)와 같이 Canny 에지 검출기를 이용하여 도로영상의 윤곽선을 추출하고, 추출한 영상을 수평 영역들로 나눈다. 각 영역에 대해 허프변환을 이용하여 가능한 직선들을 검출하고, 직선의 교차점을 계산하여 소멸점



(그림 3) 좌우측 차선의 클러스터와 직선의 방정식을 이용한 연장선



(그림 4) Wang et al. 방법의 차선검출 과정

을 찾는다. 소멸점을 결정한 후에 이를 활용하여 해당 수평 영역에서의 제어점들(P_{Ln} 과 P_{Rn})을 추출한다 (그림 4c 참고). 이렇게 해당영역에서의 제어점들을 추출한 후에, 제어점을 통과하는 B-Spline 함수를 이용하는 Snake 모델을 적용함으로써 에너지를 최소화하는 곡선을 추출할 수 있고, 이를 차선으로 결정한다. 그러나 Snake를 이용한 알고리즘은 반복적인 수행을 통한 복잡한 계산으로 인하여 처리성능이 저하되어, 실시간성을 만족시키기 어렵다. Wang et al.의 알고리즘은 초당 2 프레임의 처리율을 보이며, 이로 인하여 실제 고속 운행하는 자동차 운행환경에 적용할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

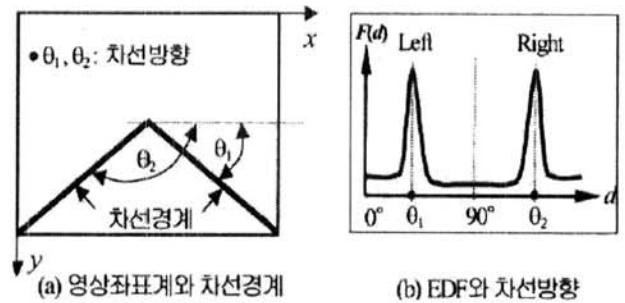
2.5 EDF 기반의 차선이탈경보 알고리즘

에지분포함수(Edge Distribution Function: EDF)를 이용한 차선이탈인식 알고리즘은 차선 내에서의 차량의 주행 위치가 변하면 입력영상에 나타난 좌우차선경계의 기울기도 동시에 변한다는 사실에 의해 이 차선경계의 기울기변화량을 검출하면 차선 이탈가능성을 판단할 수 있다는 것에 바탕을 두고 있다^[11]. 알고리즘을 수행하기 위해 먼저 소벨 연산자를 이용하여 에지를 추출하고, 이렇게 얻어진 에지방향에 대한 1차원의 이산함수로 다음과 같이 EDF를 정의하며 이상적인 EDF는 (그림 5a)와 같은 모습을 가진다.

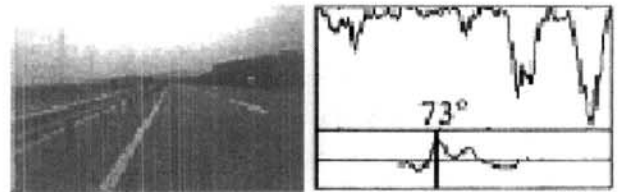
$$EDF(d) = \sum_{n(d)} \nabla f(x,y)$$

여기서 $\nabla f(x,y)$ 는 소벨 연산자를 통해 계산한 magnitude 값이고, $n(d)$ 는 에지방향이 $\tan^{-1}(G_y/G_x)$ 인 에지 픽셀의 개수이다. EDF를 계산하기 위해 1°단위로 양자화된 각도에 맞게 181개의 셀로 구성된 1차원의 파라미터 공간을 생성하고, 이 공간의 모든 셀을 0으로 초기화한 후, 에지픽셀의 방향에 해당되는 셀을 찾아서 그 셀의 현재 값에 고려하고 있는 픽셀의 에지크기를 더해 준다.

EDF가 정의되는 범위 0~180도에서 15도 미만이나 165도 이상에서는 차선이 나타나지 않는다고 가정한 후, 정의된 EDF를 조사하여 대칭축을 구하고 차선 중앙을 정확히 주행할 때의 EDF와의 차이로 이탈량을 구한다. 예를 들어 차량이 차선 중앙을 주행할 때의 대칭축이 90도이고 (그림 6)와



(그림 5) EDF와 차선 방향



(그림 6) 차량의 주행위치에 따른 EDF와 대칭축

같이 차선의 왼쪽으로 기울어져 달릴 때 대칭축은 73도이므로 이탈량은 17도가 된다. 이 이탈량이 실차실험에 의해 구해진 차선이탈계수보다 작다면 차선이탈의 가능성이 낮은 것이고 차선이탈계수보다 높다면 차선이탈의 경우로 간주한다. 본 EDF 역시 양쪽 차선이 모두 추출되어야 한다는 가정을 하고 있으므로, 차선이 차량 등에 의하여 가려진 경우에 차선이탈 인식이 떨어진다는 것을 알 수 있다.

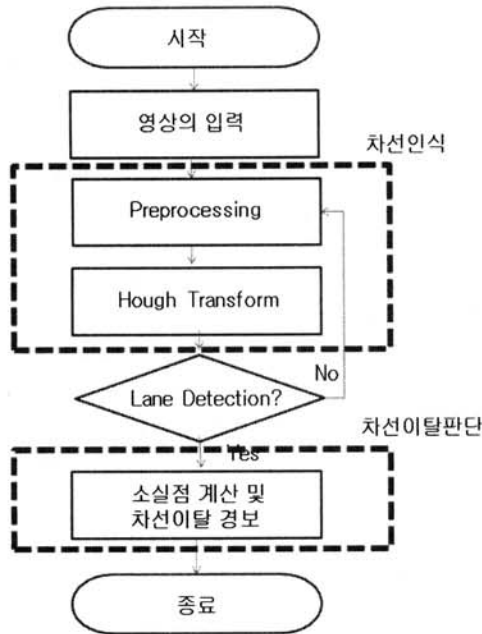
3. 단일차선추출 및 중심점 분석을 통한 차선이탈 검출 알고리즘

본 절에서는 기존 차선인식 방법들에서 문제가 되었던 차선의 일부가 가려진 경우를 극복하고, 처리 속도가 향상된 단일차선추출 및 이를 활용한 차선이탈검출 알고리즘을 제안한다.

차선추출 및 차선이탈검출 알고리즘을 설명하기에 앞서 다음과 같은 가정을 하였다: (1) 도로면은 평면이다, (2) 양쪽 차선은 항상 평행한 직선이다, (3) 카메라는 자동차의 정중앙에 설치되어있고, 자동차는 도로의 정중앙을 달리고 있다,

그리고 (4) 전방 카메라는 도로면에서 약 50cm 높이에서 초점이 15도 정도 아래로 설치되어 있다. 이들 가정은 기존 차선인식 관련 연구들과 유사하다.

(그림 7)은 차선추출 및 차선이탈검출을 위한 알고리즘의 전체적인 흐름도이다. 그림에 나타난 것과 같이 크게 차선추출 과정과 차선이탈검출 과정으로 구성되어 있다. 먼저 CCD 카메라로부터 한 프레임을 읽어온다. 차선추출을 위해 입력받은 프레임에서 좌측 영역과 우측 영역으로 분할된 관심영역을 설정하고, 허프변환을 사용하여 좌측 영역의 차선을 먼저 추출한다. 추출에 성공하면, 차선이탈검출을 수행한다. 차선을 발견하지 못하면 우측 영역에서 차선을 검출하고, 차선이탈검출을 수행한다. 차선이탈검출에서는 미리 설정된 중심점과 차선의 거리를 계산하여 차선이탈을 판단하게 된다. 3.1절에서 차선추출에 대한 내용을 구체적으로 설명하고, 3.2절에서 차선이탈검출과 관련된 내용을 설명한다.



(그림 7) 알고리즘의 전체 흐름도

3.1 단일차선추출

3.1.1 관심영역의 설정

먼저 CCD 카메라로부터 칼라 영상을 읽어서 그레이 영상으로 변환한다. 칼라 영상은 많은 색상정보를 포함하고 있고, 이러한 정보를 활용하면 더욱 효율적인 차선추출 결과를 얻을 수 있으나, 영상처리에 많은 자원을 필요로 하므로 실시간성을 위해서는 비효율적이다.

계산량을 줄이기 위한 관심영역을 설정하기 위해서 영상상에 차선이 존재하는 위치를 추정해야 한다. 기존 연구들에 있어서도 이전 프레임에서 검출된 도로를 활용하거나, 카메라의 기하학적 모델링을 통해 지평선을 계산하여 활용을 하였다^[3,12,13]. 본 연구에서는 차선이 존재하는 영역을 카메라의 위치 및 각도, 차로의 폭과 카메라의 시야각 정보를 활용하여 추정한다. 차선의 경우 <표 1>과 같이 국토해양부

<표 1> 국토해양부 도로설계편람 규정 (단위: m)

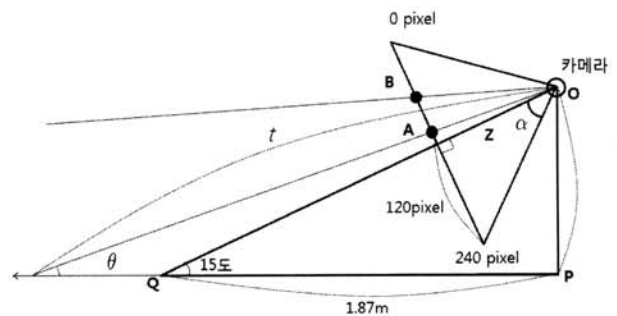
도로의 구분		차로의 최소폭	
		지방지역	도시지역
고속도로		3.50	3.50
일반 도로	설계 도로	80km/h 이상	3.25
		70km/h 이상	3.25
		60km/h 이상	3.00
		60km/h 미만	3.00

의 도로설계편람 규정에 정의되어 있으며, 차선의 최소 폭은 3.00m 임을 알 수가 있다^[14].

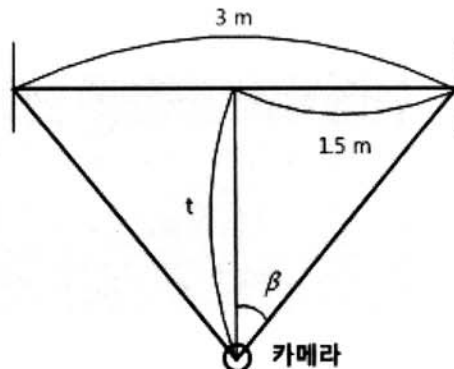
(그림 8)에 나타난 것과 같이 차량에 설치된 카메라의 기하학적인 형상을 가정하자. 카메라는 15도 각도로 0.5m 높이에 설치되어 있고, 촬영된 영상의 크기는 320×240 픽셀이며, 촬영한 카메라의 y 축 시야각을 2α , x 축 시야각을 2β 라고 하자. 이 경우 영상의 y 축 중심선에 해당하는 120 픽셀은 지상거리 $1.87m = 0.5m/\tan(15)$ 에 해당한다.

(그림 9)은 x 축 시야각에서 촬영한 영상의 기하학적인 형상을 표시하였다. 차선의 폭을 3.0m라고 할때 지상점 Q와 카메라 중심점과의 거리를 t라고 하자. t는 $1.5m/\tan\beta$ 에 의하여 계산된다.

(그림 8)과 (그림 9)에서 3.0m 차선 중앙점과 카메라 사이의 거리 t를 계산하여 영상 상의 A 좌표, 거리가 무한대에 해당하는 영상 상의 B의 좌표를 구할 수 있다면 y 축 상에 차선이 존재하는 영역 \overline{AB} 를 구할 수 있다. 만일 차선이 3.0m 이상인 경우 t는 더 큰 값을 갖게 되고, (그림 8)에서 차선이 존재하는 영역 \overline{AB} 의 거리가 더 작아진다.



(그림 8) y 축 시야각에서 카메라 촬영의 기하학적 형상



(그림 9) x 축 시야각에서 카메라로 촬영한 영상의 기하학적 형상

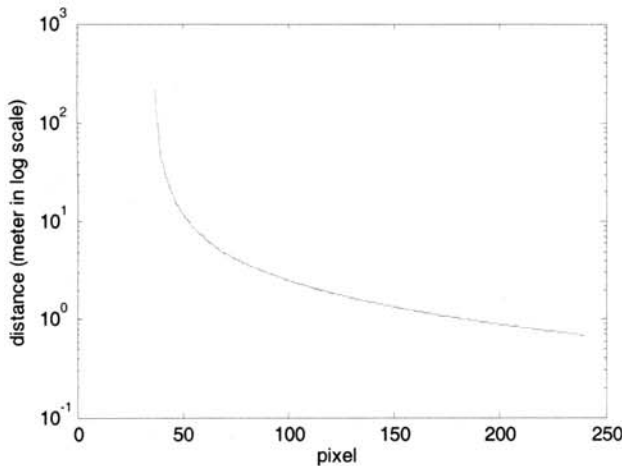
영상 상의 A 좌표를 계산하기 위하여 차선 중앙점과 카메라 사이의 거리가 t 일때 이루는 각 $\theta = \sin^{-1}(0.5/t)$ 을 계산한다. 카메라의 초점거리 \overline{OZ} 는 $120/\tan\alpha$ (단위: 픽셀)에 해당한다. 또한 $\triangle OZA$ 에서 $\angle ZOA$ 는 $(15-\theta)$ 도이다. 이들 식으로부터 영상의 중심에서 차선이 존재하는 A 좌표와의 거리 \overline{AZ} 는 다음과 같이 정의가 되므로, A 좌표의 픽셀 값은 $120-\overline{AZ}$ 를 통하여 계산할 수 있다.

$$\overline{AZ} = \tan(15-\theta) \times \frac{120}{\tan\alpha} \quad (\text{단위: 픽셀})$$

영상 상의 B 좌표는 수평선의 위치를 추정하여 계산한다. 차선은 도로면에 존재하기 때문에 수평선 위로는 나타나지 않는다. 따라서 \overline{OB} 가 \overline{PQ} 와 만나지 않게 되는 점(즉 수평면과의 거리가 무한대가 되도록 만드는 최소값) B를 구하면 된다. 먼저 $\overline{ZB} = k$, $\overline{OZ} = l$ 이라고 할 때 $\angle ZOB$ 는 $\tan^{-1}(k/l)$ 로 정의된다. 따라서 \overline{OB} 가 \overline{PQ} 와의 교점에서 만나게 되는 지상거리 G_{dist} 는 다음과 같이 정의된다.

$$G_{dist} = \tan(\angle ZOB) \times 0.5m$$

본 논문에서 사용한 카메라의 x 축 시야각은 63도, y 축 시야각은 42도이다. α 는 21도, β 는 31.5도로 설정하고 B 픽셀의 위치에 따라 지상거리 G_{dist} 의 변화를 표시하면 (그림 10)



(그림 10) 픽셀 위치 B에 따른 지상거리 G_{dist} 변화 그래프

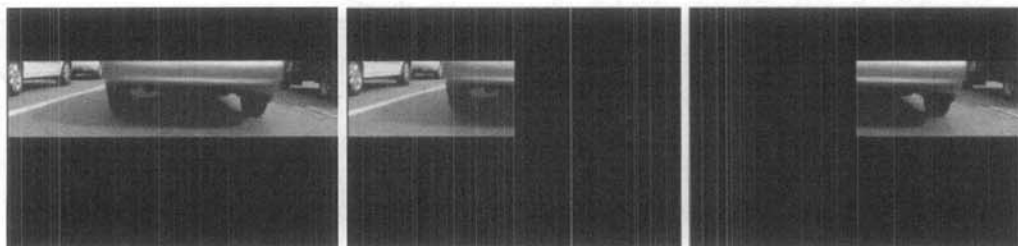
과 같다. 그래프에 보이는 것과 같이 대략 50 픽셀 지점에서 거리가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 50 픽셀 근처에서 수평선의 경계가 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 여러 가지 상황을 고려하여, 계산된 범위보다 크도록 y 축의 관심영역을 [50, 120] 으로 설정하였다. (그림 11a)은 관심영역을 설정하여 계산 영역을 축소시킨 결과이다. 따라서 하나의 차선을 찾기 위해서 모든 영역을 탐색할 필요는 없이 관심영역에 대해서 처리를 수행함으로써 성능을 높일 수 있다. 영상에서의 차선은 각각 양의 기울기와, 음의 기울기를 대칭적으로 가진다. 영상의 중심을 기준으로 분할을 하게 되면 음의 기울기를 가지는 차선은 왼쪽, 양의 기울기를 가지는 차선은 오른쪽으로 나타난다. (그림 11b) 및 (그림 11c)는 분할된 각각의 영상을 보여준다.

3.1.2 단일차선의 추출

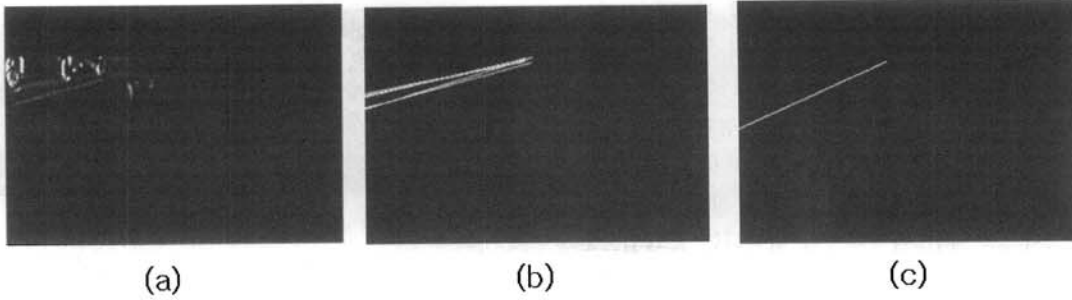
상기의 과정을 통하여 관심영역을 추출하고, 좌우 영상으로 분할을 수행하였다. 이를 통하여 차선을 탐색하기 위한 공간이 감소된 것을 확인하였다 (그림 12 참고). 우리나라 차량들은 우측통행을 원칙으로 한다. 따라서 도로에 주차된 차들이나, 그림자, 기타 물체에 의해서 오른쪽 차선은 방해 받을 가능성이 크다. 상대적으로 왼쪽의 차선은 방해요인이 적다. 따라서 본 알고리즘에서는 차선검출의 확률이 높은 왼쪽 차선을 찾는 과정부터 시작한다.

먼저 차선을 추출하기 위해 다양한 에지 검출 연산자 중에서 대각선 방향으로 강인성을 보이는 소벨 연산자를 이용하여 에지를 검출한다. 이들 에지정보를 사용하여 허프변환을 통하여 차선을 검출하게 된다. 이 과정은 2.1에서 설명한 것과 유사하다. 허프변환은 물체의 위치에 관한 사전지식이 없이도 물체를 찾을 수 있다는 특징을 가지고 있다. 2차원 상에서 직선을 이루는 (x,y) 의 집합은 직선의 방정식 $(y=ax+b)$ 으로 나타낼 수 있다. 이 직선은 $b=-ax+y$ 로 표현되는 파라미터 공간상에 나타낼 수 있다. 따라서 픽셀 공간상의 점들은 파라미터 공간상에서 직선으로 표현되고, 하나의 점에서 중첩될 수 있다. 이 경우 수직선을 표현하려면 기울기 a 가 무한대로 가져가야 하며 구현상의 문제를 가지게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 다음과 같이 (ρ, θ) 의 파라미터 공간으로 표현할 수 있다.

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$$



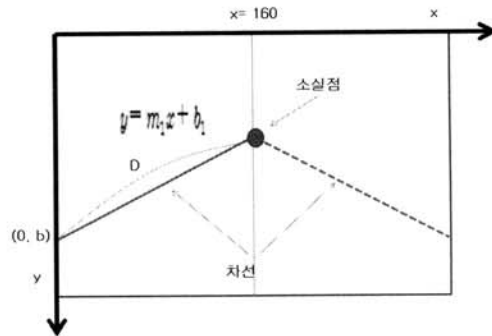
(그림 11) (a) 관심영역, (b) 좌측 분할 영상 및 (c) 우측 분할 영상



(그림 12) (a) 소벨 연산 결과, (b) 허프변환을 통해 검출한 5개의 직선 및 (c) 최소 거리 계산을 통해 추출된 차선

θ 는 $[0, \pi]$ 의 범위를 갖는다. 이와 같은 알고리즘에 의해 영상의 각 픽셀에서 검출된 (ρ, θ) 값은 누적표에 더해지게 된다. 이렇게 누적된 값들 중 최대값을 갖는 $(\rho_{max}, \theta_{max})$ 를 선정하여 역변환하여 직선을 추출 한다.

영상에는 수많은 직선 후보들이 존재하므로 (ρ, θ) 의 쌍은 수없이 많다. 또한 $(\rho_{max}, \theta_{max})$ 는 우리가 구하고자 하는 차선이라는 보장이 없다. 따라서 적당한 횟수 이상 누적된 (ρ, θ) 의 쌍을 구한 다음, 차선을 고르는 작업을 거침으로 이 문제를 해결 할 수 있다. 논문에서는 100회 이상 누적된 (ρ, θ) 쌍을 역변환 하였다. (그림 12)의 예에서는 허프변환을 통하여 총 5개의 직선이 검출되었다. 이 중에서 차선인 것을 하나 선택하는 과정이 필요하므로, 이미지 좌표계에서 관심 영역의 중점(160, 85)으로부터의 거리를 계산해, 거리가 최소인 직선을 차선의 대표로 선택하였다.



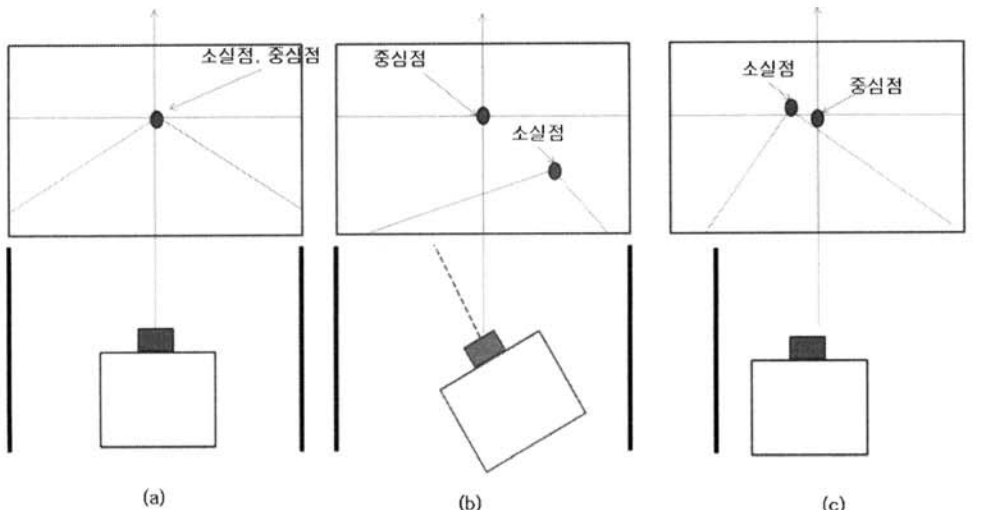
(그림 13) 영상좌표계와 소실점

3.2 단일차선과 중심점의 기하학적인 해석을 통한 차선이탈 판단 알고리즘

소실점은 (그림 13)과 같이 두 차선의 교차점을 말한다. 두 차선이 대칭을 이룬다는 가정에 의해, 한 차선만 구해내면 한 차선 상의 한 점 (x, y) , 즉 기울기 양인 직선에서는 (x_{min}, y) 기울기가 음수인 직선에서는 (x_{max}, y) 에서 x 축 대칭을 통하여 나머지 차선을 구할 수 있다. 결국 (x_{max}, y) 과 (x_{min}, y) 이 같은 점이 소실점이 된다. 차량이 도로를 벗

어나면 이 소실점의 좌표도 바뀌게 된다. (그림 14a)는 차량이 도로의 중앙을 주행 중인 경우를 나타내고, (그림 14b)는 차량의 주행 방향이 왼쪽으로 변경되었을 경우의 소실점 좌표변화를 나타낸다. 그리고 (그림 14c)는 차량의 위치가 도로 한쪽으로 옮겨졌을 경우의 소실점 좌표변화를 나타낸다. 차량 주행 방향의 변화는 카메라의 시선 방향 변화로 나타나며, 이때 소실점이 맺히는 카메라 시선 방향이 차량의 주행 방향과 차선이 이루는 각도와 같게 된다.

하지만 대칭점 (x_{max}, y) 또는 (x_{min}, y) 를 구하는 것은 두 개의 차선을 모두 추출하지 않고는 불가능하다. 제안한 알고리즘에 차선이탈검출은 추출된 단일차선과 설정된 중심점의 기하학적인 해석을 통해 차선이탈을 판단한다. 먼저 (그



(그림 14) 설정된 중심점 및 차량 방향에 따른 소실점 좌표변화

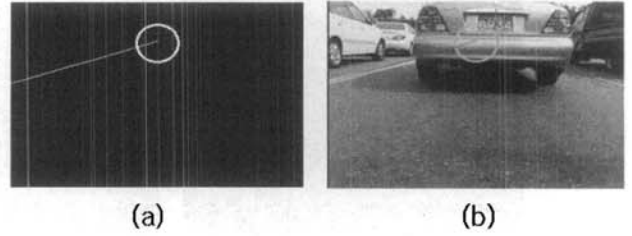
림 13)와 같이 차량이 차선의 중앙을 주행할 때, 즉 카메라가 도로의 중앙에 위치할 때, $y = m_1x + b_1$ 의 직선과 $x = 160$ 직선의 교점이 한 점 (x_1, y_1) 에 맺힌다, 이를 설정된 중심점이라고 하자. 설정된 중심점은 영상의 중심점과는 y 축 값에 있어서 차이가 존재한다. 그리고 $y = m_1x + b_1$ 의 y절편 $(0, b_1)$ 과 (x_1, y_1) 까지의 길이를 D라 하고, 이를 차선이탈검출의 기준으로 삼는다. 그 다음 카메라에서 입력되는 프레임으로부터 차선을 검출한다. 검출한 차선이 $y = m_2x + b_2$ 직선이라면, 이 직선의 y축 절편 $(0, b_2)$ 를 $(0, b_1)$ 로 평행이동하고, 직선의 길이가 D가 되도록 한다. 기울기가 m_2 이고, 점 $(0, b_1)$ 으로부터 길이가 D인 직선을 구하는 방법은 다음과 같다. 기울기 m_2 를 $\theta = \tan(m_2)^{-1}$ 로 변환한다. 이때 θ 는 $y = m_2x + b_2$ 의 직선이 x축과 이루는 각도이다. 점 $(0, b_1)$ 로부터 각도가 θ 이고 D만큼 떨어진 점 (x_2, y_2) 는 다음과 같이 정의된다.

$$x_2 = D\cos\theta, y_2 = b_1 + D\sin\theta \quad (\text{식 1})$$

$(0, b_1)$ 로부터 점 (x_2, y_2) 을 연결한 직선은 거리가 D이다. 설정된 중심점 (x_1, y_1) 과 점 (x_2, y_2) 의 거리를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ &= \sqrt{(D\cos\theta_{\text{검차}} - D\cos\theta_{\text{기준}})^2 + (b_1 + D\sin\theta_{\text{검차}} - b_1 - D\sin\theta_{\text{기준}})^2} \\ &= D\sqrt{(\cos\theta_{\text{검차}} - \cos\theta_{\text{기준}})^2 + (\sin\theta_{\text{검차}} - \sin\theta_{\text{기준}})^2} \quad (\text{식 2}) \end{aligned}$$

(그림 15)와 (식 2)에서 볼 수 있듯이 직선 기울기의 변화량에 따라 설정된 중심점 (x_1, y_1) 과 차선의 끝점인 (x_2, y_2) 의 거리가 커짐을 알 수 있다. 따라서 설정된 중심점으로부터 일정 거리 이상 떨어진다는 것은, 차선이탈의 가능성이 있다고 판단하게 되는 근거가 된다. 따라서 설정된 중심



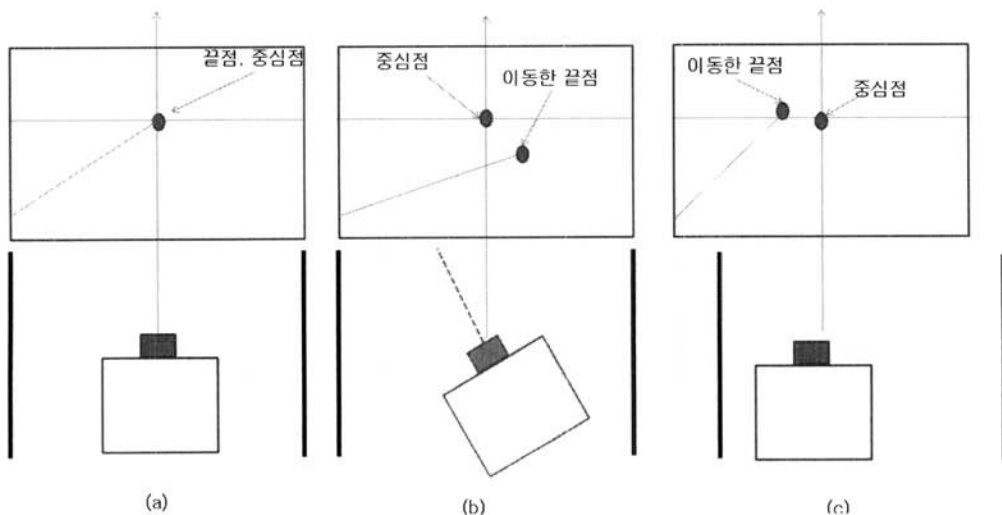
(그림 16) 제안한 차선이탈 알고리즘을 적용한 결과

점으로부터 적절한 거리 R을 정함으로써 차선이탈검출을 할 수 있다. (그림 16)는 제안한 차선이탈 알고리즘을 적용한 것이다.

4. 실험결과 및 분석

제안한 알고리즘의 실차실험을 위해 자가용 차량의 전방에 1대의 카메라를 부착하였다. 사용한 카메라는 로지텍사의 QuickCam-Pro 5000을 사용하였다. 인텔 펜티엄IV의 Laptop 컴퓨터에서 단일차선추출 및 차선이탈검출을 수행하였고, 프로그램은 Visual C++으로 구현하였다. 제안한 알고리즘은 허프변환을 이용한 방법^[2], 히스토그램을 이용한 방법^[5], 및 클러스터링을 이용한 방법^[7]과 비교 검증을 수행하였다. 각 알고리즘의 실행 파라미터들은 참고한 논문에서 제안한 값으로 설정하였고, 제안한 알고리즘의 파라미터의 경우 $D = 168, R = 25$ 의 값을 설정하였다.

실차실험 장소는 구미산호대교일대와 대구전시컨벤션센터 일대에서 각각 2시간(7200초) 동안 약 216,000 프레임을 사용하여 실험하였다. 구미산호대교 일대는 교차로와 직선 도로 등이 주로 있었으며 도로가 넓고 한산하여 빠른 주행속도에서 테스트 할 수 있었다. 실험 중, 최고 속력은 120km/h이며, 평균 속력은 60km/h였다. 대구컨벤션센터일대는 교차로, 급커브, 고가도로, 공사중인 도로, 신호등이 있었고, 차량의 이동과 지체 구간이 자주 있었다. 최대속력은 70km/h이



(그림 15) 추출한 차선을 이동한 후, 차선 끝점과 설정된 중심점의 거리 및 변화

며, 평균속력은 50km/h였다. 각 알고리즘의 성능에 대한 기준은 초당 처리율과 검출률에 주안점을 두었다. 다만 초당 처리율의 경우 구현의 최적화와 관련이 있으므로, 주요한 성능의 요소로 간주하기에는 어려움이 있다.

구미산호대교일대에서 수행한 실차실험의 결과는 <표 2>에 정리되어 있으며, 대구전시컨벤션센터일대에서 수행한 실차실험의 결과는 <표 3>에 정리되어있다. 구미산호대교일대는 4가지 알고리즘의 유사한 성능을 보였다. 주위 차량의 통행량이 적어 전방차량으로 인해 차선이 가리는 경우도 흔하지 않고, 차선이 깨끗하게 도색되어 각 알고리즘의 검출률이 좋았지만 주변 차량으로 인해서 히스토그램 방식의 알고리즘이 가장 많은 영향을 받는 것으로 보였다.

대구전시컨벤션센터일대의 결과는 각 알고리즘의 검출률이 모두 떨어지는 결과가 있었다. 많은 차량의 소통이 실험 차량이 주행하는 차선을 가리거나, 알고리즘의 성능에 영향을 주는 요소로 작용하였다. 차선이 가리는 문제점들을 고려한 제안한 알고리즘은 검출률이 5%가량 떨어지는 결과가 있었지만, 이를 고려하지 않았던 대부분의 기존 알고리즘은

<표 2> 구미산호대교일대에서의 실차실험

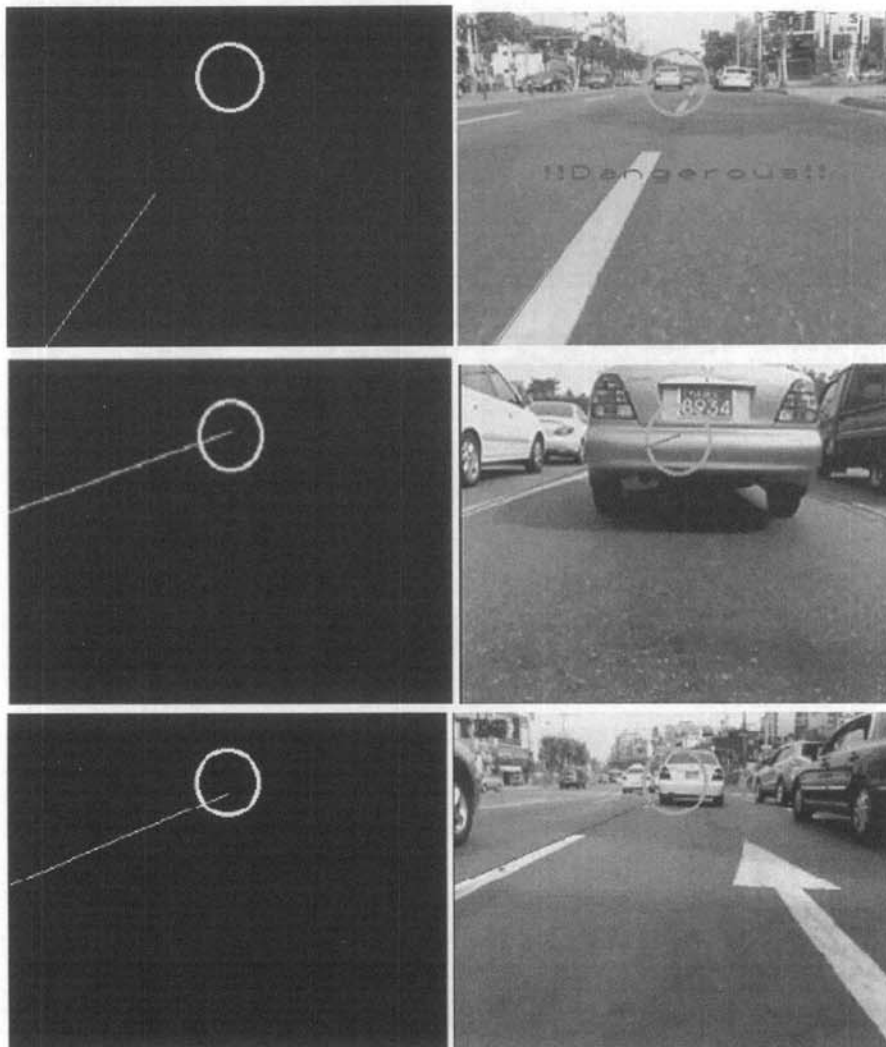
	허프변환	히스토그램	클러스터링	제안된 방법
검출률	85%	75%	90%	90%
처리율	25 f/s 이상	30 f/s 이상	25 f/s 이상	30 f/s 이상

<표 3> 대구전시컨벤션센터일대에서의 실차실험

	허프변환	히스토그램	클러스터링	제안된 방법
검출률	65%	55%	70%	85%
처리율	20 f/s 이상	25 f/s 이상	25 f/s 이상	30 f/s 이상

10%~20%가량 크게 떨어지는 결과가 발생했고 차선을 제대로 검출하지 못하여 차선이탈검출에서도 정확도가 낮아지게 되었다.

허프변환을 이용한 알고리즘은 주위 장애물로 인해 차선의 후보영역이 많이 발생하여 처리율 또한 크게 떨어졌으며, 여기에 검출률 또한 영향을 받았다. 히스토그램을 이용한



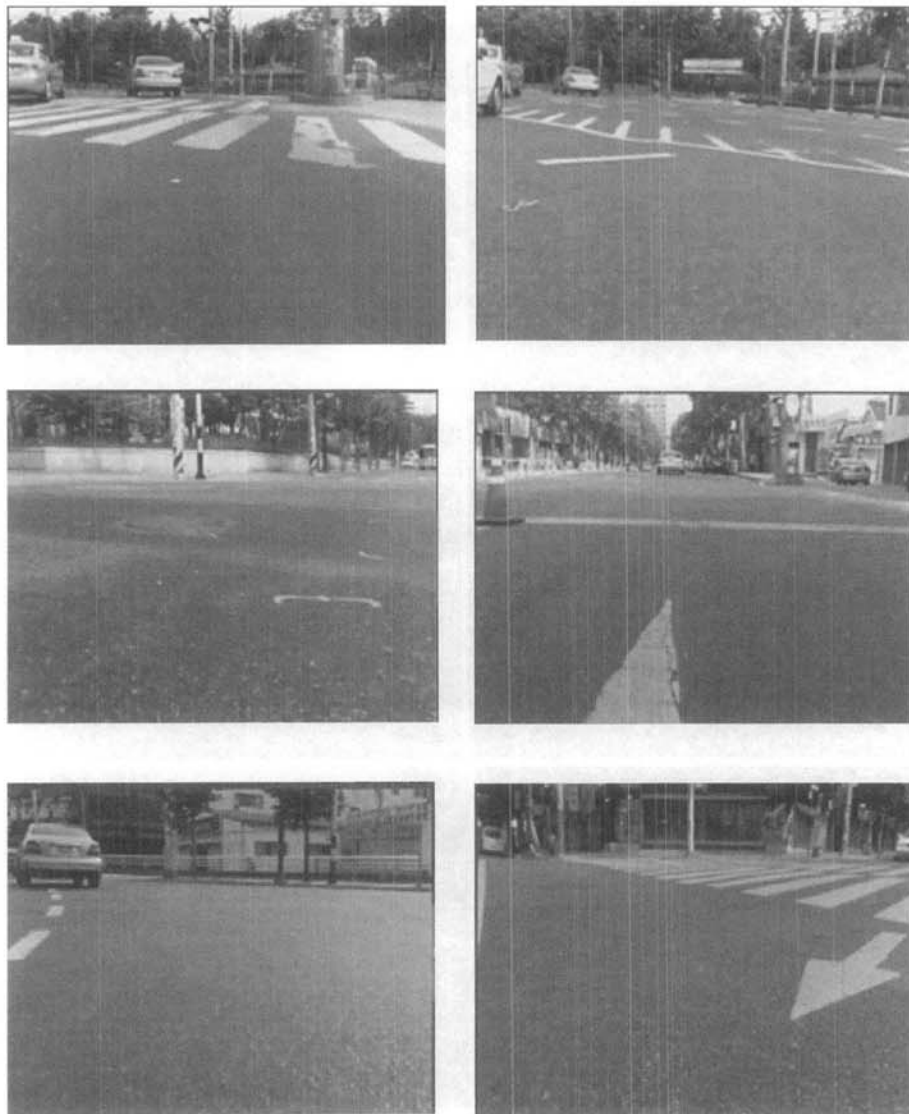
(그림 17) 제안된 알고리즘의 수행영상

알고리즘은 주위 차들이 도로영상의 히스토그램에 많은 영향을 줌으로써 최저 검출률의 결과를 발생했다. 클러스터링을 이용한 알고리즘도 전방차량의 근접접근 상황 때, 전방차량이 차선을 가리게 됨으로 검출률이 저하되었다. 제안한 알고리즘은 주변차량을 충분히 고려하였기에 다른 알고리즘보다 나은 성능을 기록하였다. 특히 전방차량의 근접시에 타 알고리즘들에 비해 많은 경우 우수한 성능을 보여 주었다. (그림 17)의 중앙에 나타난 것처럼 제안된 알고리즘은 전방차량에 의해 가려진 차선까지 검출하는 모습을 볼 수 있으며, (그림 17)의 상단 그림처럼 차선이탈시 차선이탈 판단도 높은 정확도로 수행되었다.

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 허프변환을 이용한 알고리즘, 히스토그램을 이용한 알고리즘, 클러스터링을 이용한 알고리즘과의 정량적인 비교를 수행하였다. 최근 연구에서는 본 논문에서 비교를 수행한 기본적인 알고리즘들의 성능을 개선하거나 타 기술들과 혼합된 방향으로 연구를 수행하고 있다^[3,4,8,9,12]. 그러나 계산량을 최소화하기 위한 관심영

역을 설정하지 않거나, 단순한 모델을 사용하여 관심영역을 설정하였다. 또한 차선 이탈을 감지하기 위하여 차량 좌우의 차선을 모두 검출할 필요가 있으므로, 차량이 근접하거나, 타 차량이 차선을 점유하거나, 그림자와 같은 영향에 의해 차선 이탈을 검출하기 어려운 상황이 존재한다. 또한 Snake와 같이 복잡한 기술을 적용할 경우 도로 인식의 정확도는 높으나, 복잡한 계산량으로 인해 초당 2장 정도의 영상만을 처리할 수 있으므로 실시간 차량 운행환경에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 본 논문에서는 카메라의 기하학적 모델과 차선의 폭에 따른 관심영역 설정을 위한 방법 및 허프변환을 이용하여 단일차선만을 추출하여 차선 이탈을 감지하는 알고리즘을 제안하여 기존 연구에서 발생하던 문제점을 극복하였다.

본 논문에서 제안된 방법에서 차선검출이 실패한 몇 가지 경우가 발생했다. (그림 18)에 나타난 것과 같이 횡단보도를 지나갈 때, 차선이 존재하지 않을 때, 급격한 커브와 같은 곳에서는 검출률이 떨어졌다. 차선이 존재하지 않는 경우는



(그림 18) 오검출을 일으키는 요소들

어쩔 수 없지만, 횡단보도를 차선으로 잘못 검출하는 경우와 급커브에 대한 알고리즘 개선이 차후 연구 내용으로 생각된다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

21세기 첨단 산업과 맞물려 지능형 자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중이고, 컴퓨터비전을 활용한 다양한 응용기술들이 개발되고 있다. 차선인식 및 차선이탈검출은 주요한 응용 분야로서 연구되고 있다. 그러나 실제 차량운행상황에서 앞의 차량이 끼어들기를 한다거나, 차선이 대형차들로 인해 일부가 가려지거나, 주차된 차들로 인해 차선이 보이지 않는, 상황들이 종종 발생한다. 게다가 도로 상황도 좋아지면서, 규정 속도는 늘어나고 있어서, 일반적인 국도에서는 규정 속도를 80km 안팎으로 정하고 있고, 고속도로에서는 120km 안팎을 규정 속도로 정하고 있다. 이러한 상황들에 있어서, 기존 기술들은 정확도 및 처리속도의 측면에서 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 단일차선추출 및 중심점 분석을 통한 차선이탈검출 알고리즘에 대하여 소개하였다. 특히 빠른 속도에서 정확하게 차선이탈검출을 위해 단일차선추출 및 이를 통한 차선이탈검출 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 다른 알고리즘들에 비해서, 나쁜 운행환경 조건하에서 우수한 성능을 나타냄을 실차실험을 통해 보였으며, 처리율 역시 관심영역을 추출한 후에 허프변환을 사용하였으므로, 다른 알고리즘들과 비교하였을 때 우수함을 보였다. 하지만 횡단보도, 급커브에 대한 문제점을 가지고 있고, 향후 지속적인 연구로 보완이 필요하다. 또한 주변의 도로 환경과 차선의 환경을 고려하여 제작되었으므로 이러한 환경이 바뀌게 될 경우 알고리즘의 조정이 필요하다.

감사의 글

This paper was supported by Research Fund, Kumoh National Institute of Technology.

참고 문헌

[1] 권화중, 이준호, "Hough 변환과 2차 곡선 근사화에 기반한 효율적인 차선 인식 알고리즘", 정보처리학회논문지, 6권 5호, 1999, pp.100-112.
 [2] 장운, 기창두, "Hough Transform을 이용한 차선인식과 응용", 한국자동차공학회, pp.912-917, 2002.
 [3] C. R. Jung and C. R. Kelber "Lane Following and Lane Departure Using a Linear-parabolic Model," Image and Vision Computing, Vol.23(13), pp.1192-1202, 2005.
 [4] T. Taoka, M. Manabe and M. Fukui, "An Efficient Curvature Lane Recognition Algorithm by Piecewise Linear Approach,"

Proc. of IEEE International Conference on Vehicular Technology, pp.2530-2534, 2007.
 [5] J. P. Gonzalez and U. Ozguner, "Lane Detection Using Histogram-Based Segmentation and Detecion Tree," Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems, pp.346-351, 2000.
 [6] S. M. Wong and M. Xie, "Lane Geometry Detection for the Guidance of Smart Vehicle," Proc. of IEEE Intelligent Transportation System, pp.925-928, 1995.
 [7] 안수진, 한민홍, "자율주행차량을 위한 차선인식에 관한 연구", 한국정보기술학회논문지, 5권1호, pp.136-142, 2007.
 [8] Y. Wang, E. K. Teoh and D. Shen, "Lane Detection and Tracking Using B-Snake," Image and Vision Computing, Vol.22(4), pp.269-280, 2004.
 [9] H.-Y. Cheng, B.-S. Jeng, P.-T. Tseng and K.-C. Fan, "Lane Detection With Moving Vehicles in the Traffic Scenes," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems. Vol.7(4), pp.571-582, 2006.
 [10] 서경호, 단일 시선 기하 법을 이용한 도로의 차선 인식 및 계속에 관한 연구, 경남대 대학원 박사논문, 제어번호 KDMT 1200510962, 2005.
 [11] 이준웅, 이성웅, "에지분포함수 기반의 차선이탈경보 알고리즘", 한국자동차공학회논문집, 9권 3호, pp.143-154, 2001.
 [12] R. Labayrade, J. Douret, J. Laneurit and R. Chapuis, "A Reliable and Robust Lane Detection System Based on the Parallel Use of Three Algorithms for Driving Safety Assistance," IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E89(7), pp.2092-2100, 2006.
 [13] A. Broggi, "Robust real-time lane and road detection in critical shadow conditions," Proc. of IEEE International Symposium on Computer Vision, pp.353-358, 1995.
 [14] 국토해양부 도로설계 편람의 횡단구성, <표 303.2> 도로의 구분에 따른 차로 폭 [http://web2.moct.go.kr/DataCenter/InfoRoom/data/20080619140645_도로설계편람_제5편_교량\(2008년_개정판\).pdf](http://web2.moct.go.kr/DataCenter/InfoRoom/data/20080619140645_도로설계편람_제5편_교량(2008년_개정판).pdf)



배 정 호

e-mail : baezzang@kumoh.ac.kr
 2009년 금오공과대학교 컴퓨터공학부 소프트웨어공학전공 (학사)
 2009년~현 재 SK C&C 사원
 관심분야 : 영상처리, 멀티미디어, 인공지능 등



김수웅

e-mail : carrot2g@kumoh.ac.kr
2009년 금오공과대학교 컴퓨터공학부 소프트웨어공학전공 (학사)
2009년~현재 울산과학기술대학교 석사과정
관심분야 : 영상처리, 인공지능, 지능형자동차 등



이현아

e-mail : halee@kumoh.ac.kr
1996년 연세대학교 컴퓨터과학과 (학사)
1998년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
2004년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
2000년~2004년 ㈜다음소프트 자연언어처리연구소 팀장
2004년~현재 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 자연언어처리, 정보검색, 지식공학, 기계번역 등



이해연

e-mail : haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr
1997년 성균관대학교 정보공학과 (학사)
1999년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
2006년 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공 (공학박사)
2001년~2006년 (주)썬트랙아이 선임연구원
2006년~2007년 코벨대학교 박사후연구원
2008년~현재 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털위터마킹 등



김병만

e-mail : bmkim@kumoh.ac.kr
1987년 서울대학교 컴퓨터공학과 (학사)
1989년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
1992년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
1998년~1999년 미국 UC, Irvine 대학 방문교수
2005년~2006년 미국 콜로라도 주립대학 연구교수
1992년~현재 국립금오공과대학교 교수
관심분야 : 인공지능, 정보검색, 정보보안, 소프트웨어 테스트 및 검증 등