



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

석사학위 논문

차선유지를 위한 실시간 차선인식
알고리즘 구현

Implementation of Real-time Lane
Detection Algorithm for Lane
Keeping Assistance System

2017년 6월

승실대학교 대학원

정보통신공학과

문 지 현

석사학위 논문

차선유지를 위한 실시간 차선인식
알고리즘 구현

Implementation of Real-time Lane
Detection Algorithm for Lane
Keeping Assistance System

2017년 6월

승실대학교 대학원

정보통신공학과

문 지 현

석사학위 논문

차선유지를 위한 실시간 차선인식
알고리즘 구현

지도교수 이 찬 호

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2017년 6월

숭실대학교 대학원

정보통신공학과

문 지 현

문 지 현 의 석 사 학 위 논 문 을 인 준 함

심 사 위 원 장 김 동 성 인

심 사 위 원 문 용 인

심 사 위 원 이 찬 호 인

2017년 6월

승실대학교 대학원

감사의 글

석사학위 논문을 완성하며, 도움을 주신 분들께 감사의 글을 올립니다.

먼저, 항상 올바른 연구의 길로 인도해주신 이찬호 교수님께 감사드립니다. 아낌없는 조언과 판단으로 제 연구를 이끌어 주시고, 마무리 할 수 있도록 도와주셔서 진심으로 감사드립니다. 교수님께서 만들어주신 기회들로, 연구실에서 많은 것들을 배울 수 있었습니다.

저를 항상 응원해준 가족에게도 너무나 고맙습니다. 제 판단에 있어 가장 큰 힘이 되어주신 아버지, 어머니 감사합니다. 희숙 언니, 정숙 언니, 형부 감사합니다. 이제 사회에 나가서 제 몫을 당당히 하는 사람이 되겠습니다.

동기 철훈, 종훈 오빠도 학부시절부터 4년간을 함께 밤새 연구하고, 많은 일들이 있었는데, 다들 너무 고생 많았고 각자 분야에서 좋은 일들만 가득했으면 좋겠습니다.

연구실 선배였던 Phuong, 항상 긍정적인 힘을 잃지 않으며 의사소통에 답답함에도 친절하게 도와주고, 도움주고 덕분에 석사과정을 버틸 수 있었습니다.

HuuNhan, Trung! Thank you for your all helps. I really hope you are happy in our DSDLab. I know the Master's course is not easy, but I hope you enjoy your works.

MSS 연구실 종석, 준호, 진호, 영주, 지훈, 노용, 준범, 동민 오빠들과 보라에게도 같이 밤을 새고, 밥을 먹으며 보낸 2년간의 시간이 좋은 추억이 되었고, 행복했습니다. 감사합니다.

목 차

국문초록	vii
영문초록	ix
제 1 장 서론	1
제 2 장 배경 지식	3
2.1 첨단 운전자 보조 장치(ADAS)	3
2.1.1 ADAS의 개요 및 종류	3
2.1.2 차선 이탈 경보 장치(LDWS)	4
2.1.3 차선 유지 보조 장치(LKAS)	4
2.2 주요 차선 인식 알고리즘	5
2.2.1 영상 처리를 이용한 차선 인식 방법	6
2.2.2 Aly의 차선 인식 알고리즘	8
2.2.3 Son의 차선 인식 알고리즘	9
2.2.4 Ding의 차선 인식 알고리즘	10
제 3 장 곡선 및 다중 차선 인식 알고리즘	12
3.1 차선 인식 알고리즘 개요	12
3.2 관심 영역 추출 알고리즘	13
3.2.1 Road ROI 설정	13
3.2.2 Λ -ROI 설정	14
3.3 다중 차선 인식	15

3.3.1 차선 인식 알고리즘	16
3.3.2 다중 차선 관심 영역 설정	17
3.3.3 차선 특성을 이용한 주변 차선 인식	18
3.4 곡선 차선 인식	19
3.4.1 곡선 차선 인식 알고리즘	19
3.4.2 차선 곡률 계산	20
 제 4 장 실시간 차선 유지 보조 장치	22
4.1 차선 유지 보조 장치(LKAS) 개요	22
4.2 조향 제어를 위한 차선 이탈률 계산	23
4.2.1 영상과 현실의 차량과 도로 간 관계 정의	23
4.2.2 차선 이탈률 계산	24
4.2.3 차선 곡률에 따른 조향각 제어	27
 제 5 장 알고리즘 구현 결과 및 성능 검증	28
5.1 DSDL-Dataset	28
5.2 실시간 차선 인식 알고리즘 검증	32
5.2.1 차선 인식 정확도 판정 기준	32
5.2.2 차선 인식 정확도 검증 결과	34
5.3 실시간 차선 유지 보조 장치 검증 및 성능 분석	36
5.3.1 차선 이탈 경고 및 유지 정확도 검증	36
5.3.2 PC에서의 실시간 성능 분석	37
5.3.3 임베디드 시스템에서의 실시간 성능 분석	38
 제 6 장 결론	40

참 고 문 헌	42
---------------	----

표 목 차

[표 3-1] 소실점의 X좌표 차이에 따른 곡률 정보	21
[표 5-1] DSDL-Dataset 블랙박스 영상 자료	29
[표 5-2] 외부 연구 블랙박스 영상 자료	29
[표 5-3] 차선 인식의 정확성 판단 기준	33
[표 5-4] DSDL-Dataset을 이용한 차선 인식률 검증 결과	34
[표 5-5] 같은 차선 인식 기준을 반영한 Son의 알고리즘과의 인식률 비교	35
[표 5-6] 차선 이탈 경고 정확도 측정 결과	36
[표 5-7] 이전 알고리즘과의 차선 이탈 경고 정확도 측정 비교	36
[표 5-8] PC에서의 성능 측정	38
[표 5-9] 성능 측정을 위한 임베디드 시스템 사양	39
[표 5-10] 임베디드 시스템에서의 FHD영상과 VGA 영상의 성능 측정	39

그 립 목 차

[그림 2-1] 차선 이탈 경보 장치(LDWS)	4
[그림 2-2] 차선 유지 보조 장치(LKAS)	5
[그림 2-3] Feature-based 방식	7
[그림 2-4] Model-based 방식	7
[그림 2-5] Inverse Perspective Mapping (IPM)	8
[그림 2-6] 차선 후보 Label화	9
[그림 2-7] ROI 층 분할 및 중앙점 연결을 통한 차선 인식	9
[그림 2-8] V-ROI를 이용한 차선 인식	11
[그림 3-1] 차선 인식 알고리즘 개요	13
[그림 3-2] Road ROI 설정 알고리즘	14
[그림 3-3] Λ -ROI 설정 순서도	15
[그림 3-4] 차선 인식 알고리즘	17
[그림 3-5] 다중 차선 관심 영역(ROI)	18
[그림 3-6] 주변 차선 인식 순서	19
[그림 3-7] 원본 FHD에서의 소실점부근의 도로영역(위), 축소한 이미지 에서의 도로 영역(아래)	20
[그림 3-8] 곡선 도로에서의 소실점 변화	21
[그림 4-1] 차선 유지 보조 장치(LKAS) 개요	22
[그림 4-2] 차량과 차선의 폭	23
[그림 4-3] 실제 블랙박스 영상 속 차량의 모습	24
[그림 4-4] 일반 주행 상태와, 좌, 우측 이탈 경보 상태의 주행 정의 ...	26
[그림 4-5] 조향각 제어 알림 신호	27
[그림 5-1] 다양한 환경에서의 블랙박스 영상	30

[그림 5-2] Caltech 제공 주행 영상	31
[그림 5-3] KITTI 제공 주행 영상	31
[그림 5-4] Santiago Lane Dataset 2011	31
[그림 5-5] 차선 인식 성공 기준	32

국문초록

차선유지를 위한 실시간 차선인식 알고리즘 구현

문지현

정보통신공학과

승실대학교 대학원

최근 자동차 회사뿐만 아니라, IT업계에서도 자율 주행 자동차의 상용화를 위한 개발의 움직임이 가속화되고 있다. 자율 주행 자동차를 위한 첨단 운전자 보조 장치(ADAS, Advanced Driver Assistance Systems)은 사람이 탑승하고 있는 상태에서, 주행 시 RADAR, LIDAR, 카메라, 초음파 등의 센서를 이용하여 차량의 충돌과 같은 사고를 방지하고, 운전자의 조작 없이 차량의 주행을 돕는 역할을 한다. 그 중에서도 카메라에 의한 영상 정보는 사람의 눈과 같은 역할로서, 주행 중 많은 정보를 얻을 수 있다. 이를 활용한 알고리즘 중 차선 유지 보조 장치(LKAS, Lane Keeping Assist System)는 운전자의 부주의로 인해 주행 시 차량이 차선을 벗어나려할 때 주행 중인 차선을 유지하도록 하는 알고리즘이다. 특히, 영상 인식 및 처리를 통한 정보 중 차선은 주행 시 가장 중요한 정보로 이용 된다. 이러한 영상 정보를 이용한 차선 인식 및 유지 알고리즘은 이미 여러 연구를 통해 진행되고 있지만, 임베디드 시스템에서의 실시간성을 보장하기 어렵거나, 비나 눈이 오는 악조건의 환경이나,

곡선 도로에서의 고신뢰성의 인식률을 갖지 못하는 치명적인 문제점이 있다.

본 논문에서는, 실시간 LKAS 동작을 위하여 기존의 차선 인식 알고리즘을 수정하여 더욱 강력한 차선 인식과 더불어 주변 차선, 곡선 도로에서의 차선 곡률 계산 알고리즘을 개발하였다. 기존의 차선 인식 알고리즘은 먼저, 도로 관심 영역(Road ROI)을 인식한 후, 역삼각형 모양의 차선 경계선의 관심 영역인 Λ -ROI을 설정하여 Λ -ROI 내부에서 주행 중인 본 차선을 강력히 찾아낸다. 이후 Λ -ROI 외부에서는 주변 차선 검색을 통하여 차량의 차선 이탈시 정확하고, 실시간으로 차선을 인식하는 알고리즘을 개발하였다. 또한, 직선 도로 뿐만 아니라 곡선 도로에서의 소실점 변화를 통하여 도로의 곡률을 계산하고, 차량이 차선을 이탈할 시에 경고 메시지 출력과 함께 차선 유지를 위한 차선 이탈률 정보를 제공하여 조향에 필요한 신호를 출력하는 알고리즘을 제안하였다.

제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위하여 주간과 야간, 우설 등 다양한 환경 변수들과 빛과 그림자를 포함한 실제 주행 중 발생하는 각종 현상들을 차량에 장착된 블랙박스 영상을 통해 분석하였다. 이를 이용하여, 악조건인 환경에서도 96.2%의 인식률로 차선을 인식하는 강력한 알고리즘을 개발하였다. 그리고 이를 임베디드 시스템에서 구현하였고, 실시간으로 처리할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

Implementation of Real-time Lane Detection Algorithm for Lane Keeping Assistance System

MOON, JI-HYUN

Department of Electronic Engineering
Graduate School of Soongsil University

Recently, the IT industry the development of autonomous vehicles is accelerating. When a person is riding a vehicle, he uses sensors such as RADAR, LIDAR, camera, ultrasound, etc. to avoid collisions such as car collisions, and assists in driving the vehicle without the driver's operation. In particular, the image information by the camera is the same as the human eye, and it can get a lot of information during the driving. Lane recognition and maintenance algorithms using these imaging information are already conducted through several studies. However, there is a fatal problem that can not be guaranteed in an embedded system, which is difficult to obtain, or is not a high degree of reliability on the road likes curves.

In this thesis, various situation that occur during day-time,

night-time, etc. were analyzed through black boxes imaged in the vehicle. Using this, a powerful algorithm was developed to recognize the lane with a perception rate of 96.2% even under adverse conditions. In addition, the curves were developed for the curves of curved roads as well as linear roads, and developed algorithms to provide lane departure information for lane keeping along with the warning message output when the vehicle is out of lane. It was implemented in real time that the embedded system was able to live in real time from Embedded to 29fps.

제 1 장 서 론

미래형 자동차인 자율 주행 자동차의 개발이 가속화 되고 있다. 자율 주행 자동차란 운전자의 핸들이나 가속페달, 브레이크 조작 없이, 목적지 입력만으로 주행하는 자동차를 말한다. 차간 거리 제어 기능(ASCC), 차선 이탈 경보 장치(LDWS), 차선 유지 보조 시스템(LKAS), 어드밴스 스마트 크루즈 컨트롤(ASCC), 후측방 경보 시스템(BSD)등 다양한 기술들의 개발로 자율 주행 자동차의 실현이 가까워지고 있다. 이러한 기술들은 RADAR, LIDAR, 카메라, 초음파와 같은 다양한 센서를 바탕으로 동작된다. 그 중에서도 카메라에 의한 영상 정보는 사람의 눈과 같은 역할로서, 주행 중 많은 정보를 얻을 수 있다[1, 2].

도로 위의 많은 정보 중 차선은 주행 시 가장 중요한 정보로 이용 된다. 이러한 이유로, 영상 정보를 이용한 차선 인식 및 유지 알고리즘은 이미 여러 연구를 통해 진행되고 있지만, 임베디드 시스템에서의 실시간성을 보장하기 어렵거나, 비나 눈이 오는 악조건의 환경이나, 곡선 도로에서의 고 신뢰성의 인식률을 갖지 못하는 치명적인 문제점이 있다[3, 4]. 본 논문에서는, 이러한 문제를 해결하고자 고 신뢰성의 차선 인식 및 유지 알고리즘을 실시간으로 동작시키는 알고리즘을 개발하였다.

제 2장에서는 자율 주행을 위한 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 기술을 소개한다. 그 중에서도 차선 인식과 관련된 차선 이탈 경보 시스템(LDWS)와 차선 유지 지원 시스템(LKAS)에 대하여 자세히 설명한다. 또한 이전에 연구된 차선 인식 알고리즘들을 소개한다.

제 3장에서는 차선 인식을 위한 알고리즘을 제안한다. 도로 관심 영역(Road ROI)과 차선 경계선 관심 영역(Λ -ROI)영역을 분리하고, 악조건의 환경에서도 96.2%의 인식률로 현재 차량이 주행 중인 주(메인)차선뿐만

아니라, 주변 차선까지 인식하는 강력한 알고리즘을 소개한다. 또한, 직선 도로 뿐만 아니라 곡선 도로에서 휘어진 차선의 곡률을 인식하는 알고리즘을 제안한다.

제 4장에서는 앞선 3장의 차선 인식 알고리즘을 기반으로, 차량이 차선을 이탈할 시에 경고 메시지 출력과 함께 차선 유지를 위한 차선 이탈률 정보를 제공하는 알고리즘을 제안한다.

제 5장에서는 앞선 3장과 4장에서의 차선 인식 및 차선 유지 보조 시스템의 결과와 성능을 확인한다. 이를 위하여 DSDL-Dataset라는 명칭의 주간, 야간, 우설 등 실제 주행 중 발생하는 각종 현상들을 분석하기 위하여 수집된 차량용 블랙박스 영상들을 소개한다. 또한 알고리즘 수행 결과를 명시한다. 그리고 이를 Altera사의 DE1-SoC Embedded Board에서 29fps 이하로 실시간으로 처리할 수 있게 구현 및 검증한 결과를 제시한다.

마지막으로 제 5장에서는 결론을 통해, 전체 연구 결과를 정리한다.

제 2 장 배경 지식

2.1 첨단 운전자 보조 장치(ADAS)

2.1장에서는 첨단 운전자 보조 장치(ADAS)의 개요와 종류 등을 소개한다. 기초적인 ADAS 관련 여러 알고리즘 소개 후, 본 논문에서 연구한 주제인 차선 이탈 경고 장치(LDWS), 차선 유지 보조 장치(LKAS)을 설명한다.

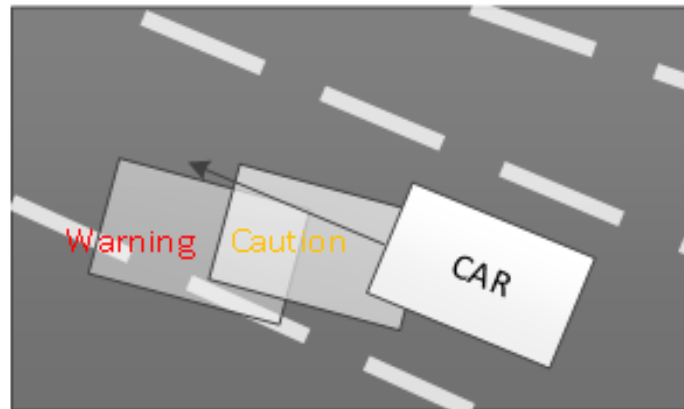
2.1.1 ADAS의 개요 및 종류

자율 주행 자동차(Self-Driving Car)란 운전자의 브레이크, 핸들, 가속 페달 등 어떠한 자동차 기기 제어 없이 자동차 스스로 판단, 제어를 통하여 주행하는 미래형 자동차이다. 운전자에게 이동 시간에 다른 일을 할 수 있는 편의를 제공하고, 도로 위에서 발생하는 각종 사고를 예방할 수 있도록 여러 가지 기술을 제공한다. 자동차의 완벽한 자율 주행을 위하여 현재는 첨단 운전자 보조 장치(ADAS)가 상용화되고 있다. ADAS에는 대표적으로 동일 차선내의 전방 차량 인식을 통한 과속, 앞 차량의 급정지 등 충돌 상황을 경고하는 전방 충돌 경고 장치(FCWS), 방향 지시등을 켜지 않고 차선을 변경할 때 이를 감지하여 경고 하는 차선 이탈 경고 장치(LDWS)[5, 6, 7]과 차선 이탈 감지 및 조향을 통한 차선 유지 보조 장치(LKAS)[8, 9], 보행자 인식을 통한 충돌 경고 장치인 보행 인식 경고 장치(PCWS)[10], 후측방 경고 장치(BSD)[11] 등이 있다. 이를 위하여 영상 장치, 음향, LIDAR, GPS를 이용한 디지털 지도 등 많은 센서를 이용하여 자율 주행 차량의 완성을 위한 장치들이 개발되고 있다

[12, 13].

2.1.2 차선 이탈 경고 장치(LDWS)

차선 이탈 경고 장치는 시속 약 60km/h 이상 주행 시 차로를 감지하여, [그림 2-1]에서 차량의 주행 중 운전자의 졸음운전 및 부주의로 인한 차선 이탈 시 사고를 방지하기 위하여, 차량이 자신의 차로를 유지하지 못하고 어느 한쪽으로 차로를 이탈한다고 판단하는 경우, 진동이나 소리를 이용하여 운전자에게 위험 상황을 경고해주는 장치이다[5, 6, 7]. 차선 이탈을 감지하기 위하여 차선 인식 과정이 선행되는데, 차선은 직선이고 평행하며 일정한 크기와 폭을 가지고 있어 하나의 소실점에서 만나게 된다는 기하학적 모델링을 기반으로 소실점의 위치가 차량의 중심점과 일치하지 않으면 차선 이탈로 판단하여, 운전자에게 경고한다.

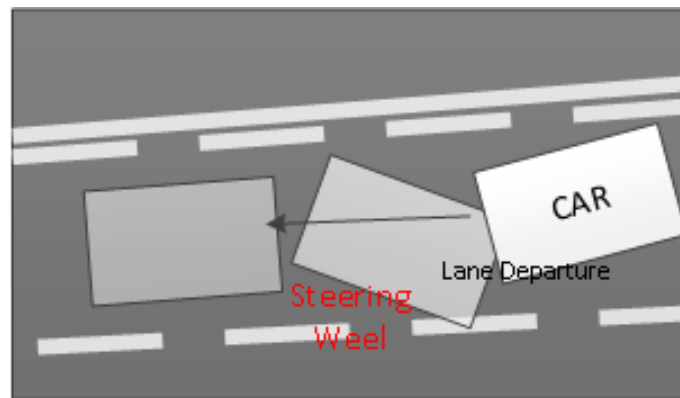


[그림 2-1] 차선 이탈 경고 장치(LDWS)[14]

2.1.3 차선 유지 보조 장치(LKAS)

차선 유지 보조 장치는 LDWS의 기능을 확장한 것으로서, 차선 이탈 경고 장치가 단순히 운전자에게 경고 메시지를 전달하는 반면에, [그림

2-2]에서 주행 중인 차량이 차선을 인식하여, 운전자가 방향 지시등을 작동하지 않은 상황에서, 운전자의 의도 없이 차선 이탈로 인한 위험 감지 시, 단순한 경고뿐만 아니라 조향각 조절을 통하여 주행 중인 차선을 벗어나지 않도록 조향을 보조하는 주행 안전 시스템이다[8, 9].



[그림 2-2] 차선 유지 보조 장치(LKAS)[14]

차선 이탈 경고 장치와 차선 이탈 방지 알고리즘에서 가장 중요한 정보는 주행 중 차선 인식이다. 빠른 속력으로 달리는 도로위에서 오차 없이 정확하게 차선 인식이 진행되어야만 차선의 이탈을 감지할 수 있고, 운전자의 위험 상황을 경고할 수 있다.

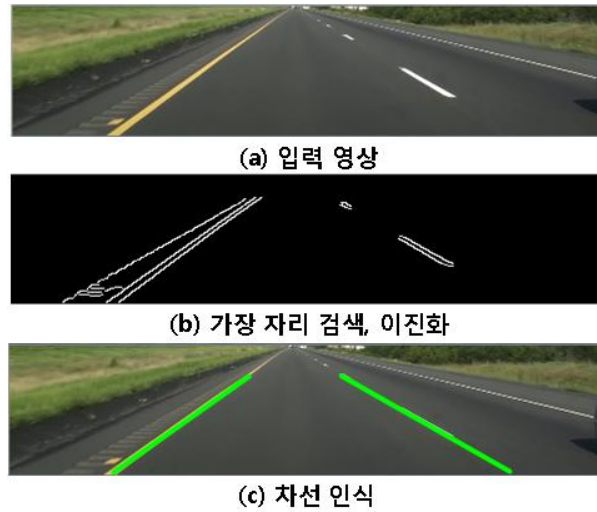
2.2 주요 차선 인식 알고리즘

2.2장에서는 이미 개발된 주요 차선 인식 알고리즘들을 소개한다. 차선 인식의 대표적인 방법으로 알려진 방법으로는 Feature Based 방식과 Model based 방식이 있다. 각 방식의 장단점을 비교하고, 입력 영상을 Top View로 변환하여 사용하는 IPM 방식의 차선 인식 알고리즘인 Aly

의 알고리즘[15]부터, 본 논문에서 제안하는 차선 인식 방법과 유사하나 선분 인식이 아닌, 차선 성분 점 분석 및 연결을 통한 Son의 알고리즘[16], 차선 경계선의 V-ROI를 이용한 Ding의 알고리즘[17]까지 알고리즘들을 상세히 분석하였다.

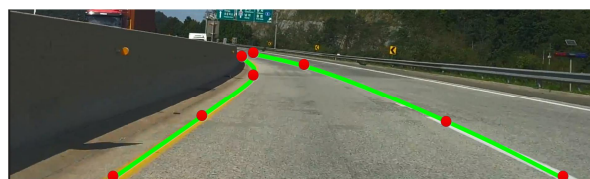
2.2.1 영상 처리를 이용한 차선 인식 방법

차선 인식에 관한 많은 연구 중 두 가지 방식을 대표적인 예로 들 수 있다. 첫 번째 방식은 [그림 2-3] feature-based 방식이다. feature-based 방식은 [그림 2-3]의 입력영상(a)로부터 컬러 정보를 이용하여, 가장자리 영역 탐색(b)을 통한 선분 인식 및 분석을 통한 차선 경계선 인식(c) 방법이다[18]. 비교적 간단한 방식으로 구현되지만 입력 영상이 선명하고 잡음이 적은 경우에는 좋은 인식률을 보이나, 빗방울, 햇빛을 포함한 선명하지 않은 영상들에서 발생 되는 여러 잡음 현상 들이 인식률에 크게 영향을 미친다. 2.2.3절에서 소개할 Son의 방식은 가장자리 영역 탐색을 거쳐 선분을 인식하여 소실점을 찾아 도로 영역으로 분리하고, 입력 영상의 흑백 이진화를 통하여 차선정보를 검출한다. 2.2.4절에서의 Ding의 방식 또한 feature-based 방식으로 도로 영역의 히스토그램 분석을 통하여 가장자리 영역을 탐색하고, 선분 인식 후 차선 경계선 특징을 이용하여 차선을 인식하는 방식이다.



[그림 2-3] Feature-based 방식[18]

두 번째 방식은 [그림 2-4]의 model-based 방식이다. model-based 방식의 경우 feature-based 방식보다 복잡한 방식으로 parabola, hyperbola, B-snake나 Spline 방식 등이 해당된다[19, 20]. 2.2.2절에서 소개할 Aly의 알고리즘의 경우 RANSAC Spline Fitting 방식을 이용하였다. model-based 방식의 경우 정확한 차선 경계선을 인식할 수 있는 장점이 존재하지만, 복잡한 알고리즘으로 성능이 느리며 해결 방안인 이미지 가속기 GPU의 사용은 차선 인식 장치에 있어 장치 자체의 비용을 증가시킨다[15].



[그림 2-4] model based 방식[19]

2.2.2 Aly의 차선 인식 알고리즘

Aly의 알고리즘은 일반 도로에서의 model-based 방식으로 차선 경계선을 인식하는 알고리즘으로서, 차량의 상단에 부착되는 카메라를 이용하여 Inverse Perspective Mapping (IPM) 방식을 제안하였다. IPM 방식이란, 차량의 상단에서 얻어지는 도로 정보를 연결하여 상공에서 도로를 보는 Top view 정보로 바꾸어 직선 선분을 찾아내는 방식이다. [그림 2-5]의 왼쪽 그림에서 블랙박스 영상에서 도로영역으로 확인되는 여러 프레임을 오른쪽 그림과 같이 현재 주행 중인 도로의 위에서 바라보는 것처럼 이어 붙인 이미지로 변환하고, 변환된 이미지에서 선분을 찾는 기본 알고리즘인 Canny Edge Detection과 Hough Transform을 이용하여 선분을 찾아 차량의 현재 주행 위치와, 차선 경계선 정보를 계산하였다. 또한 발견된 차선 경계선 선분을 RANSAC line fitting 알고리즘을 이용하여 차선을 추적하고 유지 하였다[15].

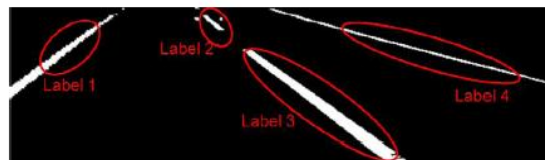


[그림 2-5] Inverse Perspective Mapping(IPM)[15]

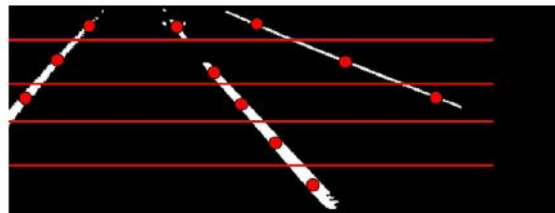
Aly의 알고리즘의 경우 실제 블랙박스 영상에 찾아진 선분을 역 변환하여 대입시 정확도가 떨어지고, 많은 연산량으로 인하여 임베디드 시스템에서 실시간으로 동작할 수 없다는 단점이 존재한다.

2.2.3 Son의 차선 인식 알고리즘

조명 빛에 강력한 차선 인식 알고리즘을 제안한 논문으로써, 도로 관심영역(Road ROI)를 탐지하고, 탐지된 도로 관심 영역으로부터 차선을 인식하는 부분에서 본 논문의 제안하는 차선 인식 장치와 유사한 구조를 가진다. 하지만 도로영역을 찾을 때 선분 인식 시 기존에 가장 많이 사용되는 Canny Edge Detection과, Hough Transform을 이용하였고, 차선 인식 시에, 선분 인식이 아닌 도로와 차선 경계선의 Binary Map을 만들었다. 이를 같은 성분끼리 모인 영역을 [그림 2-6]에서와 같이 라벨링 작업 후 [그림 2-7]에서처럼 도로 관심 영역을 가로로 분할하여, 분할된 영역의 중앙점을 연결하여 찾아진 직선 성분을 차선 후보로 찾아내었다. 차선 확인 방법으로는 이전의 알고리즘들에서 얻은 차선 후보들의 각도와, 교차점, 소실점 정보를 이용하여 차선인지 아닌지 판단하였다. 차선 이탈 경고를 위한 차선 이탈률 계산 방식은 평균 차선폭이 3m, 영상에서의 차선의 폭이 1.5m 이하로 줄어들면 차선 이탈 경고음을 내보내는 시스템을 제안하였다[16].



[그림 2-6] 차선 후보 Label화[16]

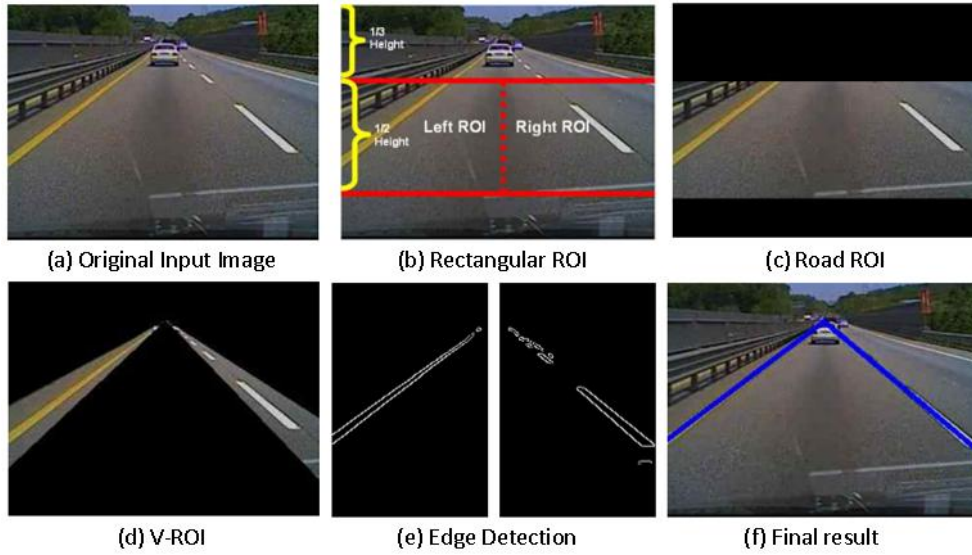


[그림 2-7] ROI 층 분할 및 중앙점 연결을 통한 차선 인식[16]

Son의 알고리즘의 경우 비가 오는 야간의 경우와 차량의 차선 이탈시, 선분을 정확한 각도로 찾지 못하고 오차율이 크게 나타났다. 또한 한 번 차선을 오인식하게 되면 20frame 이상 오인식 상태를 유지하는 단점을 가졌다.

2.2.4 Ding의 차선 인식 알고리즘

Ding의 차선 인식 알고리즘은 입력된 영상에서 차선 경계선을 인식한 뒤 ROI를 경계선 주변으로 제한하여 연산량을 줄이는 알고리즘이다. [그림 2-8]의 순서대로, 먼저 입력 영상(a)로부터 위에서 1/3 지점에 직사각형 관심 영역(b)를 설정 후, 층(Layer)으로 나누어 발견되는 선분들을 누적하여 분석한다. 이때 찾아지는 선분 정보들로부터 소실점(Vanishing Point)를 계산하여 도로 관심 영역(c)를 설정한다. 도로 관심 영역으로부터 차선이 주로 발견 되는 차선 발견 관심 영역(V-ROI)(d) 설정한다. V-ROI를 이용하여 연산 영역을 줄이고 이를 통해 연산량과 연산 시간을 줄인다. 또한 차선 인식의 경우 고해상도의 영상이 필요하지 않으므로 입력 영상을 축소하여 차선 인식 알고리즘을 적용하는 방법을 통하여 영상의 해상도에 관계없이 연산량을 비율에 따라 약간의 차이만으로 비슷하게 연산된다. 선분 인식을 위하여 Canny Edge Detection 및 Hough Transform을 이용한 선분 인식 과정을 거쳐 찾아진 도로 관심 영역으로부터 선분을 다시 인식하여 좌, 우측 차선 후보를 검색하고, 기울기, 차선 경계선의 안쪽과 바깥쪽 선 정보를 종합하여 차선임을 확인하고 칼만 필터를 이용하여 차선을 추적한다.[17]

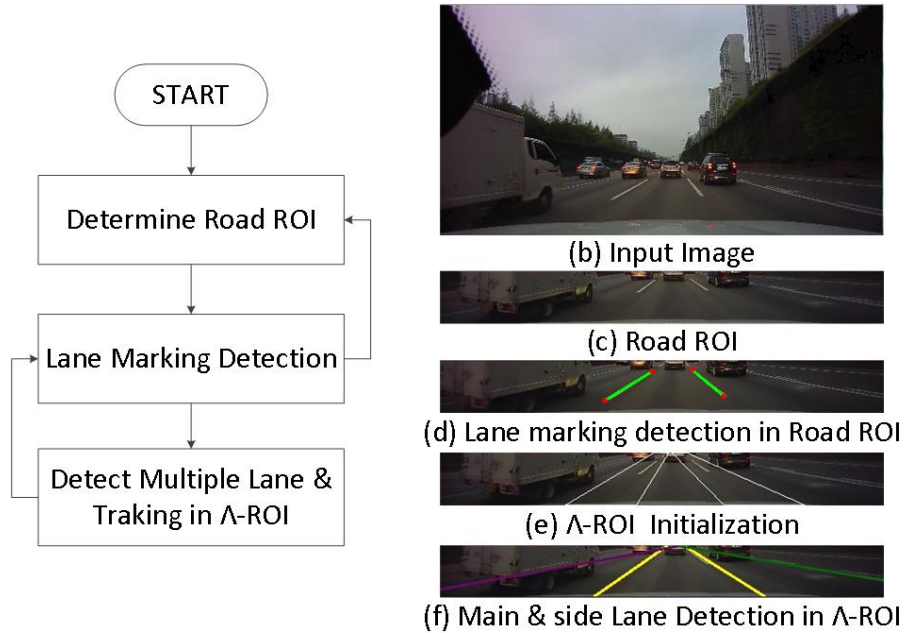


[그림 2-8] V-ROI를 이용한 차선 인식[17]

제 3 장 곡선 및 다중 차선 인식 알고리즘 제안

3.1 차선 인식 알고리즘 개요

제안하는 차선 인식 알고리즘은 Phoung의 논문[21]의 차선 인식 알고리즘 기반의 [그림 3-1]의 (a)의 구조를 가진다. Phuong의 차선 인식 알고리즘은 입력 영상(b)로부터 소실점 검출 및 Layer 분석을 통하여 도로 관심 영역(c)를 분리한다. 도로 관심영역에서 선분 인식 및 차선 경계선의 특성을 이용하여 차선 경계선 후보를 인식(d)하고, 주행 중 차량이 달리고 있는 본 차선을 Δ -ROI(e) 내에서 강력히 인식한다. 본 차선 인식과 함께 주변 차선 인식(f)을 진행하여 차선이 차량을 이탈할 시 빠르게 다른 차선을 찾을 수 있도록 차선 정보를 누적한다. 발견된 차선 경계선 정보들은 Kalman 필터를 이용하여, 차선이 발견되지 않을 시에도 차선이 나타날 곳을 예측 및 유지한다. 이러한 Phuong의 알고리즘에서 선분 인식 후 선분들을 차선 후보로 만들어주는 클러스터링 기법을 기존의 여러 개의 선분을 한꺼번에 모아주는 클러스터링 방식에서 수직 성분, 쌍선 성분을 따로 클러스터링 하는 방식으로 수정하고, 현재 주행 중인 본 차선 경계선뿐만 아니라 주변 차선 인식도 진행하여 차량의 차선 이탈시 신속하고 정확하게 차선을 찾아낼 수 있도록 알고리즘을 개선하였다. 또한 곡선 차선 인식 알고리즘을 추가하여 차선 유지 보조 장치에 조향각 조절 신호를 만드는 알고리즘을 제안한다.



[그림 3-1] 차선 인식 알고리즘 개요[21]

3.2 관심 영역 추출 알고리즘

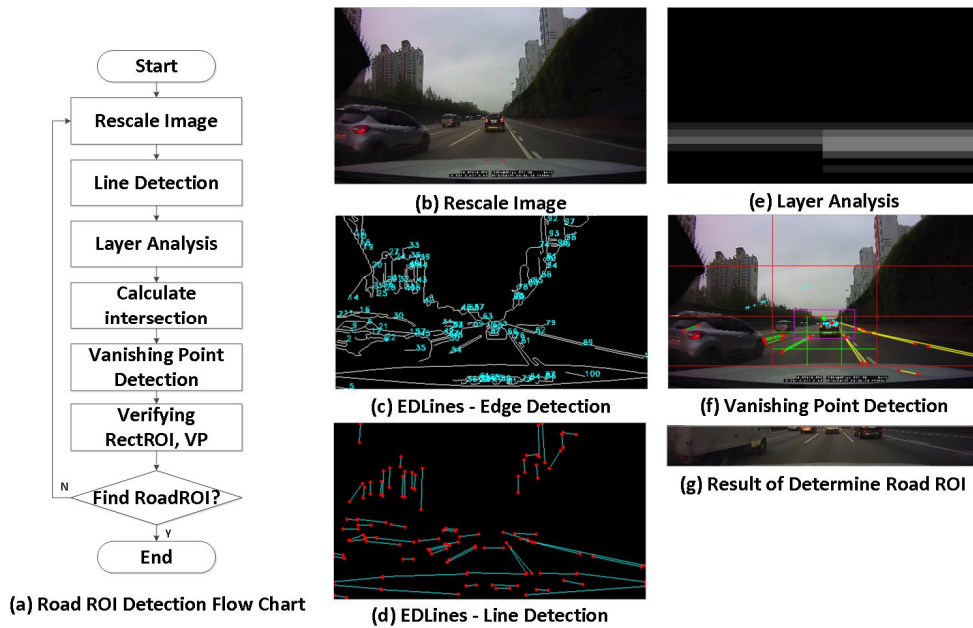
3.2장에서는 관심 영역 추출 알고리즘들을 설명한다. 관심 영역(Region of Interest)이란 영상 내에서 작업을 수행 혹은 인식하고자 하는 특정 영역을 의미한다[22]. 차선 유지를 위한 알고리즘에서 사용되는 하늘 영역과 도로 영역을 분리하는 Road ROI 설정 알고리즘과 차선 경계선의 관심 영역인 Λ -ROI에 대하여 설명한다.

3.2.1 Road ROI 설정

본 논문에서는 입력되는 블랙박스 영상으로부터 도로 영역만을 분리하여, 연산량을 줄이고 차선이 주로 나타나는 영역에서 차선 인식을 하는 Road ROI(도로 관심 영역) 추출 알고리즘을 이용하였다.

사용된 알고리즘은 Ding 논문[22]의 방식 [그림 3-2]와 같다. 입력 영

상의 이미지를 축소(b) 한 후, 그레이 스케일의 흑백화 과정을 진행한 후 EDLines 알고리즘(c)을 이용하여 선분을 인식(d)한다. 도로 관심 영역을 층(e)을 나누어 발견된 선분들의 개수, 각도 등을 분석하고, 교차점, 소실점 등을 계산(g)하여 도로 영역을 분리해 낸다.

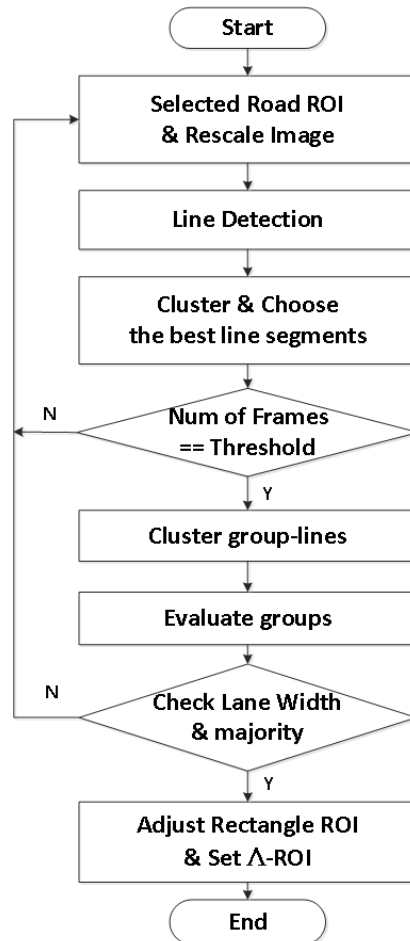


[그림 3-2] Road ROI 설정 알고리즘[22]

3.2.2 Λ -ROI 설정

Λ -ROI는 도로 영역에서 선분 인식을 통하여 발견된 본 차선 정보를 바탕으로 차선이 주로 발견되는 영역을 지정하여 차선 인식 시 연산 속도를 빠르게 하고, 보다 정확한 위치의 차선을 검색할 수 있도록 돕는다 [22]. [그림 3-3]은 Λ -ROI의 설정 순서도로서, Λ -ROI에서 차선 경계선을 검출하기 위하여 입력 영상으로부터 축소된 도로 관심 영역에서 선분 검출을 진행한다. 발견된 선분들을 차선 경계선 특성인 쌍선, 스캔 라인

성분 검사, 소실점, 차선의 폭 등을 누적하여 차선이 여러 프레임에 걸쳐 발견되면 차선이 주로 나타난 영역의 폭을 지정하여 Λ -ROI로 설정한다.



[그림 3-3] Λ -ROI 설정 순서도[22]

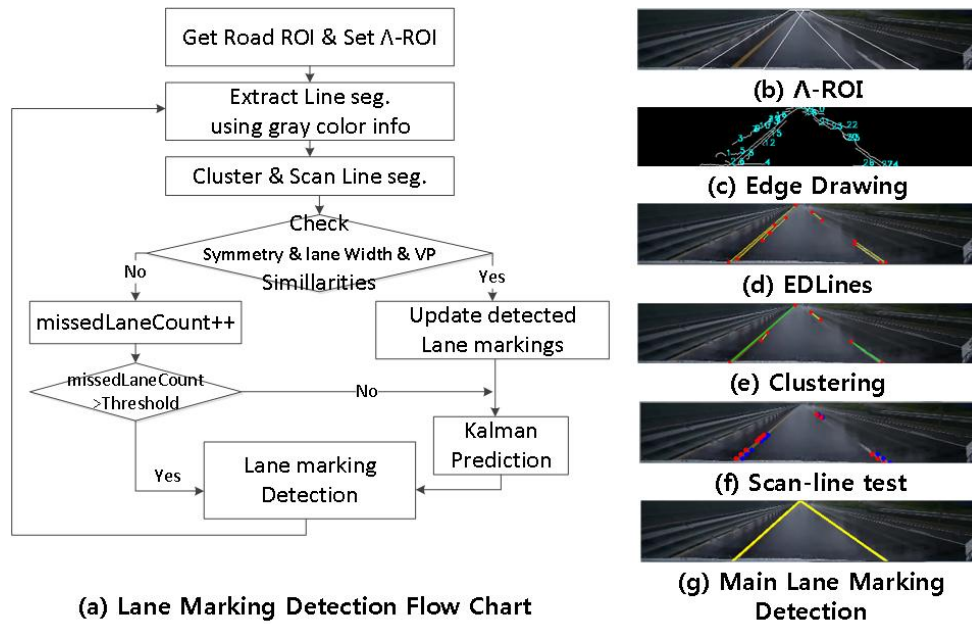
3.3 다중 차선 인식

3.3장에서는 설정된 Road ROI, Λ -ROI 영역을 이용한 곡선 및 다중 차선 인식 알고리즘들을 제안한다. 첫 번째로, 차선 경계선의 특성을 이용한 차선 인식 알고리즘을 제안한다. 두 번째로, 강력하게 찾아진 주행

중 본 차선의 정보와 동일하게 주변 차선을 인식하는 알고리즘을 제안한다. 또한 곡선도로에서의 차선 인식 방법 및 차선 곡률 계산법을 제안한다.

3.3.1 차선 인식 알고리즘

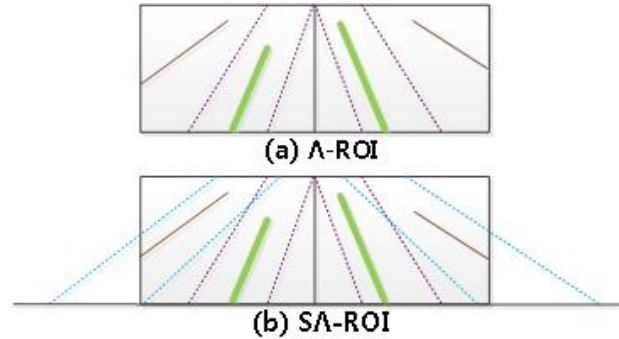
차선의 특성을 이용한 풍의 차선 인식 알고리즘[21]을 소개한다. 차선 경계선은 차량의 근거리 부근에선 곡선 도로와 직선 도로에 관계없이 직선 형태로 발견된다. 이를 이용하여 입력 영상을 그레이 스케일 영상으로 변환하고, EDLines라는 알고리즘을 이용하여 선분을 추출한다. 발견된 선분들 중 차선 경계선은 경계선의 좌우에 기울기가 비슷하고, 일정한 폭의 변화가 존재하고, 선분의 값을 가로로 검색하였을 때, 도로 영역 색상값에 비하여 높은 색상 값이 나타난다. 이러한 특성을 이용하여 발견된 선분들을 차선 후보로 검출하고, 검출된 차선 후보들의 쌍선, 좌, 우 차선 후보의 누적된 도로 폭, 소실점 정보들과 비교하여 강력하게 차선으로 확인되는 성분을 검출한다. [그림 3-4]의 (a)는 차선 인식 알고리즘의 순서도이다. (b)의 Λ -ROI에서 (c)의 에지 추출, (d)의 선분 검출을 진행한다. 검출된 선분 간에 같은 선인데 끊어진 부분을 먼저 직선으로 이어주고, 차선 경계선의 중앙선으로 합친다(e). 모아진 차선이 쌍선 성분을 가지는지, 저-고-저의 스캔 라인 테스트(f)를 통과하였는지에 따라 가중치를 두고, 이전 프레임에서 찾은 차선의 정보와 왼쪽 차선과 오른쪽 차선의 폭 정보, 소실점 정보와 비교하여 최적의 차선 경계선을 선택한다.



[그림 3-4] 차선 인식 알고리즘[21]

3.3.2 다중 차선 관심 영역 설정

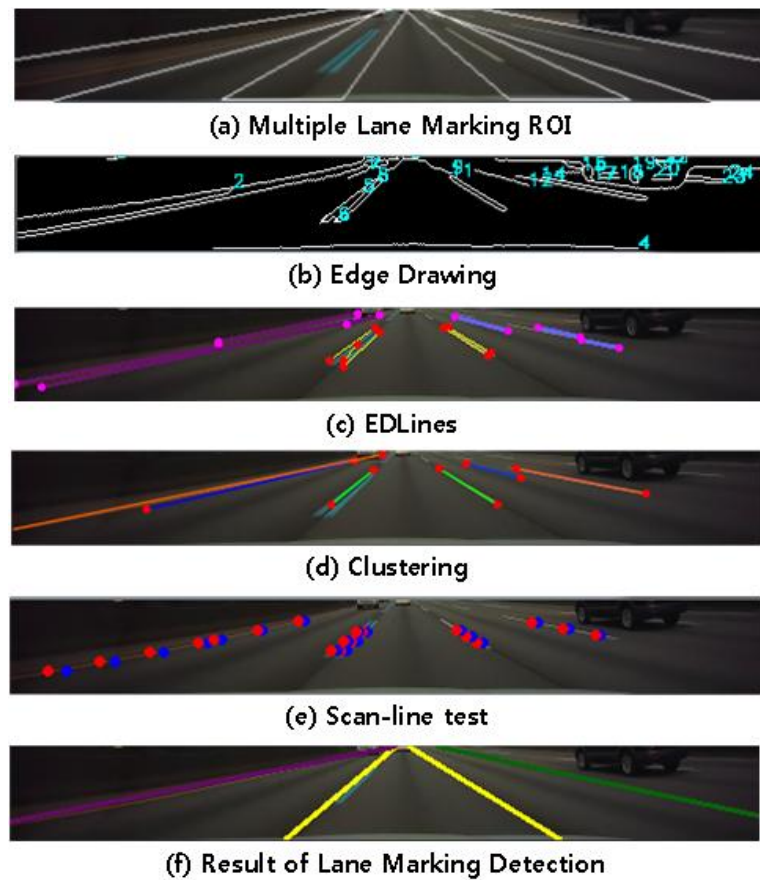
기존의 알고리즘에서 차량이 주행 중인 본 차선이 주로 발견될 것으로 예상되는 [그림 3-5]의 Λ -ROI(a)를 설정하였다. 이에 주변 차선 탐지 알고리즘은 1단계로 Λ -ROI 영역 밖에서 주변 차선으로 인정될만한 후보군을 찾은 후 본 차선 인식 알고리즘과 같은 방식으로 차선 인식을 진행한다. 주변 차선을 인식하지 않는 기존의 알고리즘은 Λ -ROI 영역을 제외한 나머지 영역의 영상 정보를 0으로 만들고 사용하지 않지만, 제안하는 주변 차선 인식 알고리즘에서는 전체 도로 관심 영역 내에서 선분을 인식한 후, Λ -ROI 영역은 찾아진 선분들로부터 본 차선을 구분하는 바운더리 역할을 하게 되고, 주변 차선 또한 반복적으로 나타나는 선분으로부터 차선 후보를 결정한 후 주변 영역을 SA-ROI(Side Lambda - ROI)(b)로 가지게 된다.



[그림 3-5] 다중 차선 관심 영역(ROI)

3.3.3 차선 특성을 이용한 주변 차선 인식

3.3.1절에서 설명한 차선 인식 및 판단 방식을 동일하게 적용하여 주변 차선 인식을 진행하였다. 주변 차선의 경우 차선이 없거나 조명이 약한 밤의 도로의 경우 발견이 되지 않을 수 있다. 하지만 차선이 차량을 이탈하려고 한쪽으로 치우치게 되면 차선 정보가 명확하게 드러나게 되어 차선 이탈 시 새로운 차선을 정확하게 인식할 수 있다. 주변 차선 인식은 본 차선 인식 후 설정된 Λ -ROI[22]와 $S\Lambda$ -ROI(a) 영역 내에서 선분 인식(b, c) 및 차선 경계선 후보군 클러스터링 작업(d), 히스토그램 분석을 통한 저-고-저 Scan-line 검증(e), 차선의 폭, 소실점 등을 분석하여 최종 차선 경계선 후보로 판단(f) 과정을 거친다.



[그림 3-6] 주변 차선 인식 순서

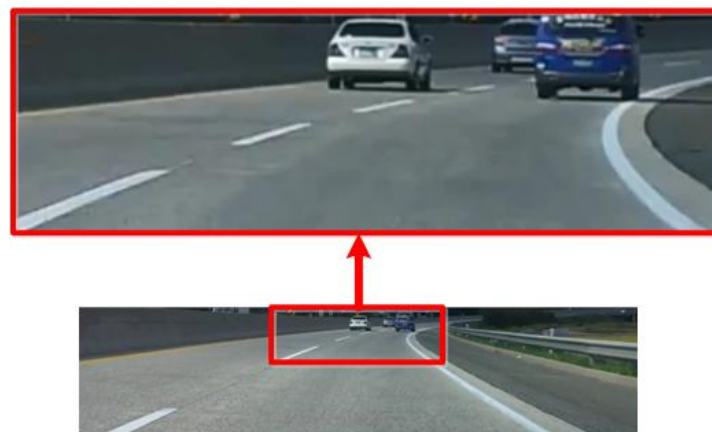
3.4 곡선 차선 인식

3.4장에서는 곡선 도로에서 발견되는 곡선 차선 경계선 인식 알고리즘에 대하여 소개한다. 블랙박스 영상에서 나타나는 곡선 도로의 차선의 특성을 이용한 곡선 차선 인식 및 곡률 계산 알고리즘을 제안한다.

3.4.1 곡선 차선 인식 알고리즘

입력 영상으로부터의 차선 인식 시 곡선도로에서의 차선 인식은 차량 바로 앞쪽의 차선 인식과는 다르게, 소실점 부근의 선명하지 않은 정보

들을 이용하여 곡선 차선들을 인식해야 한다. 또한 차량 바로 앞쪽에서는 차선이 곧은 직선으로 나타나지만, 곡선도로에서 소실점 근처는 선분이 아닌 곡선이 나타난다. 곡선 차선 인식 알고리즘은 Lane Model[23]이나, RANSAC을 이용한[24] 연구가 활발히 진행되었으나, 맑고 깨끗한 날씨에서만 검증하였고 실제 적용시 실시간을 보장할 수 없다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 경우, FHD(1920*1080) 영상을 축소하여 사용하는데 [그림 7]의 아래와 같은 축소된 영상 이미지에서는 정확한 차선인식이 어려우나, [그림 7]의 위 이미지와 같이, 소실점 부근의 영상을 FHD 이미지 데이터에서 가져와서 인식한다면 바로 앞쪽의 도로 영역과 비슷한 형태로 차선이 인식된다.

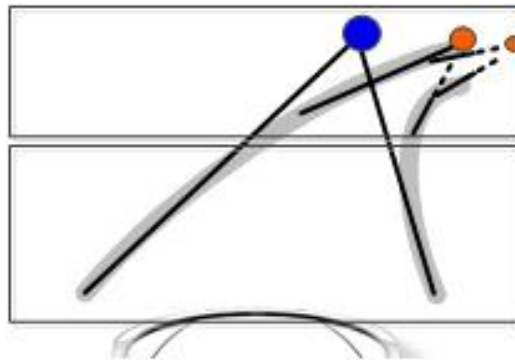


[그림 3-7] 원본 FHD에서의 소실점부근의 도로영역(위),
축소한 이미지에서의 도로 영역(아래)

3.4.2 차선 곡률 계산

곡선 차선 인식 시 발견되는 위 영역의 차선과 아래 영역의 소실점을 비교하면 차선의 곡률을 계산 가능하다. [그림 3-8]에서 소실점 부근에서 발견된 앞쪽 차선들의 소실점의 X좌표와 주행 중인 차량의 바로 앞

쪽에서 발견된 주 차선의 소실점 X좌표의 위치에 따라 곡선 도로가 좌측, 우측인지 판단 가능하다. 또한 [표 3-1]에서 표기한 소실점의 좌표의 차이를 기준으로 현재 주행 중인 도로가 좌측 또는 우측으로 휜 경우, 조향을 위한 곡률 정보를 예측할 수 있다.



[그림 3-8] 곡선 도로에서의 소실점 변화

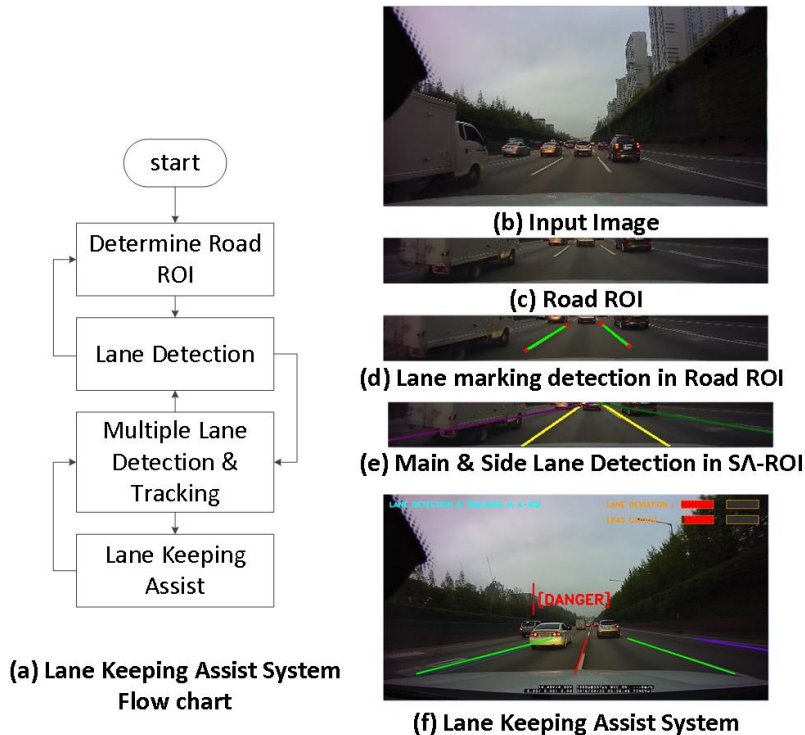
[표 3-1] 소실점의 X좌표 차이에 따른 곡률 정보

기준	좌측	우측
소실점 X좌표 차이	$\text{현재X} - \text{미래X} > 0$	$\text{현재X} - \text{미래X} < 0$
곡선 도로 주의	현재 차선 경계선의 끝점 좌표를 벗어나지 않음	
곡선 도로 경보	현재 차선 경계선의 끝점 좌표를 벗어남	

제 4 장 실시간 차선 유지 보조 장치

4.1 차선 유지 보조 장치(LKAS) 개요

4.1장에서는 본 논문의 3장에서 제안한 차선 인식 알고리즘을 기반으로, 본 차선과 주변 차선의 값을 이용하여 차선 이탈률을 계산하는 시스템을 제안한다. [그림 4-1]의 (a)는 전체 시스템 순서도이다. 입력 영상 (b)에서 본 논문의 3.2절에서 소개한 방식으로 도로 영역(c)을 분리한다. 분리된 도로 영역에서 차선 후보를 인식하고, 본 차선 인식 후 주변 차선 인식을 진행(e)하여 차량의 차선 이탈 여부를 판단한다. 그리고 최종 결과인 차선 이탈률 정보와 조향 각 조절 정보를 화면에 출력하고, 차량의 차선 이탈 시 차선 이탈 경고 문구를 화면에 출력(f)한다.



[그림 4-1] 차선 유지 보조 장치(LKAS) 개요[21]

4.2 조향 제어를 위한 차선 이탈률 계산

4.2장에서는 발견된 본 차선과 주변 차선으로 찾은 소실점 정보와 차량의 중앙 위치를 이용하여 차선 이탈률 정보와 차선 곡률 정보를 이용하여 차량의 조향각을 제어하는 신호를 내보내는 알고리즘을 제안한다.

4.2.1 영상과 현실의 차량과 도로 간 관계 정의

실제 도로에서 차량의 폭과 영상에서의 차량의 폭은 카메라에 입력되는 시야각 때문에 다르게 보인다. 이를 보완하여 차선 이탈을 감지하기 위해서는, 실제 차선과 차량의 폭에 대한 정보를 영상에 반영해야 할 필요가 있다. 이를 위하여 DSDL-블랙박스 영상에서 주로 사용된 소형차의 평균 폭을 조사하여 평균을 내고, 한국 도로공사의 고속도로 표준 차선 폭을 조사하였다. 그리고 이를 알고리즘에 맞추어 사용할 수 있도록 식으로 만들었다. 소형 차량의 평균 폭은 1.85m이고 한국 도로 공사의 표준 고속도로 차선 폭은 3.5m이고, 아래 [그림 4-2]과 같다. 실제 블랙박스 영상에서는 [그림 4-3]의 (a) 같이 차량의 바로 앞부분은 넓고, 소실점 부근은 차선의 폭이 좁게 (b)의 영상처럼 나타난다.



[그림 4-2] 차량과 차선의 폭



[그림 4-3] 실제 블랙박스 영상 속 차량의 모습

이를 반영하여 영상 속에서의 차선의 폭(Road Width)과 차량의 실물 대비 영상 속에서의 폭(Car Width)를 적용한 비율 식은

$$RoadWidth : 3.5m = CarWidth : 1.8m$$

이고,

$$CarWidth = \frac{1.8m \times RoadWidth}{3.5m}$$

로 표기할 수 있다.

4.2.2 차선 이탈률 계산

차량의 차선 이탈률은 영상에서의 차량 중앙점과 소실점 비교를 통하여 아래와 같은 식으로 좌, 우를 분리하여 표현할 수 있다.

$$Departure_{ratio_L} = \frac{MP.X - VP.X + \frac{1}{2} CarWidth}{\frac{1}{2} RoadWidth}$$

$$Departure_{ratio_R} = \frac{VP.X - MP.X + \frac{1}{2} CarWidth}{\frac{1}{2} RoadWidth}$$

이에 따라 Departure Ratio 값에 따라 차량이 차선을 이탈 중인지, 정상 주행 중인지, 한쪽으로 치우쳐서 주행 중 인지 알 수 있다. 또한 차량

의 주행상태에 따라 4단계로 구분 할 수 있다.

1. 차량이 차선의 중앙부근에서 치우침 없이 정상 주행할 경우 :

$$Departure_{ratio} < 0.8$$

이때의 threshold 계산 값 : $\frac{\frac{4}{10}RoadWidth}{\frac{1}{2}RoadWidth} = 0.8$

2. 차량이 차선의 한쪽 방향에 치우쳐서 주행할 경우 :

$$0.8 < Departure_{ratio} < 1.0$$

이때의 threshold 계산 값 : $\frac{\frac{1}{2}RoadWidth}{\frac{1}{2}RoadWidth} = 1.0$

3. 차량이 차선 경계선을 밟고 완전히 넘어가기 전의 경우 :

$$1.0 < Departure_{ratio} < \frac{\frac{1}{2}RoadWidth + CarWidth}{\frac{1}{2}RoadWidth}$$

차량이 차선 경계선을 밟고 완전히 넘어가기 전의 threshold 계산 값

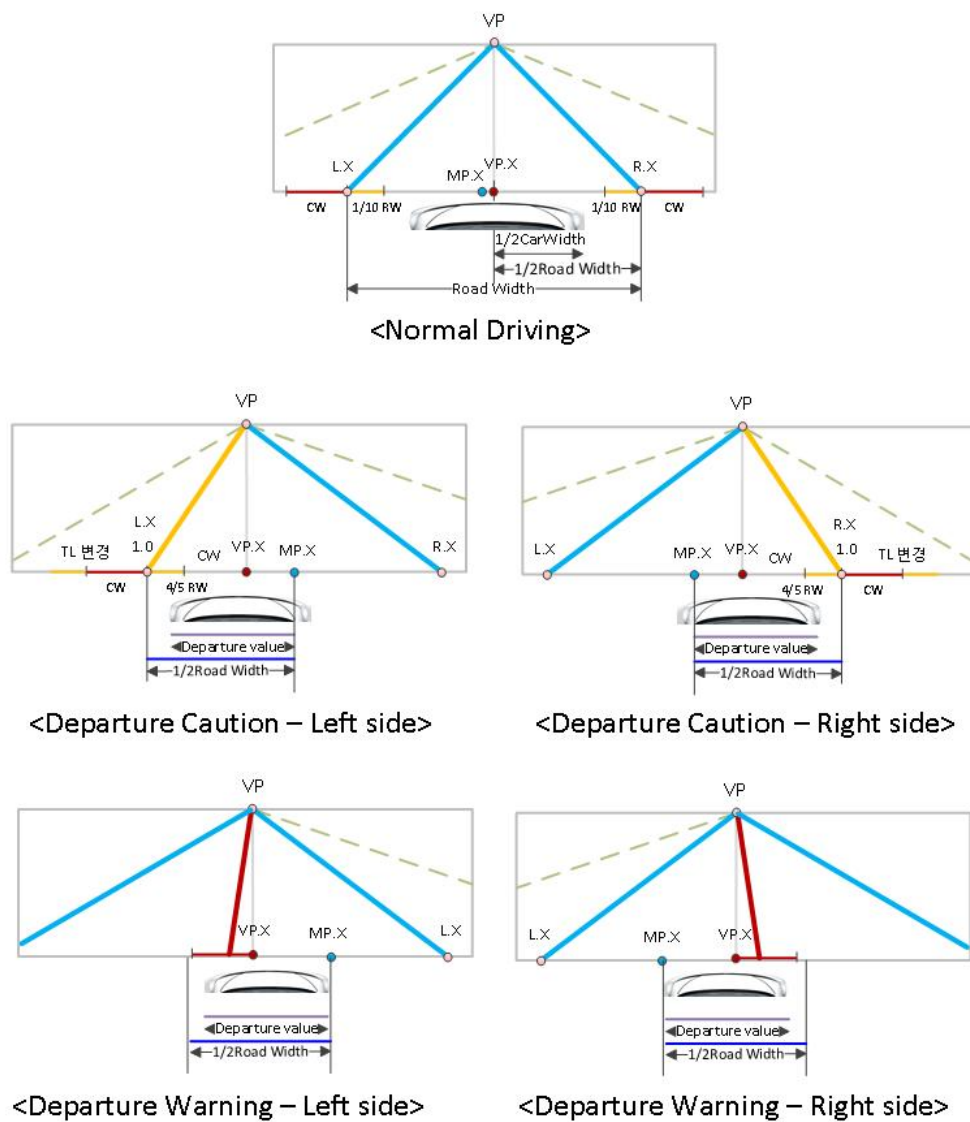
$$\frac{\frac{1}{2}RoadWidth + CarWidth}{\frac{1}{2}RoadWidth}$$

4. 차량이 완전히 차선 경계선을 넘어가는 경우 :

$$\frac{\frac{1}{2}RoadWidth + CarWidth}{\frac{1}{2}RoadWidth} < Departure_{ratio}$$

위 수식에 의하여 주행상태를 [그림 4-4]에서 일반적인 주행 상태에서 차량은 차선의 중앙에서 주행한다. 차량의 주의 경보는 차량의 왼편이

차선의 1/10 지점을 넘어서는 순간부터 차선 경계선을 밟는 순간까지이고, 차량이 완전히 차선 경계선을 넘어가는 경우 차선 이탈 경고 신호를 내보내게 된다.



[그림 4-4] 일반 주행 상태와, 좌, 우측 이탈 경고 상태의 주행 정의

4.2.3 차선 곡률에 따른 조향각 제어

앞선 3장의 4절에서 구한 차선의 곡률과 차선 이탈률을 반영하여 조향각 제어 신호를 화면에 출력하도록 알고리즘을 제안한다. [그림 4-5]는 화면에 출력되는 왼쪽, 오른쪽 차선 이탈률 및 조향각 신호 표기 방식이다. 차선이 차량의 중앙에서 운행 될 경우와 직선 도로에서는 4.1.2절의 차선 이탈률 계산 방식에 의하여 차선 이탈률이 0.8 이하로 나타난다. 차선 이탈률이 0.8 이하로 나타나지만, 3.4.2절의 차선 곡률 계산에 의하여 주행 차량 앞 영역의 소실점과, 먼 거리 영역의 소실점의 차이가 생기면 Steering Wheel 정보를 내보낸다. 또한 차량의 차선 이탈 시에도 각 단계에 맞추어 조향 정보를 내보낸다.



[그림 4-5] 조향각 제어 알림 신호

제 5 장 알고리즘 구현 결과 및 성능 검증

5장에서는 차선 인식 알고리즘 및 차선 유지 보조 시스템을 검증하고 성능을 분석한다. 먼저 여러 환경에서의 차선 인식을 위한 자동차 블랙박스 영상의 수집된 상황과, 분석 결과를 소개한다. 차선 인식률을 검증한 결과를 제시하고, 차선 유지 지원 시스템 PC와 임베디드 시스템에서의 실시간 성능을 각각 분석하여 제시한다.

5.1 DSDL-Dataset

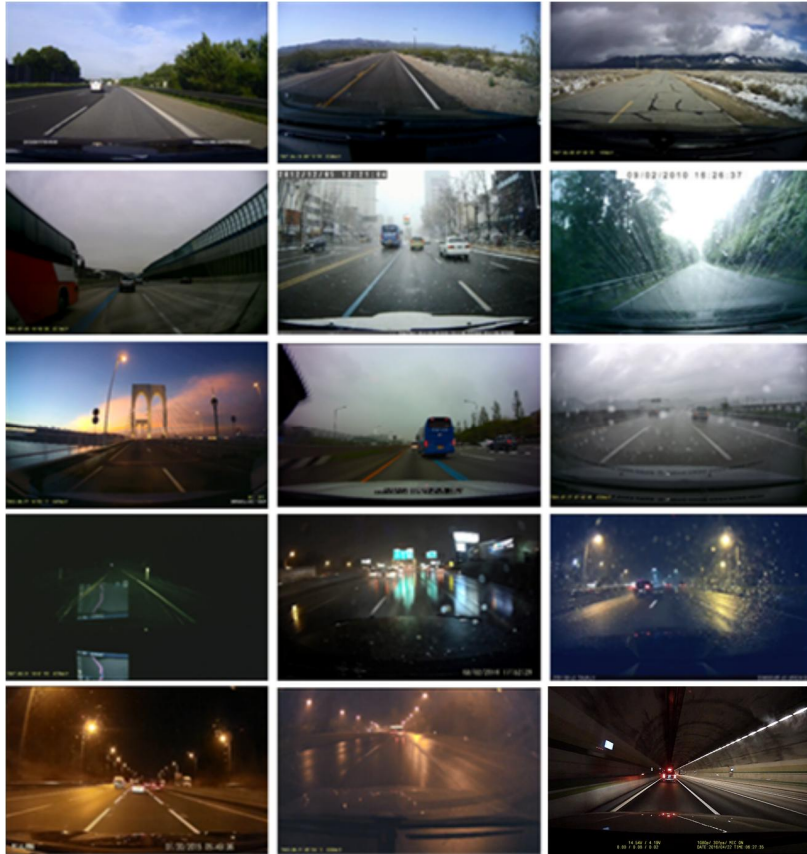
여러 환경에서의 차선 인식을 위한 자동차 블랙박스 영상의 수집된 상황과, 분석 결과를 소개한다. Digital System Design Lab에서 수집한 블랙박스 영상 자료의 범주는 [표 5-1] 과 같다. 날씨 환경에 따라 낮과 밤, 날씨에 따라 비가 오거나 눈이 오는 영상들을 수집 및 분류하였다. 1차 분류 후, 주행시 발생하는 여러 가지 상황을 모두 포함하는 Dataset을 만들었다. [그림 3-1]은 DSDL-Dataset의 예시 화면들로서, 도로 조건에 따라, 고속 도로, 일반도로, 터널 구간을 포함하는 영상들이 있다. 차선의 조건에 따라서는, 이러한 영상들 속에 발견 되는 차선이 점선, 직선 혹은 흰 선이거나 노란선, 파란선의 경우에도 영상 포함 여부 판단하였다. 이외에 차선 인식을 어렵게 하는 요인인, 주변 차량들의 유무, 고속/저속, 파손 등의 안 좋은 도로 상태, 그림자, 역광, 차량의 불빛 등 조명 상태, 평균적이지 않은 도로 폭을 가진 상황들을 가진 영상들을 수집하여 분류하고 문서화 하였다. 또한 DSDL 웹사이트[25]에 표본 영상들을 공유하였다.

[표 5-1] DSDL-Dataset 블랙박스 영상 자료[25]

Condition	Daytime			Nighttime		
	Clear	Rainy	Snowy	Clear	Rainy	Snowy
Number of videos	10	10	6	10	10	2
Total frame number	21829	20709	10928	22087	23787	5679
Highway/Urban	9/1	9/1	5/1	8/2	9/1	0/2
Tunnel	4	1	1	2	1	-
Colored	6	5	5	4	3	-
surrounding cars	3	2	2	2	2	-
Slow driving	2	2	1	1	-	-
bad road condition	1	2	-	-	-	-
illumination	3	1	-	-	-	-
back light	-	1	-	1	4	-
shadow	2	-	-	-	-	-
strange road width	1	1	-	1	1	-

[표 5-2] 외부 연구 블랙박스 영상 자료

	영상의 개수	총 frame 수	환경
Caltech[26]	4	1221	Clear, Urban
KITTI[27]	4	3357	Clear, Urban
SLD 2011[28]	1	968	Clear, Highway



[그림 5-1] 다양한 환경에서의 블랙박스 영상[25]

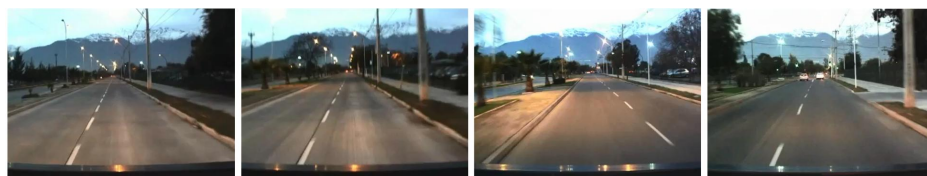
또한, 외부 논문들과의 비교를 위하여 [표 5-1]과 [그림 5-2]의 Caltech[26]에서 차선인식을 위하여 제공하는 블랙박스 영상 이미지(총 4개 영상, 1221frame)을 받아 동영상으로 복원하고, KITTI[27]에서 그림자나, 주변차량으로 인하여 비교적 차선 인식이 어려울 것으로 예상되는 도로 영역 이미지(총 4개 영상, 3357 frame)을 받아 동영상으로 복원하였다. SLD 2011[28] 영상 1개를 수집하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하였다.



[그림 5-2] Caltech 제공 주행 영상[26]



[그림 5-3] KITTI 제공 주행 영상[27]

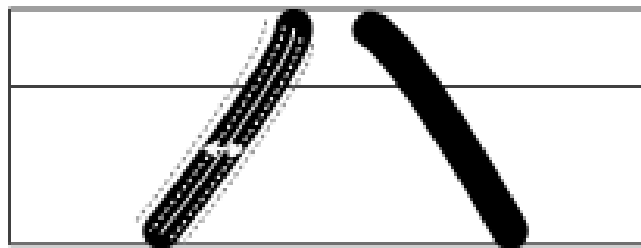


[그림 5-4] Santiago Lane Dataset 2011[28]

5.2 실시간 차선 인식 알고리즘 검증

5.2.1 차선 인식 정확도 판정 기준















FHD 영상을 기준으로 차선 경계선은 소실점부근에서는 영상마다 차이가 존재하지만 평균적으로 4-8pixel, 차량의 바로 앞쪽인 하단부근에서는 15-22의 넓이 폭을 보인다. 차선 인식을 검증은 곡선도로 영역에서의 선분 표시를 고려하여 [그림 5-5]에서 도로 영역의 아래에서 2/3 지점까지 일치 여부를 차선 넓이 폭의 좌, 우측 25% 영역까지를 기준으로 차선 인식을 성공 여부를 결정하였다.



[그림 5-5] 차선 인식 성공 기준

또한 [표 5-3]에서는 이론상의 차선 경계선 인식 판정 기준과 실제 차선 경계선 성공, 실패 경우를 제시하였다. 차선 경계선 인식 시, 차선 경계선이 차선의 바깥쪽에서 발견되거나 발견되는 각도가 실제 차선과 차이가 날 경우 차선 인식이 실패한 것으로 판정하였다.

[표 5-3] 차선 인식의 정확성 판단 기준

판정	이론	실제
Success	 <p>차선 경계선의 안쪽</p>	
Success	 <p>차선 경계선의 가장자리 안쪽</p>	
Success	 <p>차선 경계선의 가장자리 바깥쪽</p>	
Success	 <p>차선 경계선의 가장자리 바깥쪽 기울기와 안쪽 기울기의 차이</p>	
Success	 <p>가장자리 근처 기울기 차이</p>	
Failure	 <p>차선 경계선의 25%이상 차이</p>	
Failure	 <p>차선 경계선의 안쪽 가장자리 각도와 다름</p>	

5.2.2 차선 인식 정확도 검증 결과

차선 인식 알고리즘은 5.2.1절에서 소개한 차선 인식의 정확성 판단 기준에 의하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하였다. [표 5-4]에서 비교하는 차선 인식 정확도는 차선의 특성을 이용한 순수 알고리즘의 인식 정확도를 확인하기 위하여, Λ -ROI 내에서 칼만 필터의 차선 예측 및 유지 여부에 따른 차선 인식률을 확인하였다. 차선 경계선이 없는 악조건의 경우에 차선 인식이 제대로 되었는지 확인할 방법이 없으므로 이를 미포함한 경우와 포함된 경우의 인식률을 계산한 결과 차선 경계선이 없는 경우를 포함하지 않은 경우는 96.2%의 인식률을 보였다[21].

[표 5-4] DSDL-Database을 이용한 차선 인식률 검증 결과[21]

Detection Ratio		Total Frame include Departure	차선 경계선 없는 경우 포함		차선 경계선 없는 경우 미포함	
			frame	ratio (%)	frame	ratio (%)
Day time	Clear(10)	19305	18686	98.5	18632	98.8
	Rainy(10)	18170	17486	95.9	17372	96.6
	Snowy(6)	9178	8709	90.8	8534	92.1
Night time	Clear(10)	19376	19065	96.5	19017	97.0
	Rainy(10)	20816	20329	91.2	19945	93.2
	Snowy(2)	5189	5189	88.6	5160	92.1
Total		92034	89464	95.1	88660	96.2

[표 5-5]는 2.2.4절에서 분석한 Son의 알고리즘에 대한 결과물[29]을 본 논문에서 제안하는 차선 인식 정확도 기준에 맞추어 검증하였을 때, 비교되는 결과물이다. Son의 논문에서 검증 시 사용한 입력 영상과 같은 Caltech 영상에서 검증하였고, 그 외의 다른 영상들은 최대한 비슷한 환경 조건의 영상을 이용하여 성능을 비교하였다. 전체 영상에 대한 인식률 정확도는 Son의 알고리즘에 의한 결과보다 10.2% 높게 측정되었다.

[표 5-5] 같은 차선 인식 기준을 반영한 Son의 알고리즘과의 인식률 비교[21]

	입력 영상		Number of Frame	Correct	False	정 확도 (%)
Son's Algorithm [16, 29]	Caltech		309	268	41	86.7
	Sunset		785	684	101	87.1
	Day Tunnel	전	77	67	10	88.3
		안	596	540	55	90.6
		후	257	176	82	68.5
	Night Rainy		391	311	80	79.5
Total Lane Detection Ratio			2415	2046	369	84.7
Proposed Algorithm	Caltech		309	278	31	89.9
	Sunset		790	780	10	98.3
	Day Tunnel	전	80	78	2	97.5
		안	426	411	15	96.4
		후	262	249	13	95.0
	Night Rainy		400	356	44	89.1
Total Lane Detection Ratio			2267	2152	115	94.9

5.3 실시간 차선 유지 보조 장치 검증 및 성능 분석

5.3.1 차선 이탈 경고 정확도 검증

차선 이탈 경고 정확도는 차선 인식이 올바르게 되었을 경우, 차량의 차선 이탈 경고 정확도를 확인 하였다. [표 5-6]에서 69개의 영상에서 159개의 차선 이탈의 경우 91.1%의 정확도를 확인하였다. [표 5-7]에서 Phoung[21]의 이전 작업에서 차선 인식률은 87.0% 였는데, 차선 이탈 인식이 잘 되고, 비슷한 환경 조건의 입력 영상 6개를 제외하고, 추가로 11개의 인식이 어려운 환경의 입력 영상을 포함하여 더 어려운 환경에서의 인식률을 적용하였다.

[표 5-6] 차선 이탈 경고 정확도 측정 결과

Number of Videos : 69		Correct		False Negative(FN)		False Positive(FP)	
Number of Warning (true warning + FP) : 159		Number	Ratio (%)	Number	Ratio (%)	Number	Ratio (%)
Daytime	Clear (22 video, 47 case)	44	93.6	1	2.1	3	6.3
	Rainy (18 video, 41 case)	39	95.1	2	4.8	0	0
Night	Clear (17 video, 39 case)	38	97.4	0	0	1	2.5
	Rainy (12 video, 32 case)	24	75.0	3	12.5	5	15.6

[표 5-7] 이전 알고리즘과의 차선 이탈 경고 정확도 측정 비교

Number of Videos		Number of Warning (true warning + FP)	Correct		False Negative (FN)		False Positive (FP)	
			Number	Ratio (%)	Number	Ratio (%)	Number	Ratio (%)
Phuong's works[21]	67	154	134	87.0	14	9.1	5	3.9
The proposed method	69	159	145	91.1	6	3.7	8	5.5

5.3.2 PC에서의 실시간 성능 분석

차선 유지 보조 장치(LKAS)의 PC에서의 성능 검증을 진행하였다. 사용된 PC는 Intel Core i7-2600 CPU @3.40 GHz, 4.00GB RAM, 64bit 운영체제에서 검증 되었다. PC의 경우 연산 속도가 굉장히 빠르기 때문에 Road ROI 설정 단계에서는 한 frame당 연산 속도는 10.3ms, Lane Detection 단계에서는 8.05ms, Lane Tracking 시 7.65ms로 실시간 동작이 충분함을 보였다.

[표 5-8] PC에서의 성능 측정

FHD(1920X1080)		Performance	
		TpF (ms)	P (%)
RoadROI Determination	Getting Frame	4.17	40.5
	Resizing	1.09	10.6
	Lines	4.71	45.7
	Layer Analysis	0.13	1.3
	Vanishing Point	0.14	24.6
	Kalman Filter	0.15	1.5
	Total	10.3	100
Lane Detection	Getting Frame	4.17	51.80
	Resizing	1.09	13.54
	Lines	2.22	27.58
	Cluster	0.57	7.08
	Total	8.05	100
Lane Tracking	Getting Frame	4.17	54.51
	Resizing	1.09	14.25
	Lines+Cluster	2.17	28.37
	Kalman Filter	0.22	2.88
	Total	7.65	100

5.3.3 임베디드 시스템에서의 실시간 성능 분석

[표 5-9]는 임베디드 시스템에서의 실시간 성능 분석을 위하여 사용된 플랫폼 사양을 나타낸다. Altera 사의 DE1-SoC 보드에 Ubuntu 12.04 Kernel v.3.12를 포팅하여 사용하였다.

[표 5-9] 성능 측정을 위한 임베디드 시스템 사양

Platform Specification	
Processor	800MHz Dual-core ARM Cortex-A9 MPCore Processor
RAM	1GB DDR3 SDRAM (32-bit data bus)
OS	Ubuntu 12.04 LTS / Kernel v3.12
Other	C++, Opencv 2.4.11

[표 5-10]은 임베디드 시스템에서의 FHD 영상의 연산 성능과, VGA 영상의 연산 성능을 비교한 표이다. 블랙박스 영상으로부터 이미지 한 프레임을 얻어오는 시간이 가장 큰 비중을 차지하나, 이는 임베디드 시스템에서 실제로 제작 시, 카메라에서 바로 가져오게 되면 성능에 미치는 영향이 매우 감소할 것이다. VGA 영상에서의 제안하는 알고리즘의 순수 연산 시간은 29fps로서 실시간에 가깝게 연산함을 확인하였다.

[표 5-10] 임베디드 시스템에서의 FHD영상과 VGA 영상의 성능 측정

Video resolution	Processing Step	Initialization (ms)	Lane Detection (ms)	Lane Tracking (ms)	Lane Tracking with LKAS (ms)
FHD	Get Frame	66.0	66.0	66.0	66.0
	Computation	62.3	39.4	38.1	38.4
	Total	122.1	105.4	104.1	104.1
VGA	Get Frame	10.1	10.1	10.1	10.1
	Computation	55.8	33.8	34.6	34.8
	Total	65.9	43.9	44.7	44.9

제 6 장 결 론

LDWS, LKAS를 비롯한 자율 주행을 위한 첫걸음인 첨단 운전자 보조 장치가 점차 상용화 되고 있다. 현재의 운전자 보조 장치는 운전자의 전방 주시 하에 사용되고 있지만, 점차 그 영역은 모든 주행 환경에서 차량이 직접 주행 기능을 제어하고, 운전자는 아무런 역할도 하지 않게 될 것이다. 이를 위해서는 고신뢰성 및 임베디드 환경에서의 실시간 동작성이 반드시 보장 되어야한다. 본 논문에서는 이러한 요구 조건을 충족하기 위하여 임베디드 환경에 적합한 차선 인식 및 유지 알고리즘을 제안하였다.

주행 중 본 차선을 찾는 강력한 차선 인식 알고리즘을 바탕으로 주변 차선을 인식하고, 곡선 도로에서의 곡률을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 찾아진 차선 정보를 이용하여 차량의 차선 이탈을 방지하는 조향 신호를 발생시키고, 곡선 도로에서도 이를 적용하여 조향 신호를 발생시키는 차선 유지 보조 장치를 완성하였다. 제안하는 알고리즘의 검증을 위하여, 주야, 우설 등의 날씨 환경 조건뿐만 아니라 차량의 흐름, 도로 상태, 빛에 의한 방해 등 여러 가지 조건을 반영한 DSDL-Dataset을 만들어 기존의 다른 알고리즘들이 오인식하는 어려운 조건에도 관계 없이 96.2% 인식률의 차선 인식 알고리즘 및 차선 이탈 경고 알고리즘을 C++, OpenCV Library를 이용하여 개발하였고, 이를 Altera사의 DE1-SoC에서 29fps로 실시간으로 동작하게 하였다.

개선할 측면은 차선 정확도 판정 시 통일된 차선 인식 성공 여부를 판단하는 체계적인 시스템이 존재한다면, 개발된 알고리즘을 다른 알고리즘과 비교함에 있어 더욱 좋은 효과를 기대할 수 있을 것이라 생각한다. 또한 세계적으로, 차선 인식 및 물체 인식에 사용하는 영상 데이터베이스

스가 구축이 된다면 다른 알고리즘과 비교하여 객관적인 결과 자료를 만들 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 현유진, 이종훈, "자동차용 레이더 기술동향," 오토저널, 제 36권, 8호, Aug. 2014, pp. 46-53.
- [2] J. C. McCall, M. M. Trivedi, "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.7(1), March 2006, pp.20-37.
- [3] M. Bertozzi, A. Broggi, "A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection", IEEE transactions on image processing, Vol. 7(1), IEEE, Jan. 1998, pp.62-81.
- [4] N. Apostoloff, A. Zelinsky, "Robust vision based lane tracking using multiple cues and particle filtering", Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE, Columbus, OH, USA, 28 July. 2003, pp. 558-563.
- [5] D. O. Cualain, et al. "Automotive standards-grade lane departure warning system", IET Intelligent Transport System, Vol. 6(1), IET, 2012, pp. 44-57.
- [6] P. Y. Hsiao, et al. "A portable vision-based real-time lane departure warning system: Day and Night," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58(4), IEEE, 2008, pp. 2089-2094.
- [7] C. L. Huo, Y. H. Yu, T. Y. Sun "Lane departure warning system based on dynamic vanishing point adjustment," The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2012, IEEE, Tokyo, Japan, 13 Dec. 2012., pp. 25-28.
- [8] M. Tsogas, A. Polychronopoulos, A. Amditis, "Using digital maps

to enhance lane keeping support system,” 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Istanbul, Turkey, 13 Aug. 2007, pp. 148-153.

[9] L. Guo, J. Wang, K. Li, “Lane keeping system based on THASV-II platform,” IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, IEEE, Shanghai, China, 18 June. 2016, pp. 305-308.

[10] 김광수, 이주형, 김수철, 배명원, 이덕진, “이미지 트래킹 기반 상용 차용 차선 이탈 및 전방 충돌 경고 방법”, 대한기계학회 논문집, A권 Vol.39(2), Feb. 2015, pp 235-240.

[11] 정호철, 정의윤, “비전 센서를 이용한 후측방경보시스템 개발”, 한국 자동차공학회, 이천, 경기도, 대한민국, 14 Aug. 2015, pp. 107-112.

[12] 김양호, 김광수, 광수영, “퍼지로직을 이용한 보행자 충돌 경고 시스템”, 방송공학회논문지, Vol.20(3), May. 2015, pp440-448.

[13] C. Urmson, W Whittaker, “Self-Driving Cars and the Urban Challenge”, IEEE Intelligent Systems, Vol. 23(2), March-April 2008, pp.66-68

[14] http://www.mazda.com/en/innovation/technology/safety/active_safety/

[15] M. Aly, “Real time detection of lane markers in urban streets”, Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Eindhoven, Netherlands, 5 Sep. 2008. p. 7-12

[16] J. Son, H. Yoo, S. Kim, K. Sohn, “Real-time illumination invariant lane detection for lane departure warning system”, Expert Systems with Applications, Vol. 42(4), 2015, pp. 1816-1824.

[17] D. Ding, C. Lee, “Efficient real-time lane detection algorithm

using V-ROI,” Journal of IKEEE, Vol.16(4), 2012, pp. 349-355.

[18] P. M. Daigavane, P. R. Bajaj, “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, IEEE, Goa, India, 31 Jan. 2010, pp. 76-80.

[19] Y. Otsuka, S. Muramatsu, H. Takenaga, Y. Kobayashi, T. Monj, “Multitype lane markers recognition using local edge direction,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Vol. 2, IEEE, 2002, pp. 604 - 609.

[20] C. R. Jung, C. R. Kalber, “A lane departure warning system based on a linear-parabolic lane model,” 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Parma, Italy, 08 Oct. 2004, pp. 891-895.

[21] N. D. Phuong, “고성능 실시간 차선인식 알고리즘 구현, 숭실대학교 석사학위 논문”, 숭실대학교 대학원, 2016. 서울

[22] D. Ding, C. Lee, and K. Lee, “An adaptive road ROI determination algorithm for lane detection”. In TENCON 2013-2013 IEEE Region 10 Conference, IEEE. Xi'an, China, 23 Jan. 2013, pp. 1-4.

[23] J. W. Park, J. W. Lee, K. Y. Jhang, “A lane-curve detection on an LCF”, Pattern Recognition Letters, Vol. 24(14), 2003, pp. 2301-2313.

[24] H. Tan, Y.Zhou, Y. Zhu, D. Yao, K. Li, “A novel curve lane detection based on improved river flow and RANSAC”, Intelligent Transportation Systems, 2014 IEEE 17th International Conference on, Qingdao, China, 20 November 2014, pp.133-138.

[25] <http://design.ssu.ac.kr>

- [26] <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>
- [27] <http://www.cvlibs.net/datasets/kitt>
- [28] <https://www.youtube.com/watch?v=dz9eKohpjjc>
- [29] <http://diml.yonsei.ac.kr/jison/LDW/>