

碩士學位論文

무인차량의 주행을 위한 향상된
차선검출 알고리즘 설계

Design of Advanced Lane Detecting Algorithm
for Unmanned Vehicle

國民大學校 自動車工學專門大學院
전자제어 시스템 專攻

金 昌 萬

2002

무인차량의 주행을 위한 향상된
차선검출 알고리즘 설계

지도교수 김 정 하

이 논문을 석사학위 청구논문으로 제출함

2003 年 6 月 9 日

국민대학교 자동차공학전문대학원
전자제어 시스템 전공


김 창 만


2002

김창만의

석사학위 청구논문을 인준함

2003 年 6 月 9 日

심사위원장 이운성 

심 사 위 원 박기홍 

심 사 위 원 김정하 

국민대학교 자동차전문대학원

목 차

국문요약	i
Nomenclature	ii
List of figures	iii
Tables	v
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구동향	2
3. 연구목적 및 내용	3
II. 시스템 개요	4
1. 차량 시스템	4
2. 비전 시스템	6
2.1 비전 시스템의 구성	7
3. 통신 시스템	9
III. 알고리즘의 구성.....	10
1. 알고리즘의 개요.....	10

IV. 차선검출 알고리즘.....	12
1. 전처리.....	12
1.1 입력영상 및 검색구간 설정.....	12
1.2 윤곽선 검출 및 Threshold.....	13
1.3 필터.....	17
2. 차선정보 추출.....	20
2.1 후보 픽셀결정.....	20
3. 차선인식.....	21
3.1 곡선 근사.....	21
V. 실험 및 결과.....	24
1. 실내 Test.....	25
2. 실외 Test.....	30
VI. 결론.....	33
참고문헌	34
영문요약	36

국 문 요 약

본 연구는 비전시스템(Vision System)을 이용하여 무인차량의 주행을 위한 향상된 차선검출 알고리즘(Algorithm) 설계에 목적이 있다. 이전의 차선 인식(Lane Recognition) 방법은 도로의 영상에서 차선을 추출한 후 4개의 점을 이용해 차량의 조향값을 구했기 때문에 차선의 손실이나 잡음들로부터 오차가 발생할 수 있다. 본 알고리즘은 좀더 정확한 차선의 정보를 얻기 위해 개발하였다. 본 연구에 사용된 알고리즘은 AGV(Autonomous Guide Vehicle)와 LDWS(Lane Departure Warning System), ACC(Adapted Cruise Control)에 사용될 수 있다.

개발한 알고리즘 구현을 위해 우리는 1/10 스케일의 RC카를 이용하였으며, 차량에 장착된 CCD카메라로부터 얻어진 영상 정보는 무선 영상 전송모듈(Wireless Video Transmit Module)을 통해 메인 컴퓨터로 전송된다. 메인 컴퓨터는 전송된 도로영상에서 차선의 정보를 찾고, 차량의 제어 값을 계산한다. 그리고 이 값을 다시 차량으로 전송하고 차량은 이 값을 받아 방향을 제어하게 된다.

본 논문에서는 정확한 차선의 정보를 얻기 위해 먼저, 256 그레이 레벨(Gray Level)로 표시되는 영상입력에서 에지(Edge)를 검출한다. 검출된 픽셀(Pixel)들의 곡선 근사(Curve Fitting)를 통해 차선의 직선방정식을 구하고, 이 직선을 이용하여 차량의 제어 값을 계산한다.

이 연구에서 영상의 잡음 제거를 위해 메디언(Median) 필터를 사용하였고, 처리속도 향상을 위해 특정 부분의 영상만을 사용하였다.

Nomenclature

∇F	: Gradient of Vector
G_x	: Gradient Value of x Coordinate
G_y	: Gradient Value of y Coordinate
∇f	: Magnitude of Vector
a	: Coefficient of Equation
n	: Collection Number of x, y Point
e	: Error of Equation
S_r	: Sum of Square Element
x	: Value of x Coordinate
y	: Value of y Coordinate
\bar{x}	: Average of x Point
\bar{y}	: Average of y Point

List of Figures

Fig. 1.1	ITS(Intelligent Transport System) Societies and Communities	1
Fig. 2.1	Unmanned Vehicle System Concept	4
Fig. 2.2	Control System of Vehicle	6
Fig. 2.3	Configuration of Vision System.....	6
Fig. 2.4	Wireless Video Transmitter and Receiver	8
Fig. 3.1	Extract Point of Right and Left Lane	10
Fig. 3.2	Lane Detecting Flow Chart.....	11
Fig. 4.1	Searching Range.....	12
Fig. 4.2	Concept of Edge.....	13
Fig. 4.3	Mask Method for Edge Detection.....	15
Fig. 4.4	Sobel Mask.....	16
Fig. 4.5	Result of Edge Detection.....	16
Fig. 4.6	Method of Equalizing Filter.....	17
Fig. 4.7	Method of Median Filtering.....	18
Fig. 4.8	Compare of Filtering Result.....	18
Fig. 4.9	Compare of Filtering Result on Input Image	19
Fig. 4.10	Method of Lane Detecting	20
Fig. 4.11	Searching Lane.....	21

Fig. 5.1	Environment of Test.....	24
Fig. 5.2	Test Program.....	25
Fig. 5.3	Lane Information(Non Loss and Noise, Indoor).....	26
Fig. 5.4	PWM Value(Non Loss and Noise, Indoor).....	27
Fig. 5.5	Lane Information(Loss and Noise, Indoor).....	28
Fig. 5.6	PWM Value(Loss and Noise, Indoor).....	29
Fig. 5.7	Lane Information(Loss and Noise, Outdoor).....	31
Fig. 5.8	PWM Value(Loss and Noise, Outdoor).....	32

Tables

Table	2.1	Specification of 1/10 RC Car	5
Table	2.2	Specification of Micro CCD Camera	7

I. 서론

1.1 연구 배경

현대 사회는 차량의 지속적인 증가와 도로 증가의 제한성 및 운용의 비효율성으로 인해 해마다 많은 인적, 물적 손실을 입고 있는 실정이다. 이에 미국, 일본, 유럽 등을 중심으로 교통혼잡 및 사고를 예방하고 정숙한 운행조건을 구현할 수 있는 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transportation System)에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 여기에는 지능형 도로 시스템(AHS: Advanced Highway System), 자동차 항법장치(CNS: Car Navigation System), 첨단 자동차 제어 시스템(AVCS: Advanced Vehicle Control System)등 여러 분야가 있다.

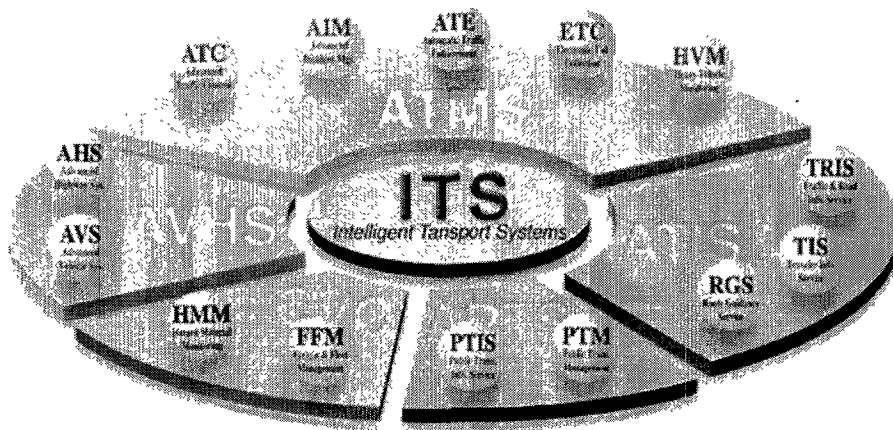


Fig. 1.1 ITS(Intelligent Transport System) Societies and Communities

특히 AVCS의 일부로, CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 이용하여 주행중인 자동차의 전면의 영상 정보를 처리하여 도로의 경계 및 차선, 선행 차량, 물체 등을 인식하고 차량의 위험 경고 시스템 및 자동 주행 제어 시스템에 명령을 전달하는 머신 비전(Machine Vision) 기술은 자동차를 지능화하는데 중요한 기술 중 하나로 인식되고 있다.

1.2 연구동향

일반 도로환경에서의 영상정보를 이용한 조향제어 연구는 1980년대 이후 AHS, AVCS, PATH(The California partners of advanced transit and highways)등과 같은 새로운 모델 개발 및 활용도 개선 방안에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 연속영상정보를 이용한 2차원 환경 내에서의 방향 결정을 위한 신경회로망 및 ego-motion에서의 칼만필터를 이용한 초점거리 측정 방법, 신경회로망을 이용한 도로형상 학습방법 등이 90년대 초 연구되었지만 복잡한 알고리즘에 의해 많은 연산시간이 소요되었다. Wang은 ‘차선 경계는 평행하며, 연속적으로 부드럽게 변한다’라는 가정 하에 도로 정보 검출 문제를 제한된 최적 문제로 접근했다. Broggi는 쉽고 빠르게 정보를 추출하기 위해 고안된 하드웨어를 이용했고, Lin은 도로의 영상으로부터 도로 정보를 추출하는데 초점을 두었고, 실차를 위한 실시간 적용에 중점을 두지 못하였다. Carnegie Mellon 대학이 중심이 되어 진행되고 있는 AHS, RALPH는 도로 곡률 계산에 매칭을 적용함으로써 여러 도로 형태에도 잘 적용할 수 있는 강인한 알고리즘을 제시한 바 있다. 하지만 정확한 곡률 모델을 구하기 위해서는 반복 계산이 필요하고 주행 차선의 정보가 바뀔 때마다 다른 모델을 사용해야 하는 어려움이 있다. Dickmann이 제안한 모델에 기반한 방법도 모델에 대한 의존성이 크며 모델의 정확성이 떨어지면 반감되는 단점이 있다.

1.3 연구 목적 및 내용

본 논문은 차량의 자율 주행에 가장 중요한 요소인 도로에 대한 차량의 상대 위치를 구하기 위하여 CCD를 이용해서 도로의 차선을 좀더 강인하고 유연하게 인식하는 알고리즘 구현에 목적이 있다. 기존의 차선인식 방법으로는 그림자, 타이어 마크, 도로의 마모로 인한 차선손실 등의 다양한 잡음 요인과 차선이 주기적으로 끊어진 경우에 대해서 신뢰성 있는 정보를 추출하기 어려웠다. 이에 좀더 정확한 정보를 획득하기 위해 알고리즘을 구현하였다.

본 논문의 내용은 다음과 같다.

I 장에서는 본 연구의 배경 및 목적과 연구동향에 대해서 서술하였고, II장에서는 고안된 알고리즘을 적용하기 위한 시스템에 대해 간략히 설명하였으며, III장에서는 알고리즘의 구성, IV장에서는 도로 영상의 에지 정보에 기반한 차선 인식 알고리즘을 설명하였다. 그리고 V장에서는 차량에 적용하여 그 성능을 평가 하였다. 마지막으로 VI장에서는 실험 결과를 토대로 총체적인 결론을 서술하였다.

II. 시스템 개요

본 연구는 소형 모형차량을 이용하여 이루어졌다. Fig. 2.1은 소형 모형차량을 이용하여 구성한 무인주행차량의 시스템 Concept을 보여준다. 이 시스템은 크게 주행을 위한 차량 시스템과 도로 영상의 획득을 위한 비전시스템, 입력된 영상으로부터 차선정보를 추출하기 위한 메인 PC, 차량과 메인PC간의 통신을 위한 통신시스템으로 구성하였다.

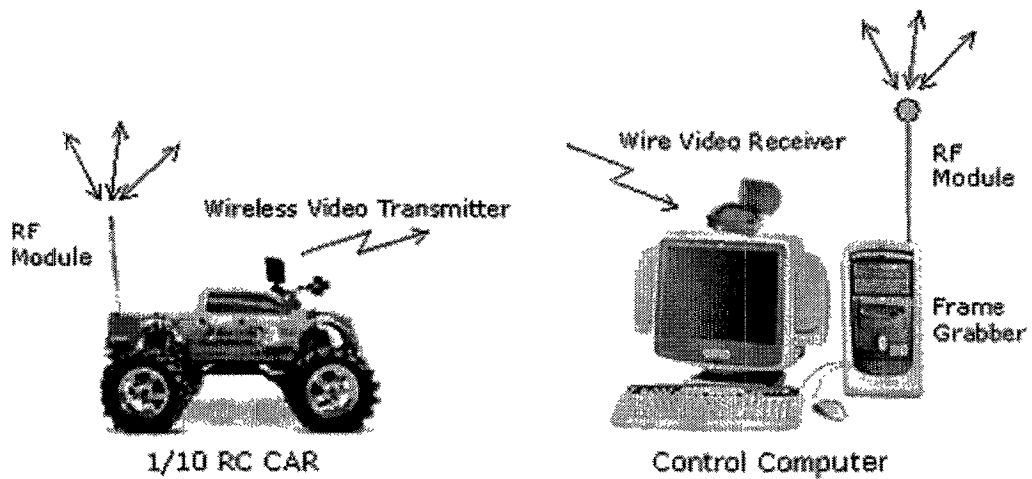


Fig. 2.1 Unmanned Vehicle System Concept

2.1 차량 시스템

본 연구에서는 TAMIYA사의 1/10 Scale의 RC Car를 사용하였다. 이 차량은 7.2V 전원을 사용하고 두개의 DC모터로 구동 된다. DC 모터를 위한 전용 드라이버를 사용하였으며 PWM(Pulse Width Modulation)으로 구동 된다.

본 연구에 사용한 차량의 사양은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Specification of 1/10 RC Car

1/10 SCALE RC CAR SPECIFICATION		
Overall Length		510 mm
Overall Width		385 mm
Overall Hight		297 mm
Wheel Base		330 mm
Wheel Tread	Front	297 mm
	Rear	297 mm
Dry Weight		5.01 kg
Ground Clearance		8 cm
Body		Plastic
Battery		7.2V 3000mA
Trans Axle		34:1, Bevel Gear
Suspension	Front	Solid Axle Multi-link Plastic coil-over oil filled
	Rear	
Steering		Ball Joint
Frame		Aluminum Ladder
Tire		V-Lug Pattern
Motor		540 * 2

이 차량 시스템은 차량무게와 실험장비의 무게를 이겨낼 수 있는 충분한 토크를 가진 2개의 DC모터로 구성된 가속시스템과 소형 RC모터를 사용하여 일반 차량과 같은 구조로 이루어진 조향 시스템, 차량의 주행 조건과 물체 감지를 위한 센서 시스템으로 구성되어 있다. Fig. 2.2는 차량시스템의 개요를 보여준다.

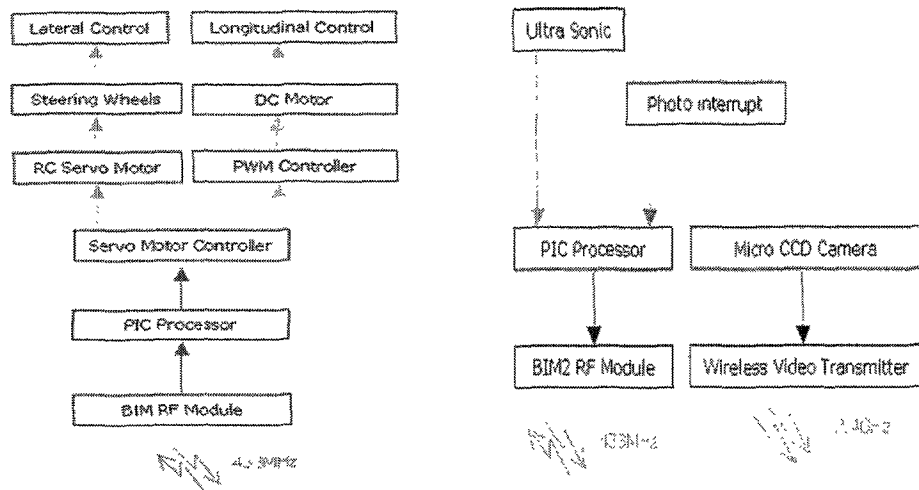


Fig. 2.2 Control System of Vehicle

2.2 비전(Vision) 시스템

본 논문에서는 도로의 정보를 획득할 수 있는 장점과 함께, 여러 기법들을 사용해 차선 인식성을 향상시킬 수 있는 뛰어난 확장성을 가지고 있기 때문에 도로의 영상정보를 획득하기 위한 센서로 비전센서를 선택하였다.

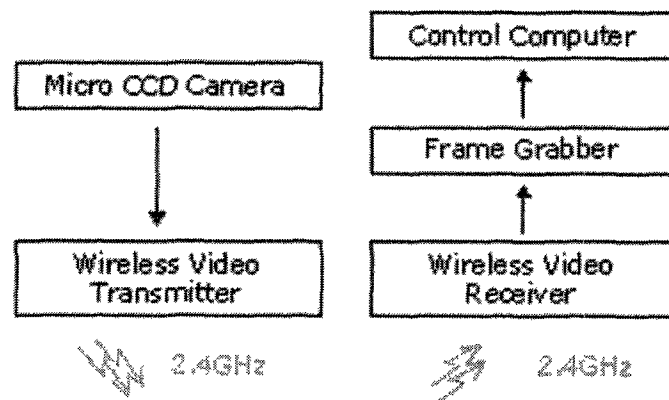


Fig. 2.3 Configuration of Vision System

2.2.1 비전 시스템의 구성

Micro CCD 카메라와 Frame Grabber, 무선영상송수신장치(Wireless Video Transmitter and Receiver), 컴퓨터를 이용하여 비전시스템을 구성하였다. Fig. 2.3은 시스템에서 사용된 비전 시스템의 구성과 영상 신호의 흐름을 보여준다.

Table 2.2 Specification of Micro CCD Camera

Model	WM-231CS
Image Device	1/4" Interline CCD
Number of Pixels	NTSC : (H)510 * (V)492
Scanning System	Internal Synchronization
Horizontal Resolution	330 TV Line
Video Output	1Vp-p 75 Ω , Negative
Gamma Characteristic	0.45
Power Consumption	12V \pm 10% DC, 100 mA
Lens	F: 3.6
Dimension	25(W) * 25(H) * 81(D) mm

CCD를 통해 입력된 영상신호는 무선영상전송장치로 Frame Grabber에 전달되며, 이는 메인PC에서 원하는 정보를 추출하기 위한 처리과정을 거친다. 실험에 사용한 CCD 카메라는 Micro CCD를 사용하였고, 비전 보드는 NI(National Instrument)사의 IMAQ Vision

보드를 사용하였으며 영상처리를 위하여 Pentium 4급의 컴퓨터를 사용했다. 또한 프로그램의 개발을 위해 Microsoft의 Visual BASIC과 Measurement Studio를 사용하였다. Table 2.2는 비전 시스템에 사용된 CCD 카메라의 사양을 나타낸 표이다. 이 카메라는 최대 510×492 픽셀(Pixel)의 해상도를 갖는 NTSC방식의 CCD 카메라이다.

본 논문에서는 차량에 장착된 CCD 카메라로부터 입력 받은 영상정보를 메인 PC의 Frame Grabber 까지 전송하기 위하여 전송 주파수가 2.4GHz인 무선 영상 송수신 장치를 사용하였다.

Fig. 2.4는 무선 영상 송수신 장치의 사진이다. 이 제품은 고주파 대역을 사용하여 전송 거리가 길어지고 잡음의 영향을 적게 받기 때문에 영상을 원거리 전송하여 영상 처리하는데 적합한 장치이다.

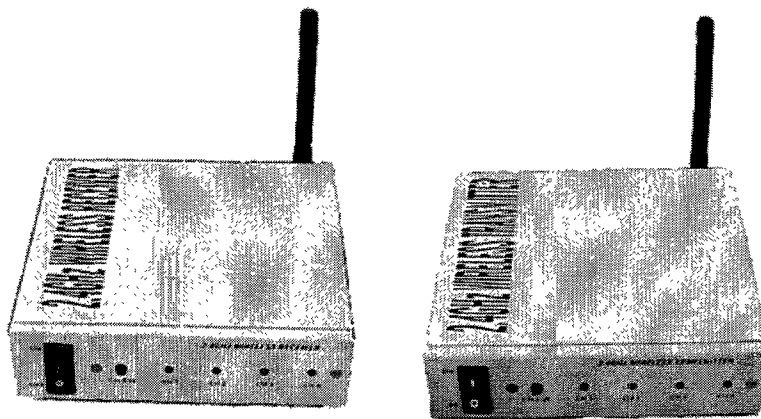


Fig. 2. 4 Wireless Video Transmitter and Receiver

2.3 통신 시스템

본 논문에서는 차량과 메인PC가 분리되어 있기 때문에 서로 통신을 하면서 데이터를 주고 받아야 한다. 그래서 통신 시스템은 일반적으로 많이 사용하고 있는 RS-232C 프로토콜을 이용했으며, 무선으로 데이터를 주고 받을 수 있도록 Radio Metrix사의 BIM RF 모듈을 사용하였다. 또한, 원활하고 명확한 데이터 전송을 위해 무선 송·수신 데이터 패킷(Packet)을 구성하여 사용하였다.

III. 알고리즘의 구성

3.1 알고리즘 개요

일반적인 차선 검출 알고리즘은 차선에 대하여 차선 경계선의 방향과 위치는 급격하게 변하지 않고, 도로와 차선 경계선은 명도가 달라 구별이 가능하다는 가정을 기반으로 한다.

본 논문에서 차선 인식을 위해 사용하는 것은 영상의 에지(Edge)정보 이다. 에지 정보는 미분연산자에 의한 밝기 값의 변화를 이용하여 구할 수 있으며, 이 에지 정보는 크기와 방향 성분을 가지고 있다. 차선의 인식을 위해서 에지의 방향 성분을 이용한다.

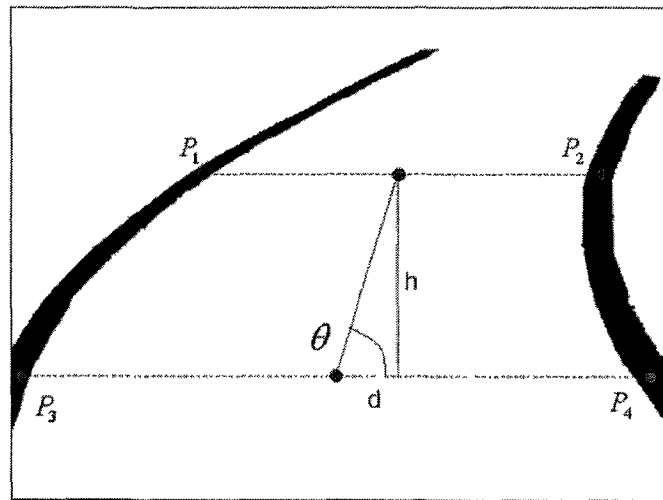


Fig. 3.1 Extract Point of Right and Left Lane

기존의 알고리즘은 차량의 조향각 θ 를 결정짓기 위해 Fig. 3.1과 같이 주어진 점 $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, $P_3(x_3, y_3)$, $P_4(x_4, y_4)$ 을 이용하기 때문에 차선의 손실이나 잡음으로 인해서 잘못된 판단을 할 수도 있다. 이에 특정 구간에서의 차선 후보 픽셀들을

이용해 산점도를 구하고, 산점도의 곡선근사(curve fitting)를 통해서 차선을 인식함으로써 기존의 오차를 줄일 수 있다. Fig. 3.2는 차선 인식 알고리즘의 구성을 나타낸다.

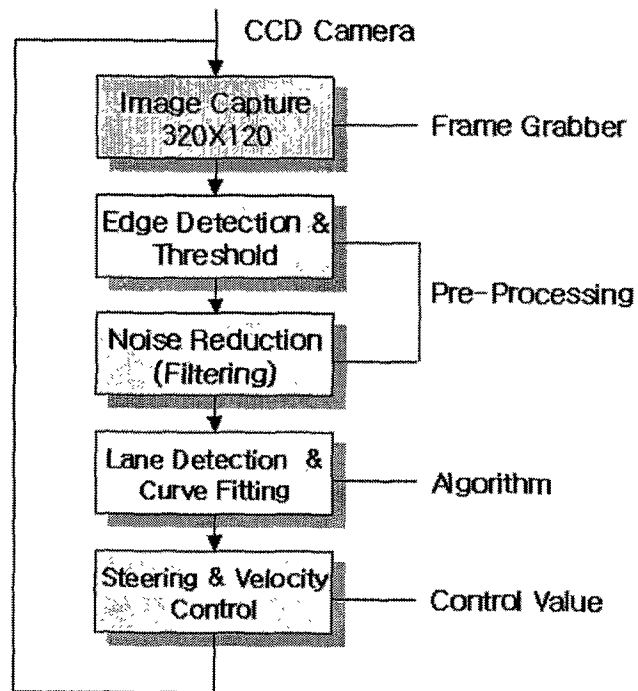


Fig. 3.2 Lane Detecting Flow Chart

IV. 차선 검출 알고리즘

비전시스템의 연산 과정은 차량의 CCD로부터 입력 받은 영상 정보를 적절한 형태로 재구성하는 전처리(Pre-Processing) 단계와, 이를 이용하여 도로의 경계 및 차선 등의 원하는 정보를 추출하는 후처리 단계로 나뉜다.

4.1 전처리(Pre-Processing)

4.1.1 입력영상 및 검색 구간 설정

본 논문에서는 CCD 카메라로부터 320×120 크기의 8bit gray영상을 입력 받는다. 입력 영상의 전구간을 처리하기 위해서는 많은 처리 시간을 필요로 한다. 이에 알고리즘의 처리시간을 줄이기 위해서 Fig. 4.1과 같이 검색 구간을 설정하였다. 차선의 정보가 항상 검색 구간에 포함되도록 카메라를 차량의 중앙에 설치하고, 차량이 항상 차선의 중심에서 시작한다는 가정 하에 검색 구간을 설정하였다.

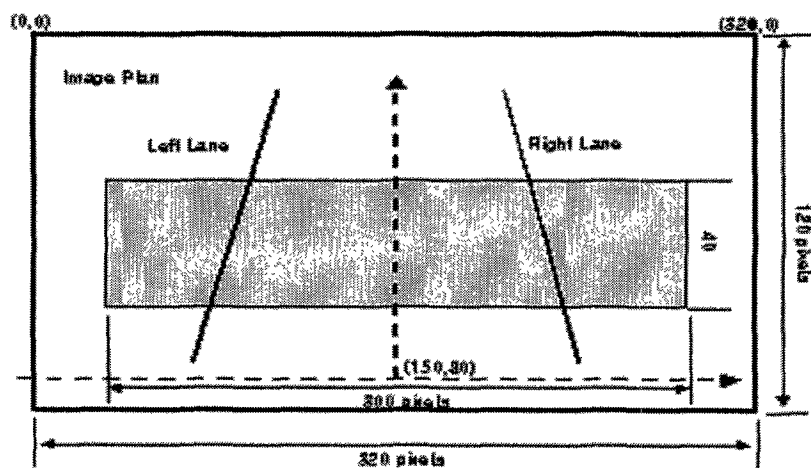


Fig. 4.1 Searching Range

4.1.2 윤곽선 검출(Edge Detection) 및 Threshold

4.1.2.1 윤곽선

윤곽선은 영상 안에서의 영역의 경계(예를 들면 대상물과 배경)을 나타내는 특징으로 픽셀 밝기의 불연속 점(픽셀의 밝기가 갑작스럽게 변하는 점)을 나타낸다. 윤곽선은 영상 안에 있는 물체의 윤곽에 대응되며 많은 정보를 가지고 있는 물체의 위치, 모양, 크기, 표면의 무늬 등에 대한 정보를 보여준다. 윤곽선에 해당하는 픽셀을 구하는 방법을 윤곽선 검출이라고 하며, 현재 까지 여러 가지 방법이 제안되었다. Fig. 4.2는 픽셀의 급작스러운 밝기 변화에 의한 예를 나타낸 것이다.

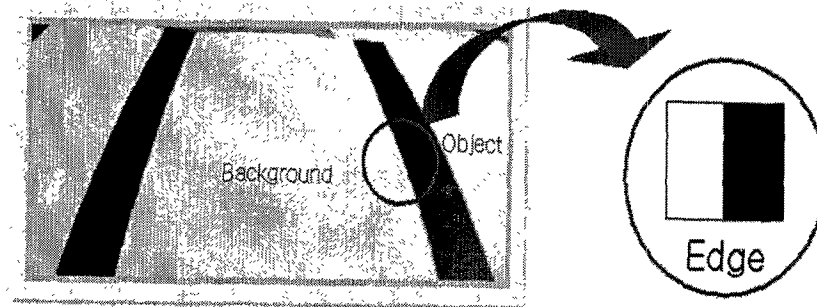


Fig. 4.2 Concept of Edge

4.1.2.2 그래디언트(Gradient)

영상에서의 기울기를 그래디언트라고 하는데 영상에서 그래디언트의 크기를 구하면 윤곽선을 구할 수 있게 된다. 그래디언트가 윤곽선 검출에 있어서 중요한 이유는 윤곽선은 영상의 밝기 값이 급격히 변하는 부분에 존재하므로 이는 그래디언트의 크기가 큰 곳이

윤곽선이라 말할 수 있기 때문이다. 영상 $f(x,y)$ 의 위치 점 (x,y) 에서의 기울기 벡터는 다음과 같이 나타난다.

$$\nabla F = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta f}{\delta x} \\ \frac{\delta f}{\delta y} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

따라서, 이 벡터의 크기를 구하면 아래와 같다.

$$\nabla f = mag(\nabla F) = \left[G_x^2 + G_y^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

또한, 그래디언트의 방향 역시 중요한 값인데 방향 값은 영상 안의 여러 개의 윤곽선들 중에서 윤곽선을 구분하는 기준이 된다. 즉, 방향 값이 서로 같은 윤곽선은 하나의 윤곽선으로 구분되어 지며, 그래디언트의 방향 값은 다음과 같다.

$$a(x,y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (4.3)$$

4.1.2.3 윤곽선 검출

윤곽선 검출 알고리즘은 여러 종류가 있다. 미분연산자를 이용하여 미분 값을 구하는 직접적인 계산보다는 Fig. 4.3과 같이 마스크를 이용하는 방법이 더욱 효과적이다.

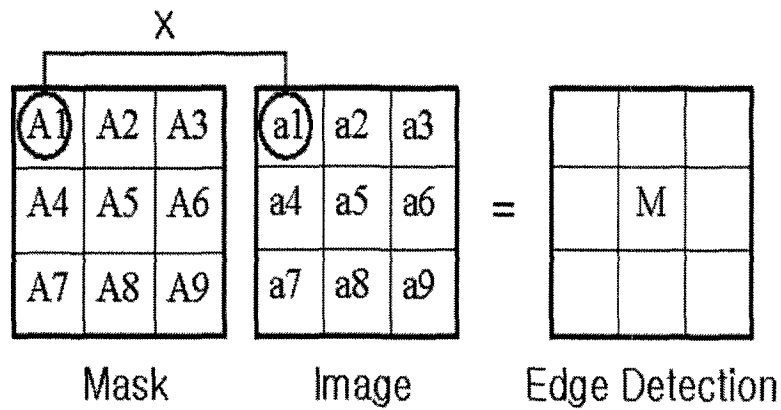


Fig. 4.3 Mask Method for Edge Detection

다음과 같이 원 영상 안의 픽셀들을 마스크의 동일 위치에 해당하는 픽셀들과 곱하고 모든 픽셀을 더하여 중심 픽셀에 할당하면 윤곽선이 된다.

$$M = A1 \times a1 + A2 \times a2 + \dots + A9 \times a9 \quad (4.4)$$

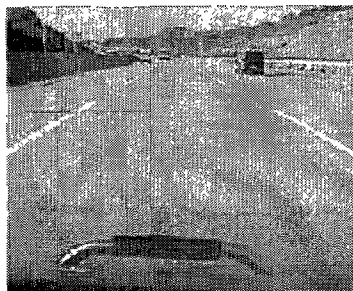
미분연산자에 따른 마스크의 형태도 다양한데 어떤 마스크이든지 3×3 모든 픽셀들의 합은 항상 0이라는 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 차선의 에지 정보를 검출하기 위해서 3×3의 소벨(Sobel) 마스크를 사

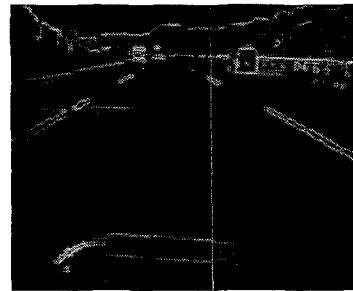
용하였다. 소벨 마스크는 2차 미분 연산자이며, x축, y축으로 각각 한번씩 미분하게 되어 있다. 마스크의 행렬형태는 Fig. 4.4와 같다.

-1	0	1	1	2	1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	-1	-2	-1

Fig. 4.4 Sobel Mask(G_x , G_y)



Input Image



Sobel Mask



Sobel and Threshold

Fig. 4.5 Result of Edge Detection

일반적으로 입력 영상으로부터 에지를 추출하면 잡음 요소들로 인하여 에지 크기가 작

은 에지 점들이 존재하게 된다. 차선 경계선에 관계된 에지점들을 제외한 잡음으로 인해
서 나타나는 에지 점을 제거하기 위하여 임계값(Threshold)을 적용한다. Fig. 4.5는 입력
영상과 소벨 마스크를 이용한 에지 추출, 임계값을 적용한 결과이다.

4.1.3 필터(Filter)

필터란 이미지 내에 존재하는 일정형태 혹은 랜덤(Random)한 잡음(Noise)을 제거하는
방법을 말한다. 잡음의 성질에 따라 제거하는 방법도 이동평균법, 메디안 필터(Median
Filter)등 다양하다. Fig. 4.6은 이동평균법으로 잡음을 제거하는 것을 보여준다. 여기서 주
목 픽셀은 P_4 이다. 주목픽셀 근방 8개의 픽셀 값들의 평균값이 출력영상에서의 픽셀 값
이 된다. 주목 픽셀과 근방 8개의 픽셀들의 평균값으로 출력 영상의 픽셀 값을 결정한다.

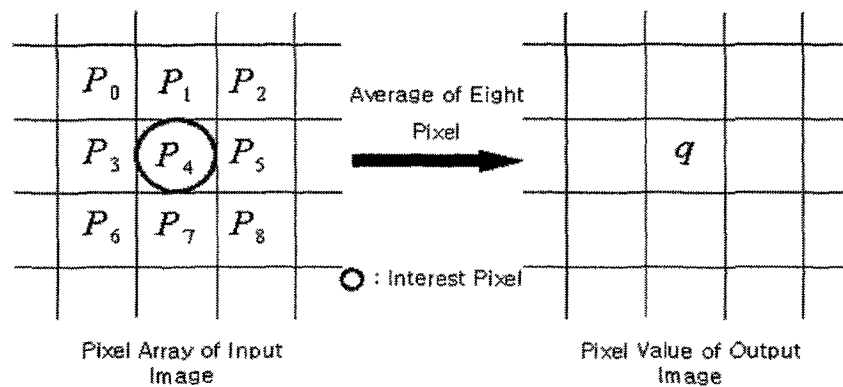


Fig. 4.6 Method of Equalizing Filter

메디안 필터는 이미지 내에서 어떤 특정 픽셀과 주위를 둘러싼 8개의 픽셀들의 밝기
값을 작은 순으로 나열하고, 이 때의 중앙값을 출력 영상의 픽셀 값으로 정한다. 이와 같

이 메디언 필터란 어떤 픽셀의 주변 영역 내에 대한 픽셀 농도의 중앙값을 구하고, 그것을 목적 픽셀의 농도로 하는 처리이다. Fig.4.7은 입력영상에 대한 메디언 필터링 방법을 보여주고 있다.

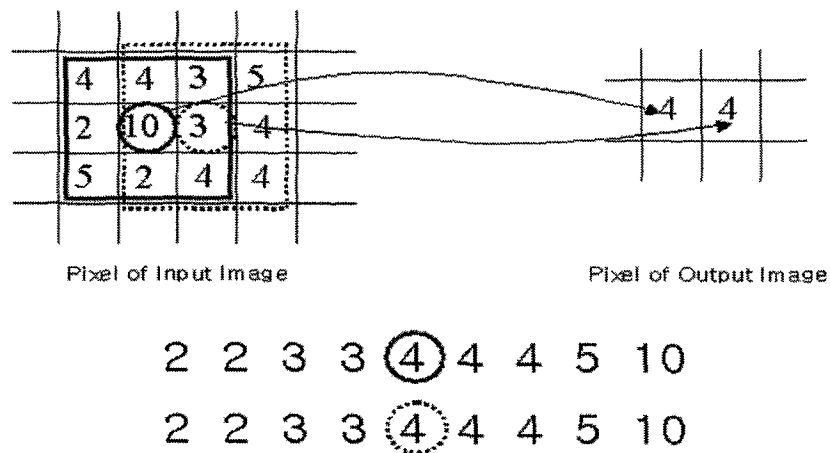


Fig. 4.7 Method of Median Filtering

Fig. 4.8은 에지가 있는 입력 영상에서 필터링 작업 후 에지 보존여부를 알아본 그림이다.

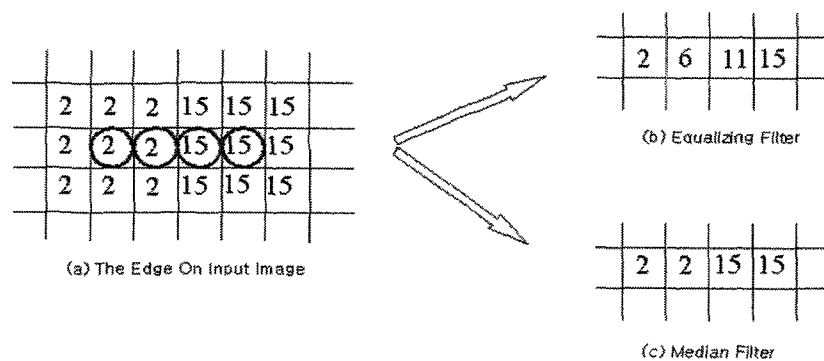


Fig. 4.8 Compare of Filtering Result

이동평균법에 비해 메디언 필터의 에지 보존이 월등히 좋은 것을 알 수 있다. 또한 Fig 4.9는 실제 입력영상에서 필터링 작업후의 비교 그림이다.

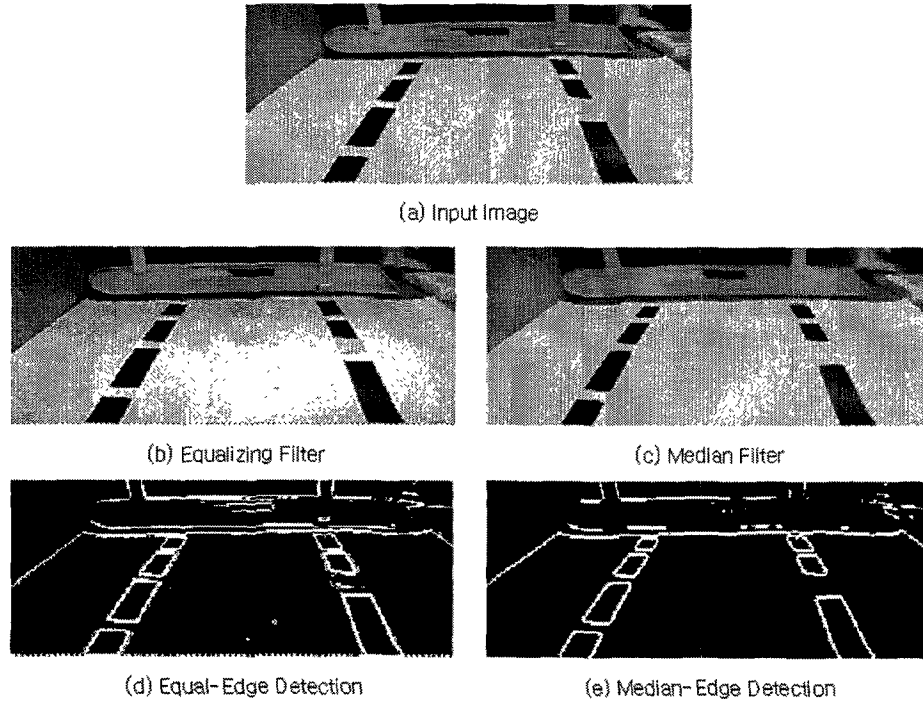


Fig. 4.9 Compare of Filtering Result on Input Image

(a)는 입력 영상이고, (b)는 이동평균법, (c)는 메디언 필터를 이용한 결과를 보여주고 (d)와 (e)는 윤곽선을 검출한 결과이다. 결과에서 나타나듯이 메디언 필터에서의 윤곽이 더 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 본 논문에서는 메디언 필터를 사용하였다.

4.2 차선정보 추출

위와 같이 특정 검색영역에 대해 소벨 연산을 수행하는 전처리 과정을 거친 후, 차선의 정보 추출을 위한 연산을 수행한다. 우선 검색영역 내에서 차선 예상 후보 픽셀들을 얻기 위해 임계값보다 높은 에지를 검색한다.

4.2.1 후보 픽셀결정

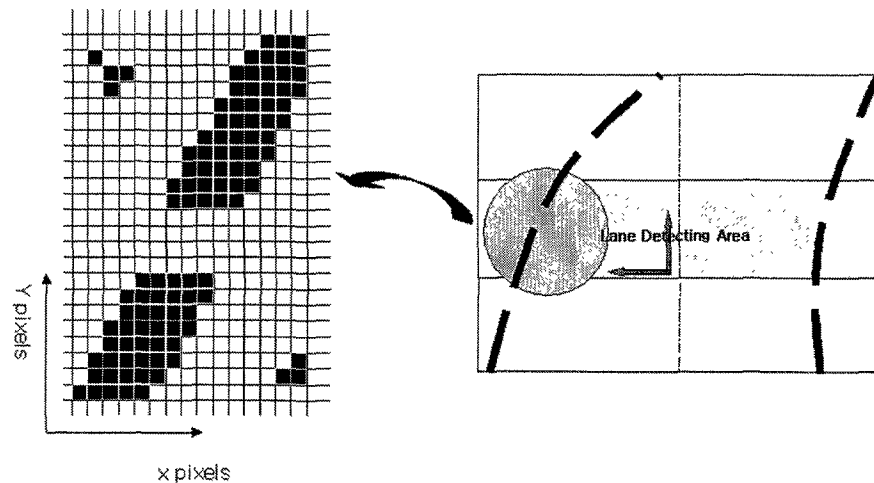


Fig. 4.10 Method of Lane Detecting

본 논문에서는 차선 후보 픽셀을 결정하기 위하여 Fig. 4.10과 같은 방법을 이용하였다. 차선에 대한 초기 정보가 없는 상황이므로 영상의 중앙을 기준으로 좌, 우측으로 나누어 검색한다. 여기서 얻어진 차선 예상 후보 픽셀들 중 잡음이 차선으로 인식되는 것을 방지하기 위하여 Fig. 4.11와 같은 방법을 사용하였다. 후보픽셀 5개가 연속적으로 나타날 때만 그 중 가운데 픽셀을 차선으로 선정하였다.

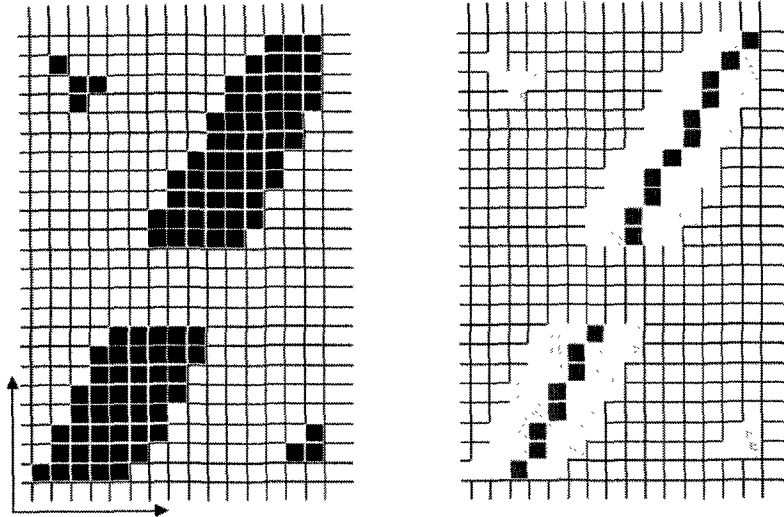


Fig. 4.11 Searching Lane

4.3 차선인식

차선의 손실이나 끊어진 부분을 보상하기 위해서 곡선 근사 방법을 이용한다. 이때 위에서 얻어진 픽셀들의 집합을 이용한다.

4.3.1 곡선 근사

본 논문에서는 곡선근사 방법중의 하나인 최소제곱회귀분석(least-squares regression)을 이용하였다. 이 방법은 데이터가 상당한 크기의 오차 혹은 잡음을 내포하고 있을 경우 데이터의 일반적인 경향을 나타내는 하나의 곡선을 유도해내는 방법이다.

4.3.1.1 직선의 최소제곱적합

일반적인 직선의 방정식을 보면 다음식과 같다.

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (4.5)$$

이 경우 오차의 제곱합은 다음과 같다.

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \quad (4.6)$$

n 은 집합 수이며, a_0, a_1 의 값을 결정하기 위해 식(4.6)을 각각의 계수에 대해서 편미분을 취하면 식(4.7)이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i) \\ \frac{\partial S_r}{\partial a_1} &= -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - a_0 - a_1x_i) \end{aligned} \quad (4.7)$$

위와 같은 미분들을 0이 되도록 한다는 것은 S_r 을 최소화 한다는 것을 의미한다. 따라서 위 식은 식(4.8)과 같이 표현된다.

$\sum_{i=1}^n a_0 = na_0$ 이므로 이 식은 a_0, a_1 에 대한 2원 1차 연립방정식(식(4.9))으로 주어진다.

$$\begin{aligned}
0 &= \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 - \sum_{i=1}^n a_1 x_i \\
0 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2
\end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
(n)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 &= \sum_{i=1}^n y_i \\
\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i
\end{aligned} \tag{4.9}$$

이들을 정규방정식(Normal equation)이라고 부른다. 이들을 연립적으로 풀면 a_0, a_1 은 다음과 같이 된다. 여기서 \bar{x} 와 \bar{y} 는 x 와 y 의 평균이다.

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \tag{4.10}$$

V. 실험 및 결과

고안된 알고리즘의 검증을 위한 실험조건은 Fig. 5.1과같이 복도와 실외에 차선을 만들고 실험하였다..

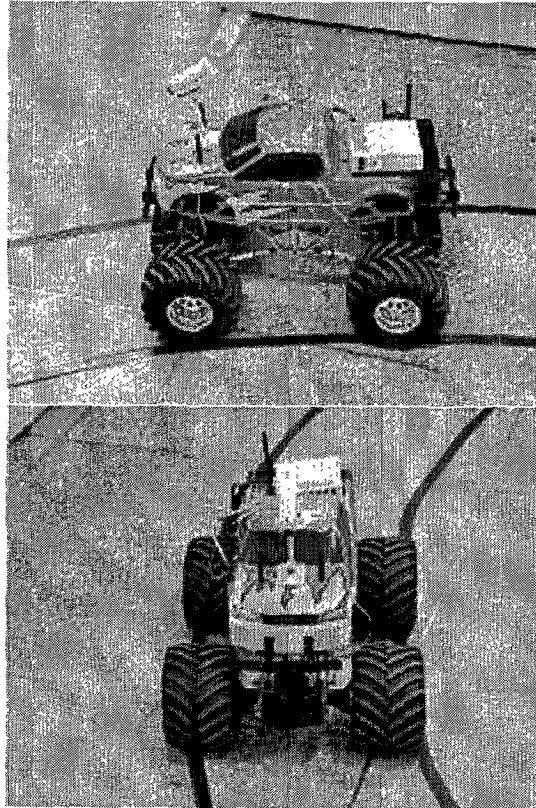


Fig. 5.1 Environment of Test

실험은 2가지 경우에 대하여 실행하였고, 첫 번째 실험환경은 차선의 손실이나 에러가 존재하지 않는 경우이고, 두 번째 실험환경은 차선의 손실과 에러가 존재하는 경우에 대하여 실험하였다. 그리고, 각각의 실험의 경우 곡선의 근사화에 대한 검증과 그렇지 않은 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

5.1 실내 Test

Fig. 5.2는 실험을 위한 프로그램을 보여주며, 각각은 검출된 차선정보와 근사된 직선의 방정식, 조향을 위한 PWM 값을 보여 준다.

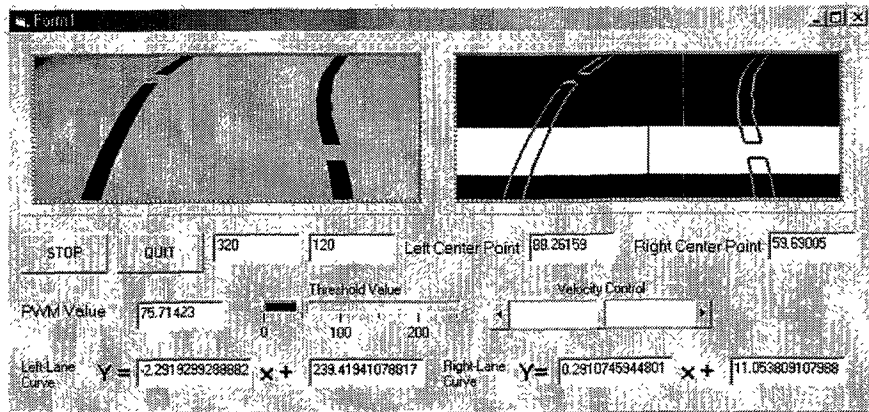
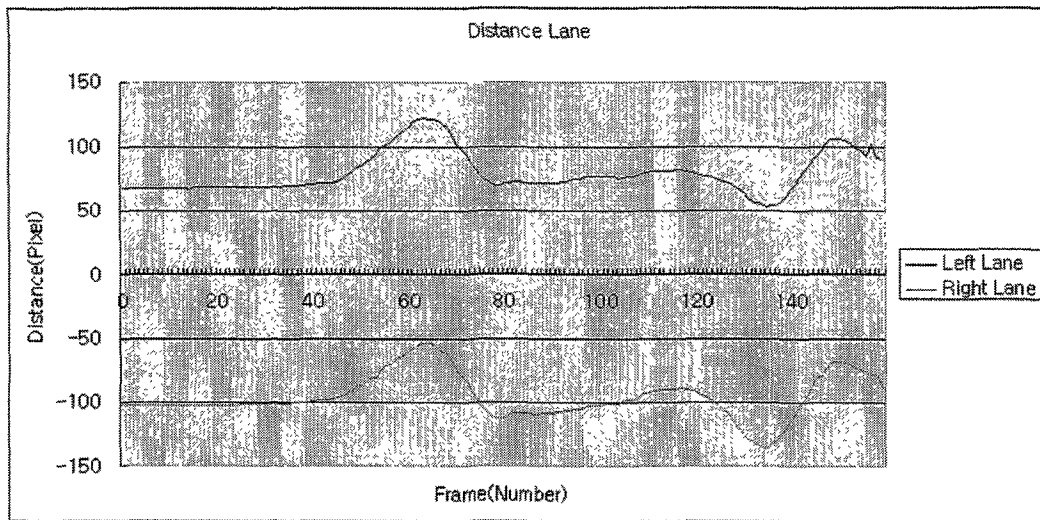
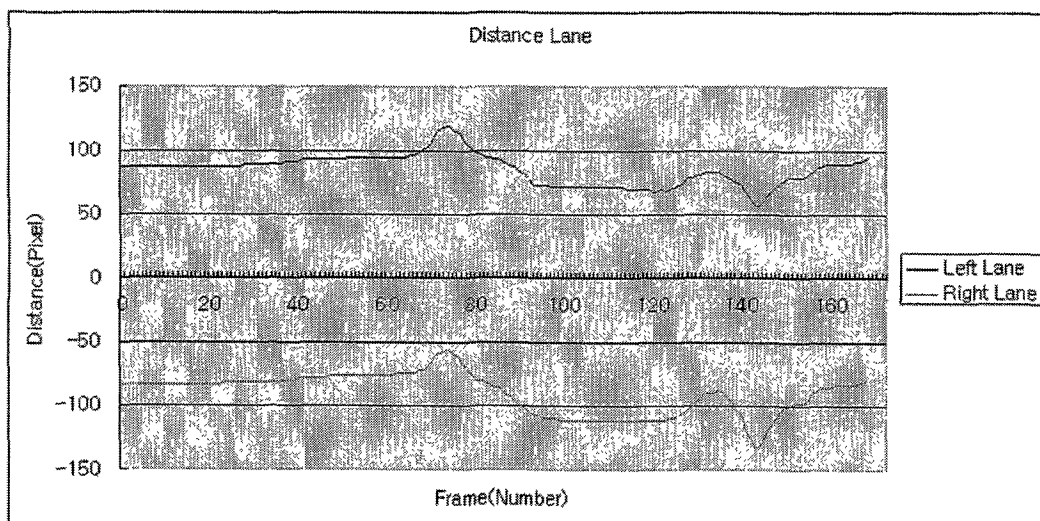


Fig. 5.2 Test Program

Fig. 5.3은 차선의 손실이 존재하지 않는 경우에 대한 실험 결과이다. (a)는 곡선근사, (b)는 그렇지 않은 경우의 검출된 차선정보를 보여준다. Fig. 5.4는 각 실험에서 서보모터의 각도 변화를 나타내는 그래프이다. 또한, Fig. 5.5와 5.6은 손실이 존재하는 경우에 대한 결과이다. 차선의 손실이나 잡음이 없는 실험에서는 비교적 안정된 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 Fig. 5.5의 (b)의 그래프에서 나타나듯이 차선이 손실된 부분에서는 엄청난 에러 값이 들어 와서 불안정한 주행을 하는 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 Fig. 5.5의 (a) 그래프에서는 곡선근사를 통해 차량이 안정되게 주행하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5.6에서도 마찬가지로 (a)는 매우 안정된 각도 변화를 보여주고, (b)의 경우에는 불안정한 각도변화가 나타나는 것을 알 수 있다.

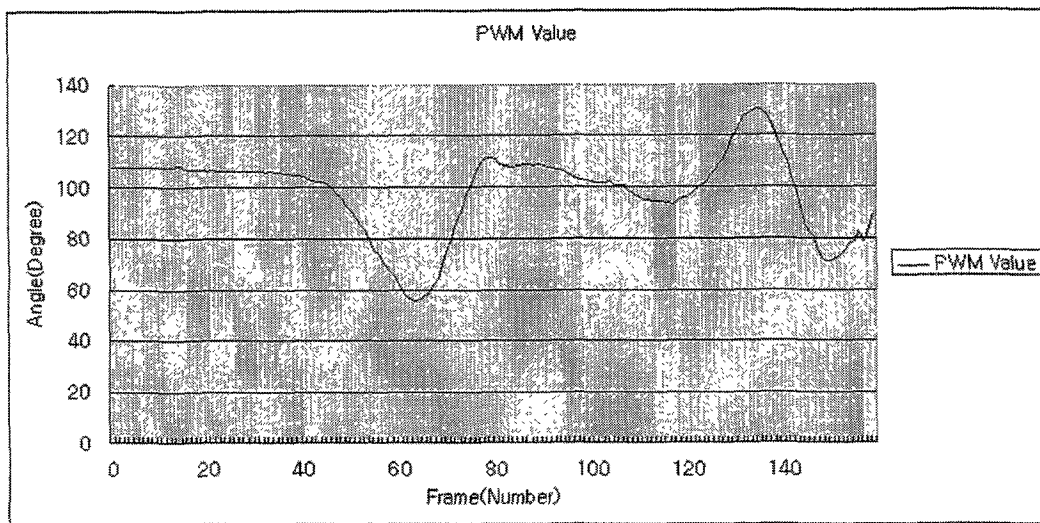


(a) Curve Fitting

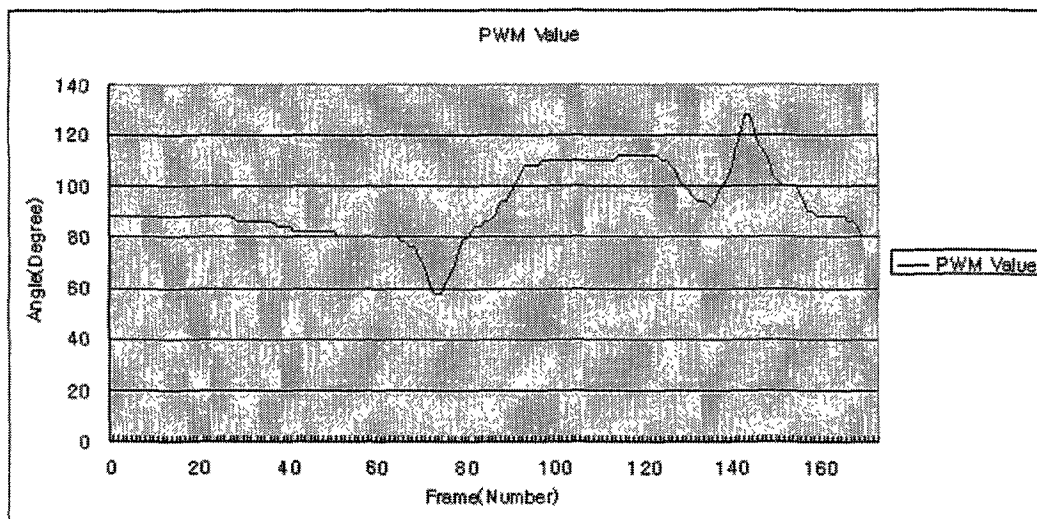


(b) Non Curve Fitting

Fig. 5.3 Lane Information(Non Loss and Noise, Indoor)

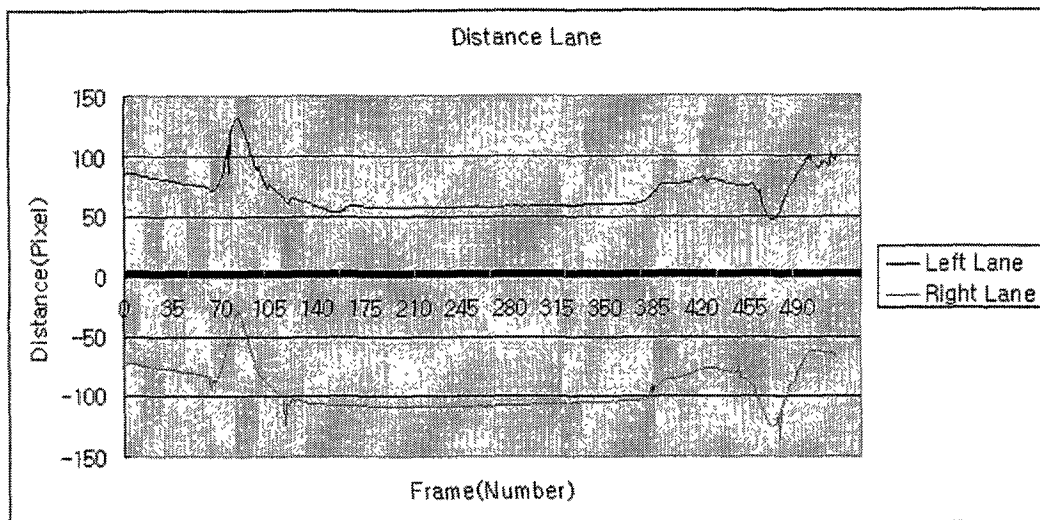


(a) Curve Fitting

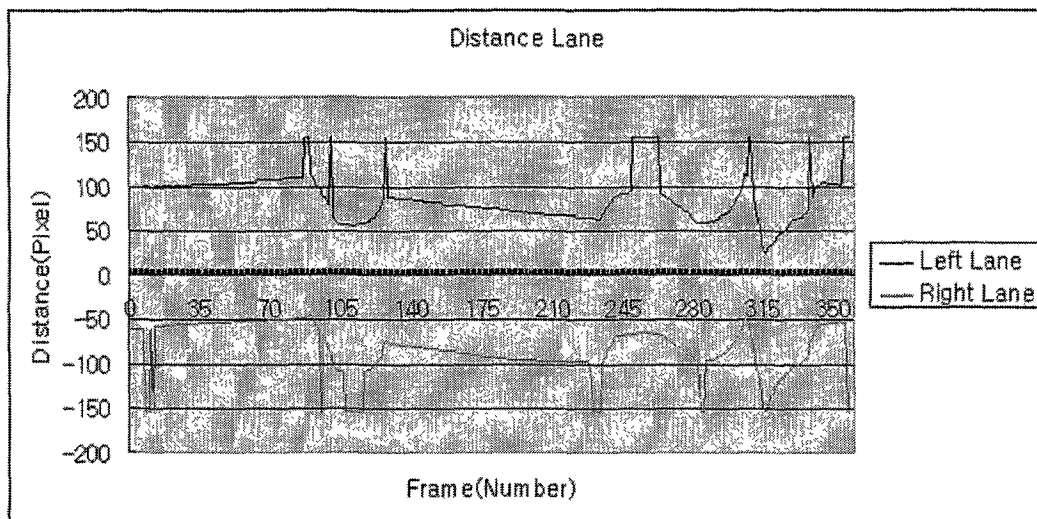


(b) Non Curve Fitting

Fig. 5.4 PWM Value(Non Loss and Noise, Indoor)

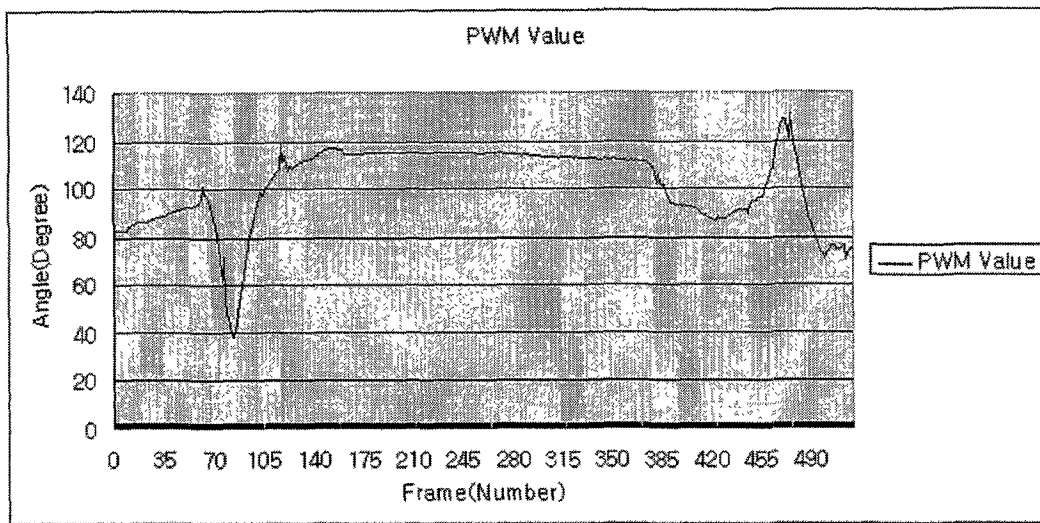


(a) Curve Fitting

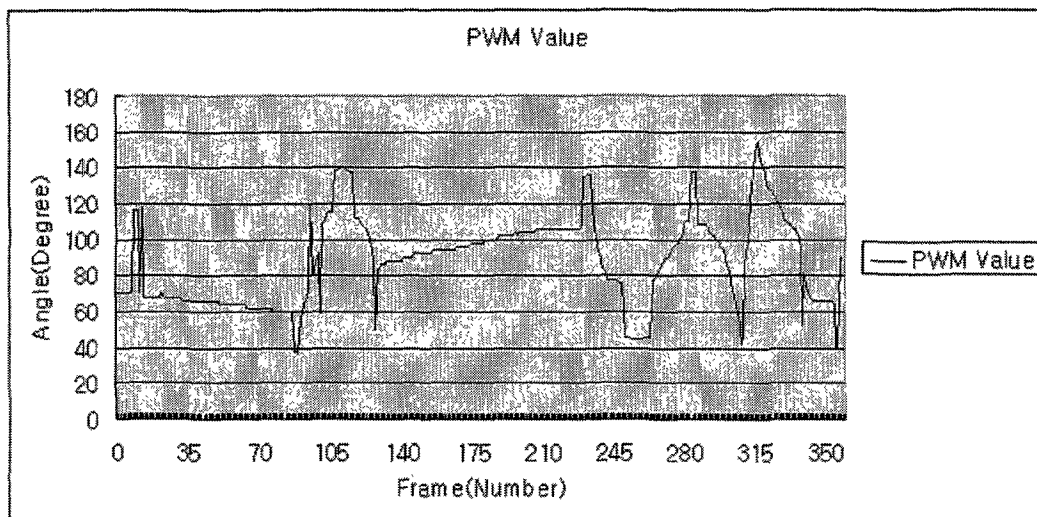


(b) Non Curve Fitting

Fig. 5.5 Lane Information(Loss and Noise, Indoor)



(a) Curve Fitting

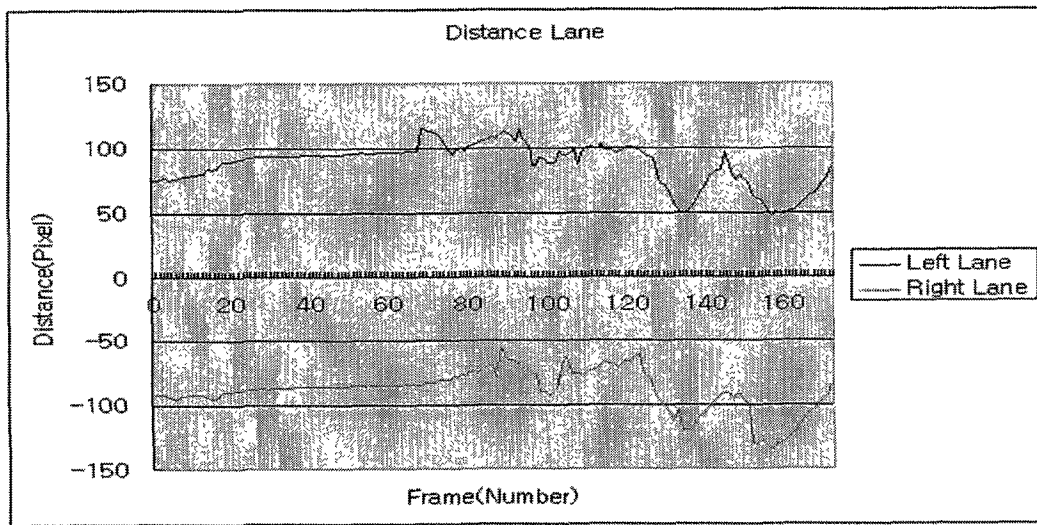


(b) Non Curve Fitting

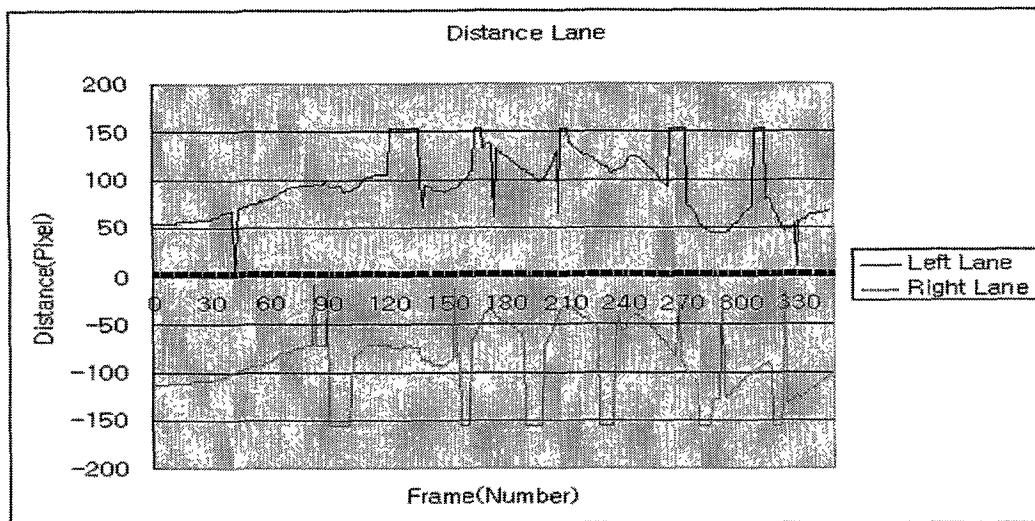
Fig. 5.6 PWM Value(Loss and Noise, Indoor)

5.1 실외 Test

외부 환경에서의 강인성을 검증하기 위하여 실내 실험과 같은 조건으로 실외에서 실험하였다. Fig. 5.7과 5.8은 실험한 결과이다. 실내 Test에서와 마찬가지로 곡선 근사화에 의해 차선정보가 보상되는 것을 알 수 있고, 또한 서보모터의 각도 변화도 안정적인 것을 볼 수 있다. 하지만 임계값이 변하지 않기 때문에 밝기변화나 그림자로 인한 에러 값이 발생하였다.

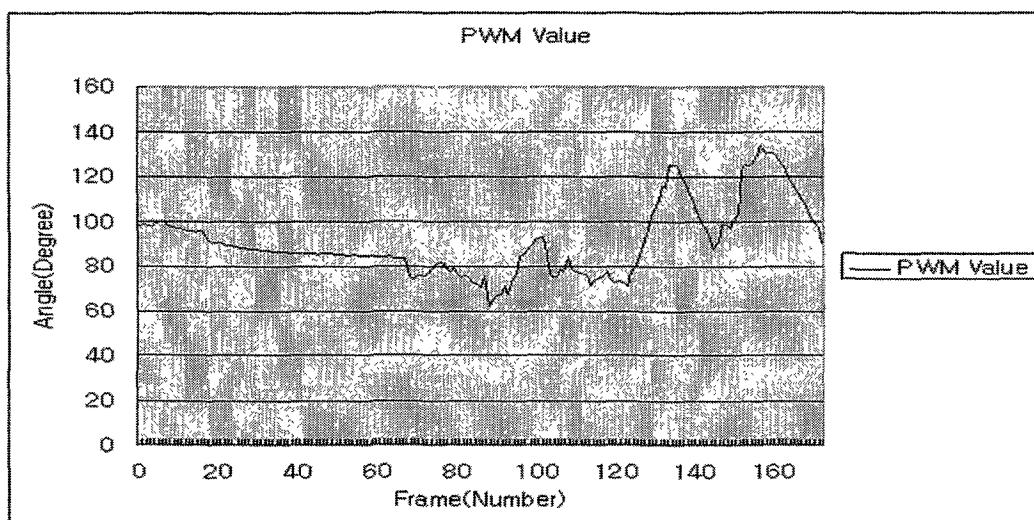


(a) Curve Fitting

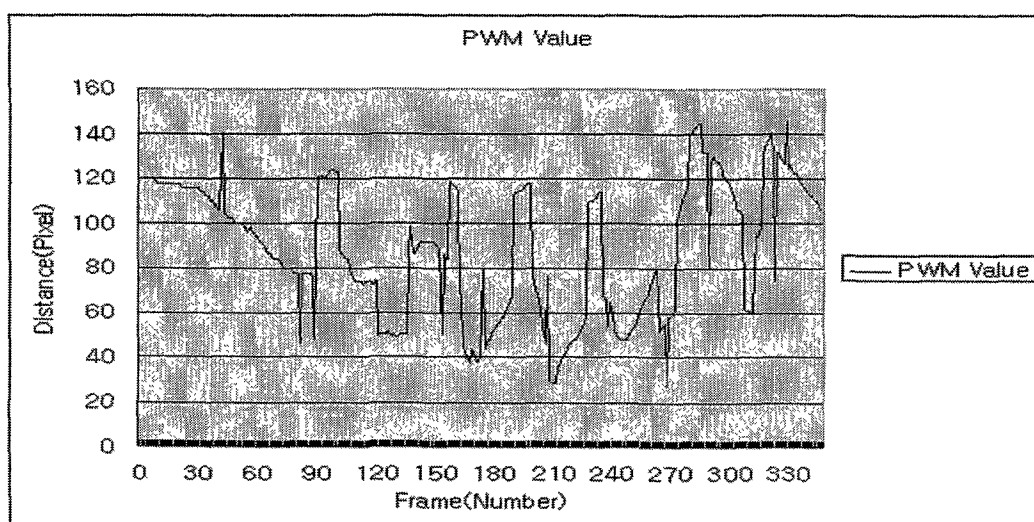


(b) Non Curve Fitting

Fig. 5.7 Lane Information(Loss and Noise, Outdoor)



(a) Curve Fitting



(b) Non Curve Fitting

Fig. 5.8 PWM Value(Loss and Noise, Outdoor)

VI. 결론

본 논문에서는 무인주행 및 LDWS(Lane Departure Warning System)등에 이용할 수 있는 차선검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 도로의 상태나 환경 변화에도 보다 강인하게 차선을 검출할 수 있으며, 곡선 근사화를 이용해서 차선의 손실된 부분이나 끊어진 부분에서도 차선의 정확한 정보를 얻을 수 있었다.

카메라로부터 얻어진 영상은 무선 영상모듈을 통해 메인 컴퓨터로 전송되고, 입력영상으로부터 정확한 차선 정보를 얻기 위해 차선검출 방법을 제안하였다. 특히 차선검출 방법으로 에지 검출 방법이 사용되었고, 차선인식에 따른 에러를 감소시키기 위해 필터를 사용하였다. 최종적으로 얻어진 값을 이용하여 차량의 횡방향 제어를 하였다. 또한 입력 영상에서 차선검출 가능영역과 배경영역으로 분리함으로써 차선 후보 픽셀을 검색하는 시간을 감소시켰고, 전체적인 처리시간을 향상시켰다.

본 연구를 수행하면서 도로의 상태나 환경변화에도 강인하게 차선검출을 할 수 있었으나 다른 문제점도 발견되었다. 외부 실험의 경우 일정한 조명에서 수행한 내부 실험과 달리 빛의 밝기 변화와 그림자등에 의해 에러가 발생하였다. 이러한 에러를 줄이기 위해서는 검색영역내의 특정위치의 픽셀을 정하고 그 픽셀의 크기를 이용해서 가변적으로 임계값을 적용함으로써 해결할 수 있을 것이다. 그리고 앞으로 차량의 횡방향 제어뿐만 아니라 초음파센서, 포토 인터럽트 등을 이용해서 도로의 변화에 따른 차량의 종방향 제어에 관한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Jamshidi, *Computer-Aided Analysis and Design of Linear Control Systems*, Prentice Hall, 1992.
- [2] Y. Sung Hoon, K. Myung Soo, M. Hyun Jin, L. Sang Ho, L. Suk, "Driving Information System with Real-Time Road Image," *Proceeding of KACC*, pp. 1241-1244, 1998
- [3] L. Joon Woong, "An Application of Computer Vision and Laser Radar to a Collision Warning System," *KSAE* vol. 7. No. 5. pp. 258-267, 1999
- [4] J. Seung Gweon, K. Chang Sup, L. Dong Youp, H. Sung Ki, L. Dong Hwal, L. Man Hyung, and Hideki Hashimoto, "Real-Time Lane Detection for Autonomous Vehicle," *Intl. Conf. of IASTED or ISIE2001*, pp. 1466-1471, 2001.
- [5] S, G, Kim. H, C, Moon. C, M, Kim. J, H, Kim, "Steering Control of Autonomous Vehicle by the Vision System," *Proceeding of ICCAS2001*, pp. 615-618, 2001.
- [6] M. Hee Chang, K. Chang Man, K. Sang Kyum, K. Jung Ha, "The System Design of Miniaturized Unmanned Vehicle," *Proceeding of ICCAS2002*, pp. 339-342.
- [7] Steven C. Chapra, Raymond P. Candel, *Numerical Methods for Engineers*, McGRAW-Hill, 1999.
- [8] Benjamin C. Kuo, *Automatic control systems*, Prentice Hall, 1991.
- [9] NHK방송기술연구소 화상연구부, *C 언어에 의한 화상처리 실무*, 국제테크노정보연구소
- [10] 장동혁, *디지털 영상 처리의 구현*, PC에드벤스, 1999.
- [11] 조석빈, "에지 방향 정보를 이용한 실시간 차선 검출 시스템의 설계 및 구현," 부산대학교 대학원 석사학위논문, 2002

- [12] 문희창, “Vision System을 이용한 무인자동차의 시스템 연구,” 국민대학교 자동차공학 전문대학원 석사학위논문, 2002.
- [13] 윤득선, “Modeling and Control of the Unmanned Vehicle System for the Coupling with Driving Simulator,” 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사학위논문, 2001.

Abstract

Design of Advanced Lane Detecting Algorithm for Unmanned Vehicle

By Kim Chang Man

Graduate School of Automotive Engineering,
Kookmin University, Seoul, Korea

The goal of this research is developing advanced lane detection algorithm for unmanned vehicle. Previous lane detection method to bring on error become of the lane loss and noise. Therefore, new algorithm developed to get exact information of lane. This algorithm can be used to AGV(Autonomous Guide Vehicle) and LDWS(Lane Departure Warning System), ACC(Adapted Cruise Control).

We used RC car of 1/10 scale to embody developed algorithm. A CCD camera is installed on top of vehicle. Images are transmitted to a main computer though wireless video module. A main computer finds information of lane in road images. And it calculates control value of vehicle. It transmits control value. This paper detect in input image marked by 256 gray levels to get exact information of lane. To find the driving direction vehicle, it search line equation by curve fitting of detected pixel.

Finally, author used median filtering method to removal of noise and used characteristic part of road image for advanced of processing time.

감사의 글

어느덧 2년의 세월이 흘렀습니다. 많은 사람들과 함께했고, 많은 지도와 격려를 받았습니다.

먼저 부족한 저에게 기회를 주시고 항상 곁에서 애정과 질책으로서 많은 지도를 해주신 김정하 교수님, 대학원 생활동안에 많은 지도와 일깨움을 주시고 본 논문의 심사를 맡아주신 이운성 교수님, 박기홍 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 항상 후배들을 위해 어떤 일이든 아끼지않는 상경형, 득선형, 영훈형, 임하영 선생님, 유환신 선생님을 비롯한 선배님들에게 감사 드리고, 또한 그 동안 동고동락해온 실험실동기 성학형, 민석형, 병욱형, 함께 실험을 도와가며 정을 나누었던 희창, 그리고 항상 국은일도 마다하지 않고 힘써온 후배이자 친구 동희, 오랜 시간 같이하지는 못했지만 도움을 준 후배 정욱씨, 용호씨, 우섭씨, 은영에게도 고마움을 전합니다.

늘 고생한다며 따뜻함을 느끼게 해준 누님들과 언제나 처남에게 소홀함이 없는 매형들에게도 고마움을 전하고, 늘 곁에서 걱정해준 사랑하는 선영에게도 진심으로 고마움을 전합니다.

마지막으로 고인이 되셨지만 아들 걱정하시면서 지켜봐 주실 아버님과 오늘날까지 저를 길러주시고, 아들 걱정뿐이신 어머니께 머리 숙여 감사 드리면서 제 대학원생활의 결실인 이 논문을 바칩니다.

모든 분들께 다시 한번 감사 드립니다.

2003년 6월