

역 원근 변환과 검색 영역 예측에 의한 실시간 차선 인식

정승권*, 김인수*, 김성한*, 이동활*, 윤강섭**, 이만형***

Real-Time Lane Detection Based on Inverse Perspective Transform and Search Range Prediction

Seung Gweon Jeong*, In Soo Kim*, Sung Han Kim*, Dong Hwoal Lee*, Kamg Sup Yun**,
and Man Hyung Lee***

ABSTRACT

A lane detection based on a road model or feature all needs correct acquirement of information on the lane in an image. It is inefficient to implement a lane detection algorithm through the full range of an image when it is applied to a real road in real time because of the calculating time. This paper defines two (other proper terms including "modes") for detecting lanes on a road. First is searching mode that is searching the lane without any prior information of a road. Second is recognition mode, which is able to reduce the size and change the position of a searching range by predicting the position of a lane through the acquired information in a previous frame. It allows to extract accurately and efficiently the edge candidate points of a lane without any unnecessary searching. By means of inverse perspective transform which removes the perspective effect on the edge candidate points, we transform the edge candidate information in the Image Coordinate System(ICS) into the plan-view image in the World Coordinate System(WCS). We define a linear approximation filter and remove faulty edge candidate points by using it. This paper aims at approximating more correctly the lane of an actual road by applying the least-mean square method with the fault-removed edge information for curve fitting.

Key Words : Lane Detection (차선인식), Inverse Perspective (역 원근 변환), Image Segmentation (영상 분할), Preprocessing (전처리)

1. 서론

인간이 자동차를 이용하는 시간이 상당히 늘어남에 따라 운전자가 계속 명령을 주고 운전 환경을 감시하는 현재의 수동적인 운전 체계는 운전자에게 상당한 피로를 유발시키고 이것은 여러 가지 사고의 원인이 될 수 있다. 이러한 원인으로 유발된 사

고와 차량의 증가에 따른 완벽하지 않은 교통 흐름 통제에 의한 교통 체증으로 인해 상상할 수 없을 정도의 인적, 물질적 손실을 가져오고 있다. 이러한 이유로 교통 체계의 효율성과 안정성을 제고하기 위해 기존의 교통 체계에 전자, 컴퓨터, 정보, 통신,

* 부산대학교 지능기계공학과

** 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

*** 부산대학교 기계공학부

제어 등의 지능형 기술을 접목시킨 차세대 교통 체계인 지능형 교통시스템(ITS: Intelligent Transportation System)이라는 큰 연구 범주가 새로이 생겨나게 되었다. 이것은 교통관리, 정보제공, 대중교통, 화물차량의 운영과 차량의 제작에 이르기까지 교통 전 분야에 걸친 신기술을 응용한 총체적인 것으로 현재 세계 여러 나라의 연구소 및 대학에서 활발히 연구되고 있다. 여기에는 지능형 도로 시스템(AHS: Advanced Highway System), 자동차 항법 장치(CNS: Car Navigation System), 첨단 자동차 제어 시스템(AVCS: Advanced Vehicle Control System)등 이외에도 여러 분야가 있다. 첨단 자동차 제어 시스템(AVCS)은 자동차 자체를 지능화하여 운전자에게 위험을 미리 경고하는 능동형 안전 장치와 동시에 자동 주행 장치를 추가함으로써 운전자에게 운전 환경 감시 및 차량 조작의 부담을 경감시켜 사고의 원인을 미리 제거하는 장치이다. 능동형 안전 장치 및 자동 주행 장치는 비전 센서와 레이더 센서, 레이저 센서, 초 고주파, 적외선 센서 등의 다양한 센서와 모터 및 유·공압 액츄에이터, 컴퓨터, 첨단 제어 방법 등의 결합체로서 이들 각각의 기술에 대한 연구가 동시에 진행되어지고 있다. 이들 중에 비전 센서(CCD)를 이용하여 주행중인 자동차의 전면의 영상정보를 획득하여 이 정보로부터 특징치(도로의 경계 및 차선, 선행차량, 물체 등)를 추출하고 원하는 목적(무인 주행을 위한 차선 및 경계 인식, 충돌 회피를 위한 물체 인식 등)을 위해 이 정보를 처리하여 차량의 위험 경고 시스템 및 자동 주행 제어 시스템에 명령을 전달하는 머신 비전(Machine Vision)기술은 자동차 자체를 지능화하는데 있어서 중요한 기술 중 하나로 인식되어 많은 연구가 이루어졌다⁽¹⁻⁴⁾.

본 논문에서는 차량의 자동 주행 및 차선 이탈 경고 시스템 등에 가장 중요한 요소인 도로에 대한 차량의 상대 위치를 구하기 위하여 비전 센서를 이용하여 도로의 차선을 강인하고 유연하게 인식하는 알고리즘 구현에 목적이 있다. 도로의 차선 정보로서 에지 점(edge point)을 정의하고 이를 좀더 효율적이고 신뢰성 있게 검색하기 위해 검색 영역을 검색 모드와 인식 모드로 정의하였다. 원근 효과가 존재하는 2D 영상 평면의 에지 정보를 3D Plan-view 에지 정보로 변환하는 역 원근법을 사용하여 도로에 대한 차량의 상대적 위치를 보다 쉽고 직관적으로 파악할 수 있게 하였다. 역 원근 변환

된 도로의 차선 및 경계에 대한 에지 정보에서 잡음 요소를 제거하기 위해 선형 근사 필터를 정의하여 적용하였다. 그리고 잡음 요소가 제거된 보다 균일한 도로 정보를 이용하여 2차 곡선(circular arc)으로 모델화 된 도로의 차선을 최소자승법을 이용하여 곡선 근사화하였다.

2. 이론적 배경

2.1 도로모델

도로의 차선 모델은 연속해서 입력되는 영상 정보에서 도로의 경계 및 차선의 에지 점들을 추측하거나 추적하는데 필요한 안내자의 역할을 한다고 할 수 있다. 도로의 모델을 세우기 위해 다음의 몇 가지 도로의 특성을 가정한다.

- 1) 도로의 환경은 예측이 가능하다.
- 2) 도로의 차선 및 경계는 연속적이다.
- 3) 도로의 경계는 시간적, 공간적으로 연속적이다. 만약 경계가 끊어지면 새로운 상황(교차로 등)이 나타난다고 볼 수 있다.
- 4) 도로 곡률은 시간적 연속성을 가지고 있다. 이것은 차량의 안전을 위해 곡률이 갑자기 변하지 않고 연속적으로 변한다.
- 5) 도로의 양쪽 차선 및 경계는 평행하다.

도로의 차선 및 경계는 세계 좌표계(World

Coordinate System)에서는 평행하다.

- 6) 도로는 한 평면상에 존재한다.

전술한 도로 특성을 고려한 가정에 의해 도로의 차선을 공통 중심을 가지는 두 개의 원호로 정의한다.

2.2 전처리

도로의 차선의 특징으로 에지 점을 검출하기 위해 소벨 연산자(Sobel operator)를 사용하였다. 일반적으로 미분 연산자는 잡음도 두드러지게 하는 경향이 있지만 소벨 연산자는 자체적으로 영상의 밝기 차이를 두드러지게 할 뿐만 아니라 평활화 효과를 가지고 있는 것이 특징이다⁽⁵⁾. 또한 입력 영상의 질을 다소 향상시키기 위해 히스토그램 균등화를 적용하였다. 이것의 궁극적인 목적은 일정한 분포를 가진 히스토그램을 생성하는 것이다. 그로 얻어지는 결과는 어두운 영상은 밝아지고 너무 밝은 영상은 조금 어두워져 적당한 명도 값을 유지하게 된다. 그러므로 히스토그램 평활화는 영상이 어두

운 영역에서 세밀한 부분을 가질 때 효과적으로 수행된다. 영상의 명도 값의 분포를 수정함으로써 영상의 전체적인 콘트라스트 밸런스가 좋게 개선된다.

2.2.1 차선인식 알고리즘

아래그림은 본 논문을 수행하는 제안된 차선인식 알고리즘의 개관이다.

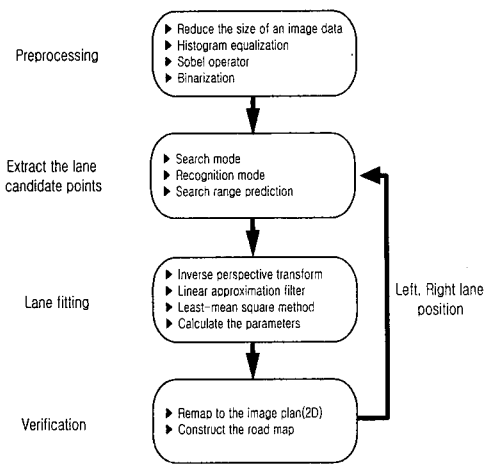


Fig. 1 Overview of the proposed lane recognition algorithm

2.3 검색 영역의 정의

차선 인식을 위한 시각 시스템에서는 입력되는 영상으로부터 필요로 하는 정보를 추출하여 무인 주행 및 상대 위치 파악에 필요한 파라미터를 계산한다. 그러나 입력되는 영상 전체를 실시간으로 처리하기에는 영상 정보의 양이 너무 방대하므로 영상의 일부분만을 정의(Fig. 2)하여 영상 처리를 수행함으로써 계산량의 감소와 함께 실시간 처리라는 목적에 이점을 부여할 수 있다. 이후 정의된 영상의 일부분을 관심 영역, 즉 ROI(Region of Interest)로 표현한다. 본 논문에서는 도로의 차선의 에지 후보 점을 찾기 위한 검색 영역을 두 부분으로 정의한다. 첫째, 검색 모드에서는 정의된 ROI의 전 영역을 검색한다. 둘째, 인식 모드로 전환되어 이전 프레임의 정보를 현재의 영상에서 에지 후보 점을 검색하기 위한 정보로 활용한다. 즉, 이전 프레임의

도로의 차선의 위치 정보는 전술한 가정 2)와 3)에 따라 현재 프레임에서 에지 후보 점의 위치를 예측할 수 있다. 만약 연속 모드에서 차선을 검색하지 못하였을 경우 이전 프레임의 정보를 현재 프레임에 적용하고 다시 검색 모드로 전환되어 도로의 차선을 찾게된다. 또한 도로의 곡률이 아주 클 때 한 쪽 차선이 영상에서 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우는 차선 후보 점을 검출할 수 있는 한쪽 차선을 기준으로 이전 프레임의 차선의 쪽을 이용하여 차선 후보 점을 검출할 수 없는 차선을 추정할 수 있다.

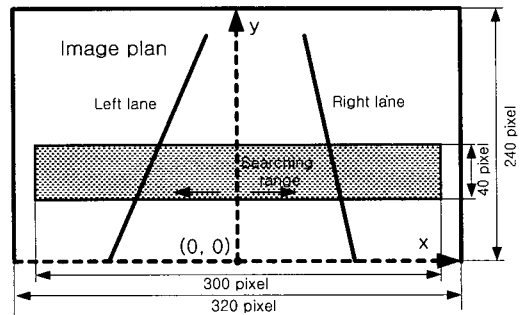


Fig. 2 Setup of search window in search mode

2.4 역 원근 변환

원근 효과를 가진 입력 영상에서 역 원근 변환을 이용하여 원근 효과를 제거하고 영상 평면의 위치 정보를 세계 좌표 계의 위치 정보로 변환시키면 도로에 대한 가정 2)와 3)을 인식 알고리즘에 쉽게 적용시킬 수 있다. 또한 세계 좌표계로 나타난 도로의 차선의 위치 정보로부터 도로의 중심선으로부터 차량의 원점까지의 법선 거리와 차량의 방향으로 정의된 도로에 대한 차량의 상대 위치를 좀더 쉽게 나타낼 수 있다는 장점이 있다⁽⁶⁾. 역 원근 변환의 구현 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽⁵⁾.

$$X = \frac{A(-x \cos \theta \sin \alpha + f \sin \alpha) - B \cos \theta (-y \sin \alpha + f \cos \alpha)}{f(y \sin \alpha - f \cos \alpha)} \quad (1)$$

$$Y = \frac{B \sin \theta (y \sin \alpha - f \cos \alpha) - A(x \sin \theta \sin \alpha + f \cos \theta)}{f(y \sin \alpha - f \cos \alpha)} \quad (2)$$

여기서 A 와 B 는 각각 다음과 같이 주어진다.

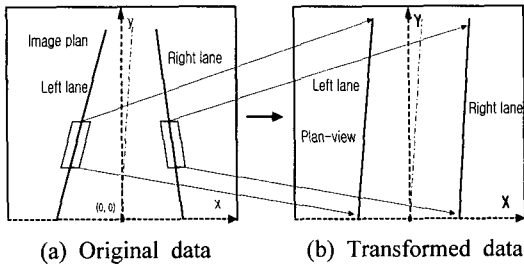


Fig. 3 The effect of inverse perspective transform

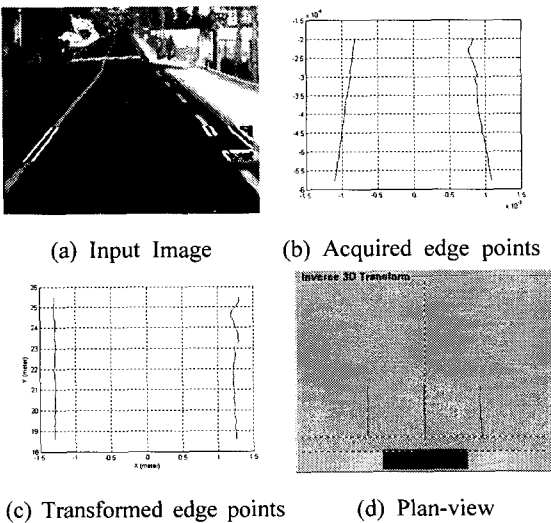


Fig. 4 The effect of inverse perspective transform (straight road)

$$\begin{aligned} A &= yZ_0 \cos \alpha + yf + fZ_0 \sin \alpha \\ B &= xZ_0 \cos \alpha + xf \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 3에서는 원 데이터의 역 원근 변환된 데이터를 개략적으로 나타내었으며, 직선 도로에 대한 역 원근 변환의 효과를 Fig. 4에서 나타내었다.

2.5 선형 근사 필터 적용

초기 검색 모드에서 추출된 에지 후보 점들은 이전 프레임의 도로에 대한 정보 없이 정의된 검색 영역의 좌우로 전 영역을 검색을 하기 때문에 전술한 그림자, 역광 등 잡음 요소들의 영향을 받는다. 인식 모드에서는 차선 및 경계의 위치가 예측되어 검색 영역을 줄이면서 잡음 요소를 다소 줄일 수 있으나 영역내의 도로면 조건, 차선 가림 등에 거

것 에지 후보 점을 포함하게 된다. 이러한 균일하지 못한 에지 정보는 실제 차선을 추정할 때 상당히 큰 오차를 유발시키기 때문에 제거할 필요가 있다. 이러한 잡음 요인을 제거하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 선형 근사 필터를 정의하여 보다 균일한 에지 정보를 얻는다. 역 원근 변환된 에지 정보에서 수직 기울기 g_i , x_i 와 x_{i-1} 의 차 Δx_i , Δx_i 와 Δx_{i-1} 의 차 $\Delta^2 x_i$ 를 정의하고 잡음에 영향을 받거나 원하지 않는 에지 후보 점을 제거하고 실제 차선 및 경계 에지 후보 점에 근사한 값을 대체하는 함수를 식(5)와 같이 정의한다($0 < w < 1$ 상수).

$$\begin{aligned} \phi_i &= \tan^{-1}(g_i) \\ x_i &= (x_i - \Delta x_i) + w * \Delta^2 x_i \quad w = 0.1 \end{aligned} \quad (4), (5)$$

식(4)로 정의된 기울기 각에 임계값을 적용하여 전술한 가정 2)에 위배되는 점을 인식하여 식(5)를 이용하여 원하지 않는 에지 후보 점을 제거하고 원래의 실제 에지 후보 점에 근사한 값으로 대체한다. 선형 근사 필터를 적용한 결과를 Fig. 5에서 나타내었다.

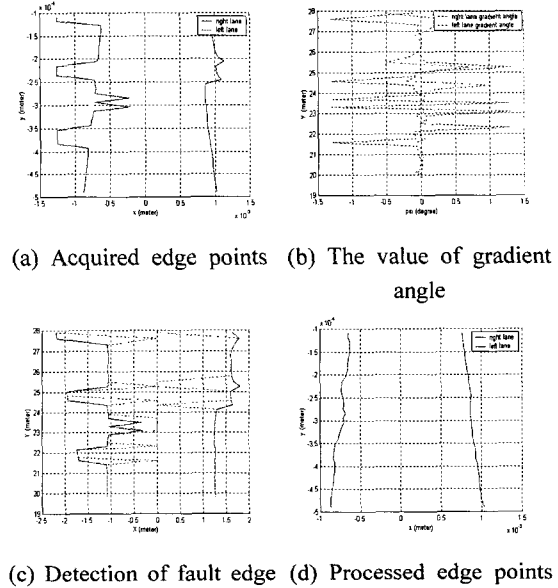


Fig. 5 Application of the linear approximation filter

2.6 곡선 근사

곡선 근사는 유연성을 보장하면서 점들을 최대한으로 근접하게 지나가는 상대적으로 작은 차수의 다항식을 찾는 과정이다. 대표적인 곡선 근사 방법으로 알고리즘이 간단하고 계산속도가 빠른 장점을 가지는 최소자승법이 있다. 전술한 도로 모델에 근거하여 잡음 요소가 제거된 에지 후보 점으로 도로의 차선 및 경계를 2차 곡선으로 근사화 한다. 도로 모델에서의 원의 방정식을 이차 방정식으로 표현하면 식(6)으로 나타낼 수 있고 이 식을 최소자승법을 이용하여 곡선 근사화한다.

$$X = a_1 + a_2 Y + a_3 Y^2 \quad (6)$$

3. 실험 결과

3.1 시스템 구성 및 보정

도로의 영상을 촬영하기 위하여 실험용 차량 내부 중앙에 CCD 카메라를 장착하고 촬영되는 영상을 저장하기 위하여 비디오 카메라와 연결을 하였다. 사용된 CCD 카메라와 렌즈의 사양은 Table 1과 같다. 입력된 영상은 320×240의 크기로 설정하였고 알고리즘 구현 시스템 및 소프트웨어로는 586 PC에서 Visual C++로 구현되었다. 전체 시스템 구성은 Fig. 6과 같다. 도로에 대한 차량의 상대 위치를 보다 정확하게 파악하기 위해 캘리브레이션 과정을 수행하여야 한다. 캘리브레이션 과정에는 카메라의 내적 파라미터(Intrinsic parameter)와 좌표 변환에 의한 외적 파라미터(Extrinsic parameter)가 정확하게 결정되어야 한다. 카메라의 내적 파라미터에 의한 오차는 도로의 상대 위치 파악에 극히 작은 오차를 유발하므로 제조 회사에서 제공하는 파라미터 값을 그대로 사용하고 그 오차는 무시하였다. 카메라의

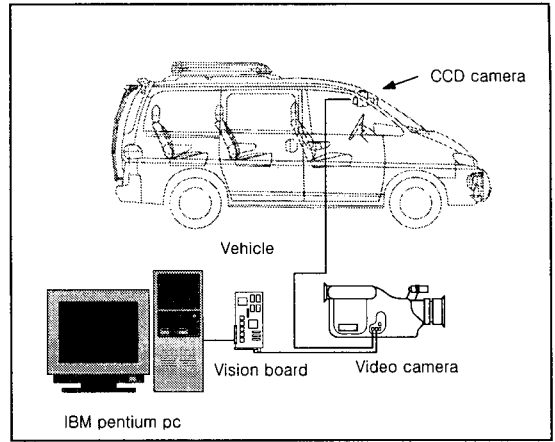


Fig. 6 Schematic diagram of the system setup

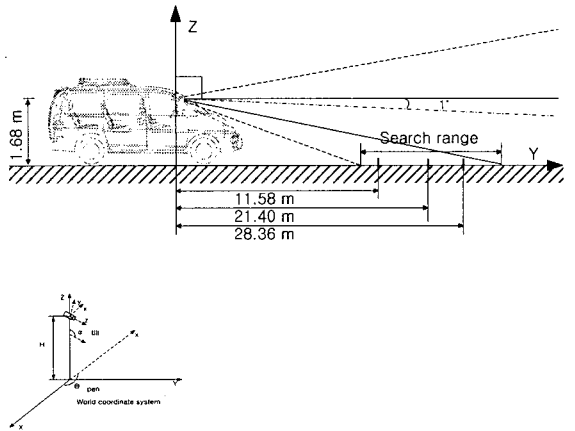


Fig. 7 Processing of the calibration and the extrinsic parameter of a camera in vehicle-relative coordinate system

Table 1 Specification of the CCD camera and lens

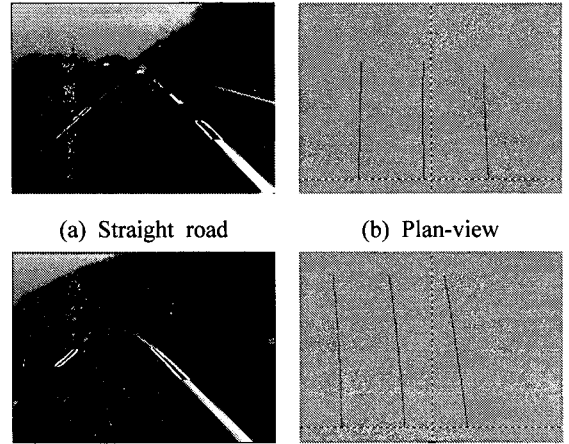
Lens		CCD Camera		
Focal length	Aperture	chip size	Pixel (Resolution)	Unit cell size
16 mm	1.4	1/2"	768(H)× 494(V)	8.4 μm(H)× 9.8 μm(V)

내적 파라미터는 Table 1과 같으며, 본 실험에서는 좌표 변환에 따른 외적 파라미터만을 고려하여 캘리브레이션을 수행하였다. 좌표 변환을 위한 외적 파라미터는 Table 2와 같다. 내적 파라미터와 외적 파라미터를 이용하여 2D 영상 좌표를 3D 세계 좌표로 변환하는 과정에서 여러 요인에 의해 오차가 발생하며, 이를 보상하기 위하여 도로의 실제 길이와 폭을 측정하여 제안된 알고리즘에서 계산된 값과 비교하여 캘리브레이션을 수행하였다. Table 3

에서는 Table 2의 외적 파라미터를 이용하여 캘리브레이션 수행전과 수행후의 오차율을 비교하였다. Fig. 7은 캘리브레이션을 수행하는 방법을 간략히 도식화하였다.

Table 2 Extrinsic parameters

Height(H)	Pan angle(θ)	Tilt angle(α)
1.68 m	180 degrees	91 degrees



(a) Straight road (b) Plan-view
(c) Curved road (d) Plan-view
Fig. 8 Lane detection in the daytime

Table 3 The results of the calibration

	$(\alpha)91$ degrees					
Lookahead distance	Before calibration	Error	Error rate (%)	After calibration	Error	Error rate (%)
11.58	20.769	9.189	79.35	11.884	0.304	2.63
21.40	37.338	15.938	74.47	21.162	-0.238	-1.11
28.36	48.107	19.747	69.63	28.155	-0.205	-0.72
Road width	Before calibration	Error	Error rate (%)	After calibration	Error	Error rate (%)
3.155	2.685	-0.47	-14.9	3.225	0.07	2.22
3.15	2.71	-0.44	-13.96	3.212	0.062	1.96
3.144	2.742	-0.42	-12.78	3.195	0.055	1.74

3.2 도로실험

차선 인식에 대한 일반성을 부여하기 위하여 조명과 그림자, 주행 차량 등에 대한 어떠한 구속 조건도 주지 않고 고속 도로 및 국도를 80 - 100 km/h로 주행하면서 영상을 획득하였다. 차선 인식에 대한 신뢰성 검증의 방법으로 다양한 종류의 도로와 도로 조건을 고려하여 실험을 실시하였다.

다음 그림들은 제안된 알고리즘으로 도로의 차선 및 경계를 인식한 결과를 나타내고 있다. Fig. 8(a)는 고속도로에서 한쪽 차선이 주기적으로 끊어졌을 때의 인식결과이고 Fig. 8(b)는 인식된 차선의 역 원근 변환된 결과를 보여주고 있다.

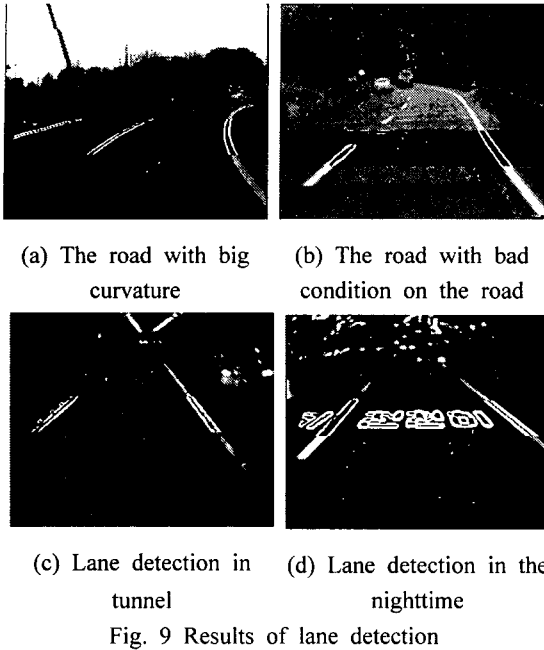


Fig. 8(c)는 곡선 도로에서 차선 인식, Fig. 8(d)에서는 역 원근 변환의 효과를 각각 보여준다. 그리고 Fig. 9(a)는 도로의 곡률이 클 때 Fig. 9(b)는 도로의 표면의 조건이 나쁠 때, 즉 도로 표면에 과속 방지를 위한 요철이 존재할 때의 인식 결과이다. Fig. 9(c)는 터널에서, Fig. 9(d)는 야간에 도로 중앙에 글자가 새겨져 있는 경우에도 차선 인식 결과가 양호함을 볼 수 있다. 또한 가로수나 다른 차량에 의한 그림자의 영향 및 한 쪽 및 양쪽 차선이 끊어져 있는 경우도 거의 정확하게 차선을 인식함을 볼 수 있었고 초당 20 frame 이상의 빠른 처리 성능을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 도로의 특성에 대한 가정을 세우고 이러한 가정을 최대한 고려하여 가변적인 검색 영역을 설정하여 도로의 차선 및 경계를 좀더 강인하게 인식하려고 하였다. 도로의 일반적인 조건 즉 곡선 도로, 차량이나 가로수 등에 의한 그림자, 주기적으로 끊어진 도로 및 차선 안에 존재하는 글자, 방향 표식 등의 조건에서 만족할 만한 성능을 보였고 역 원근 변환으로 원근 효과가 제거된 차선의 형태를 보여줌으로써 도로에 대한 차량의 상대

적 위치를 시각적으로 쉽게 파악할 수 있었다. 그러나 차량이 급격한 곡률을 가진 도로를 회전할 때 한 쪽 차선이 영상에서 벗어나면 차선을 정확하게 인식하지 못 하였지만 빠른 속도로 다시 차선을 찾아 인식하는 것을 볼 수 있었다. 이로서 제안된 알고리즘은 실시간 처리의 요건을 만족하고 인식 알고리즘의 강인성을 증명할 수 있었으며 무인 주행 및 차선 이탈 경보 시스템에 적용시킬 수 있는 가능성을 충분히 보여주었다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소와 2000년도 두뇌한국21 사업 핵심분야에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chen, M., Jochem, T., and Pomerleau, D., "AURORA: a vision-based roadway departure warning system," Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp. 243-248, 1995.
2. Pomerleau, D., "RALPH: rapidly adapting lateral position handler," Proceedings of the 1995 Intelligent Vehicles Symposium, Detroit, USA, pp. 506-511, 1995.
3. Broggi A., "A Massively Parallel Approach to Real-Time Vision-Based Road Marking Detection," Proceedings of the 1995 Intelligent Vehicles Symposium, Detroit, USA, pp. 84-89, 1995.
4. Dickmanns, E. D., and Mysliwetz, B. D., "Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 199-213, 1992.
5. Gonzalez, R. C., and Woods, R. E., Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1992.
6. Bertozzi, M., Broggi, A., and Fascioli, A., "Stereo inverse perspective mapping: theory and application," Image and vision computing, Vol. 16, pp. 585-590, 1998.