

화상처리 기법을 이용한 도로의 백색선 인식에 관한 연구

박성태 · 정종화
기계자동차공학부

<요 약>

본 논문에서는 차량의 횡방향 제어알고리즘을 개발하기 위한 선행 단계로 CCD카메라에서 획득한 디지털 영상정보를 이용하여 백색 차선을 인식하는 알고리즘을 제시한다. 차선은 역원근 처리와 폭 정보를 이용한 경계선처리를 통해 원 화상을 차선의 명도가 강화된 형태로 변형시킨 다음, Metropolis 표준법을 이용한 Simulated Annealing 알고리즘을 사용하여 주어진 화상에서 차선일 확률이 가장 높은 차선모델을 선택하는 방법으로 인식한다. 이 차선인식 알고리즘은 PC급 컴퓨터성능의 비전시스템에서 실시간으로 차선을 인식하며 특히 그림자가 있거나 불연속적인 경우 등의 다양한 조건에서도 차선을 인식할 수 있어 실차 적용의 가능성이 확인되었다.

A Study on Real-Time Recognition of Road Lane for Lateral Control of Autonomous Vehicle

Jong-Hwa Jung · Sung-Tae Park
School of Mechanical and Automotive Eng., Univ. of Ulsan
e-mail: spark@mail.ulsan.ac.kr

<Abstract>

This paper introduces a lane-recognition algorithm for detecting lane markers on digital images acquired from CCD camera and a lateral-control algorithm for keeping a reference path following.

The first-stage of lane recognition includes grey level digitization, the edge detection of white lane markers and inverse perspective remapping.

The next-stage of lane recognition is to find parameters of quadratic polynomial assumed as a road model with Maximum probability estimation. The estimation method is implemented by Metropolis Algorithm on PC-based computer system. The rate of recognition is about 33 frames/second. Also, it has been shown to recognize driving lane robustly, even in the presence of shadow, discontinuity of lane marker and reflection of road surface.

1. 서론

차량의 양적인 팽창에 따른 교통정체로 인한 교통혼잡비용 증가, 사회문제가 되고 있는 도로교통사고, 도로건설에 따른 자연파괴는 현재의 교통시스템이 안고 있는 과제로 이러한 문제를 해결하기 위해 차량과 도로를 지능화하는 지능형 교통 시스템(ITS Intelligent Transport System)에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

자동주행시스템은 이러한 ITS의 한 분야로 차량의 속도를 제어하는 종방향제어와 도로의 곡률에 따라 조타를 하는 횡방향제어로 구성되어 있다. 현재 횡방향 주행에 관련된 주행로 인식 방법으로는 화상처리를 이용한 백색인식, 유도케이블, 자기 마커(marker)등을 이용한 검출방법 등이 제안되고 있다.[2,3] 본 논문에서는 그 중 백색차선 인식작업에 관한 내용을 연구 대상으로 하였다.

특히 다음과 같은 조건을 만족하는 백색차선을 인식하는 알고리즘을 개발 대상한다.

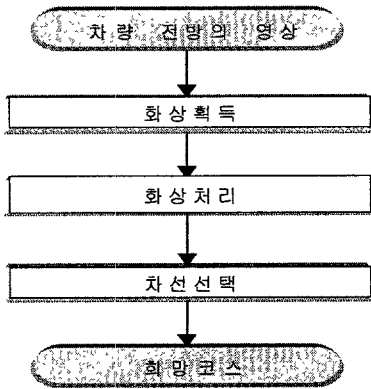
- ① 실차 주행에 적용이 가능하도록 실시간으로 인식작업 가능해야 한다.
- ② 반사광이나 도로주변의 물체의 그림자의 영향이 있는 다양한 환경에서도 인식작업이 이루어져야 한다.
- ③ 도로규정법에 나와있는 최소 곡률반경의 차선 인식이 가능하여야 한다.

2. 차선인식

2.1 차선의 정의 및 특징

본 논문에서의 차선은 한국도로규정법에 의해 규정된 한국국내의 자동차 전용도로의 차량의 주행로를 구별하기 위하여 그려놓은 백색선을 경계로 가진 영역으로 정의한다. 따라서, 차선의 특징은 다음과 같다.

- ① 차선의 경계선은 주면의 노면보다 명도가 높다.
- ② 차선의 경계선은 얇지만 일정한 폭을 가진다.
- ③ 차선의 경계선은 도로의 양쪽에 각각 배치되어 있다.
- ④ 오른쪽 경계선과 왼쪽 경계선사이의 거리는 일정하다.
- ⑤ 차선의 폭률은 규정치이상 급격하게 변화하지 않는다.



위와 같은 차선의 특징은 그림1의 화상처리와 차선선택과정에서 이용되며, 인식의 정확성과 신속성을 향상시킬 수가 있다.

그림.1 차선인식과정

2.2 화상획득

전방의 도로화상은 차량의 앞유리창의 정중앙 위치에 부착한 CCD카메라로부터 입력받는다. 이 전방화상은 이미지 획득보드를 통해 디지털 신호로 변환되어 퍼스널 컴퓨터(PC)상의 메모리로 전송된다.

이미지획득보드는 그림3과 같이 CCD카메라의 아날로그 영상신호를 A/D변환기를 이용하여 영상의 명암강도를 디지털신호로 변환시킨다,

본 연구에서는 640×480크기를 가지고 8bit 명도레벨을 가지는 흑백 디지털 영상(RS-170(640×480))규약을 사용하여 초당 30프레임(frame)의 속도로 디지털 영상을 입력받는다.

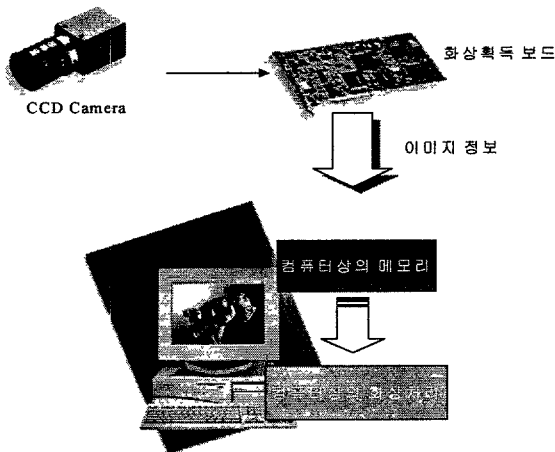


그림.2 화상획득과정

<CCD카메라와 보드 제원>

	모 델 명
Board	METEOR 보드
CCD-camera	Pulnix TMC-7

2.3 화상처리

CCD 카메라로부터 획득한 화상은 그림자 및 반사광의 영향에 의한 노이즈가 많이 섞여 있어 연결되는 차선선택 과정에서 정확도가 떨어지게 된다. 따라서, 화상에서 노이즈의 영향을 줄여서 차선의 경계선을 가지는 픽셀들의 명도값만을 높이기 위한 화상처리가 필요하다. 본 논문에서는 2.1절의 도로 특징을 이용하여 역원근처리와 폭정보를 이용한 미분처리를 도입한다.

역원근처리는 3차원상의 도로평면이 2차원인 카메라의 촬상소자에 투영되면서 발생하는 원근효과를 제거하는 것으로 차선의 양쪽 경계선이 평행한 원래의 기하학적 형상의 특징을 효과적으로 나타낼 수 있게 된다.

폭정보를 이용한 미분처리는 역원근처리에 의해 구해진 영상에서 일정한 폭을 가지고 차선의 경계선의 명도값을 높이고 폭이 틀리거나 경계선의 조건에 맞지 않는 지점의 명도값은 낮추어 차선의 경계선의 명도값이 강조가 되어 차선인식의 편이성과 정확성을 제공할 수 있다.

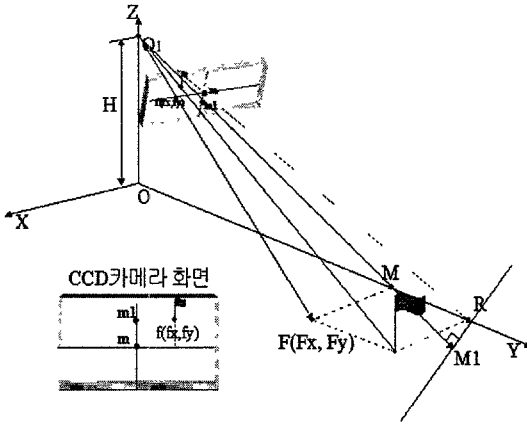
2.3.1 역원근처리부

카메라에서 3차원 공간상의 물체간의 거리는 2차원 화상에 투영되면서 원근효과가 발생하는 것으로 CCD카메라에서 획득한 화상에서 차선의 경계선의 위치정보와 폭은 카메라의 위치와 주시각도에 따라서 변하게 된다.

이러한 원근효과를 제거하기 위한 역원근 변환(Inverse Perspective Transformation)은 카메라의 위치와 주시 각도에 따른 3차원공간과 이를 투영하는 2차원 공간사이의 관계식으로부터 원화상을 원근효과가 제거된 새로운 2차원 화면의 화상으로 재구성하여 차선의 폭 및 위치정보를 등가의 새로운 2차원 화면에 재배치된다.

CCD카메라로 영상을 획득하는 과정은 3차원 유클리드 공간 $W = \{(F_x, F_y, F_z)\} \in E^3$ 상의 물체의 위치정보를 2차원 유클리드 공간 $I = \{(f_x, f_y)\} \in E^2$ 상의 위치정보로 변환하는 과정이다. I 공간은 CCD카메라로 획득한 영상공간과 동일하며, W 공간을 “차선이 존재하는 평면이고 경사가 없다”라고 가정 하면, 도로 노면을 W 공간의 xy 평면이라 가정할 수 있다. 따라서, 차선이 위치한 도로노면의 공간을 $S = \{(f_x, f_y, 0) \in W\}$ 라 정의할 수 있다.

그림5와 같이 도로면이 평면이고 초점거리가 A 인 CCD카메라가 도로면에서 H (높이)에 θ (CCD카메라각도)로 부착되어 있고, 변수 A, H, θ 를 사용자가 측정할 수 있다면 I 공간의 좌표를 S 공간의 좌표로 변환관계와 역변환 관계를 기하학적으로 구하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.



- X 축: 차량의 횡방향
- Y 축: 차량의 전후방향
- Z 축: 지상으로부터의 높이
- x 축: 화면의 횡방향
- y 축: 화면의 종방향
- $F(F_x, F_y)$: 실제공간좌표의 위치
- $f(f_x, f_y)$: 화면상좌표의 위치
- O: 카메라가 장착된 위치를 실제공간좌표를 적용시킬 때의 높이가 0인 지점
- O_1 : 카메라 장착위치
- M: 카메라화면의 중심위치에 대응되는 실제공간상의 좌표
- M_1 : 화면을 점 F로 평행 이동시켰을 때 광축의 위치
- M_f : 화면의 중심
- R: 점 $F(F_x, F_y)$ 를 X 축으로 평행하게 Y 축상까지 이동시킨 점
- H: 카메라의 높이
- θ : Y 축으로부터 광축까지의 각도
- λ : 광축과 F_x 의 각도

그림.3 실제도로좌표와 영상좌표간의 관계

$$F_y = H \frac{\tan \theta + \frac{f_y}{O_1 M_f}}{1 - \tan \theta \frac{f_y}{O_1 M_f}} \quad (1)$$

$$F_x = \frac{H}{O_1 M_f} \frac{(\cos \theta + \sin \theta \tan \theta) f_x}{1 - \tan \theta \frac{f_y}{O_1 M_f}} \quad (2)$$

이 두 개의 식을 좌표변환 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \lambda F_x \\ \lambda F_y \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서, F_x 와 F_y 는 S 공간상의 좌표값이고, f_x 와 f_y 는 비전센서를 통해 입력된 I공간상의 좌표값이다.

위 행렬은 $I \rightarrow S$ 변환을 나타내는 좌표변환 행렬식이다. $S \rightarrow I$ 변환을 나타내는 좌

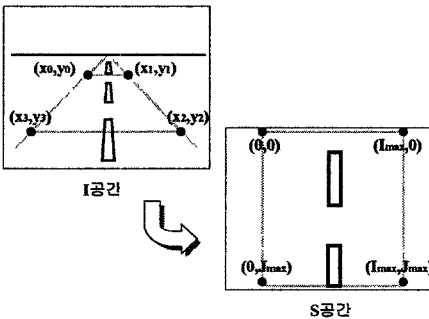


그림.4 좌표를 이용한 역원근처리

표변환 행렬식의 $I \rightarrow S$ 변환을 나타내는 좌표변환 행렬식의 역행렬로 구할 수 있다.

하지만 실제 프로그램에서는 좌표변환에 필요한 변수들 즉 높이(H), 초점거리(A), CCD카메라각도(θ)는 측정이 곤란한 반면, 실제좌표 4지점과 그에 대응하는 화면상 좌표 4지점의 위치정보는 정확한 측정이 가능하다. 따라서, 실제좌표 4지점과 그에 대응하는 4지점의 위치정보를 측정하여 역으로 좌표변환 행렬식에 구성하는 계수들의 값을 구할 수가 있다.

그림4와 같은 I공간의 4점의 좌표값과 그에 대

응하는 S공간의 좌표값을 통하여 구한 역원근처리행렬의 계수값들은 다음과 같다.

$$c_1 = \frac{\begin{vmatrix} x_0 - x_1 + x_2 - x_3 & x_3 - x_2 \\ y_0 - y_1 + y_2 - y_3 & y_3 - y_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 - x_2 & x_3 - x_2 \\ y_1 - y_2 & y_3 - y_2 \end{vmatrix}}, \quad c_2 = \frac{\begin{vmatrix} x_1 - x_2 & x_0 - x_1 + x_2 - x_3 \\ y_1 - y_2 & y_0 - y_1 + y_2 - y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 - x_2 & x_3 - x_2 \\ y_1 - y_2 & y_3 - y_2 \end{vmatrix}}, \quad c_3 = 1 \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{(x_1 - x_0 + c_1 \times x_1)}{j_{max}}, \quad a_1 = \frac{(x_3 - x_0 + c_2 \times x_3)}{i_{max}}, \quad a_3 = x_0 \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{(y_1 - y_0 + c_1 \times y_1)}{j_{max}}, \quad b_2 = \frac{(y_3 - y_0 + c_1 \times y_3)}{i_{max}}, \quad b_3 = y_0 \quad (6)$$

따라서, 위와 같은 행렬식을 이용하여 경사가 없는 평행한 노면의 실제 좌표값과 그에 대응하는 영상에서의 좌표값을 미리 측정 한 다음, 역원근처리에 필요한 행렬식의 계수들을 구할 수 있다.

그림5은 역원근 행렬식을 이용하여 역원근 처리를 한 화상을 나타낸 것이다.

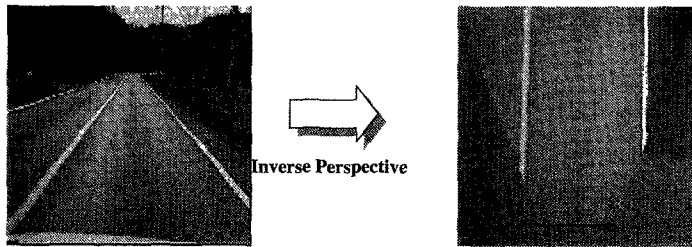


그림.5 역원근처리를 적용한 화상

2.3.2 폭정보를 이용한 미분처리

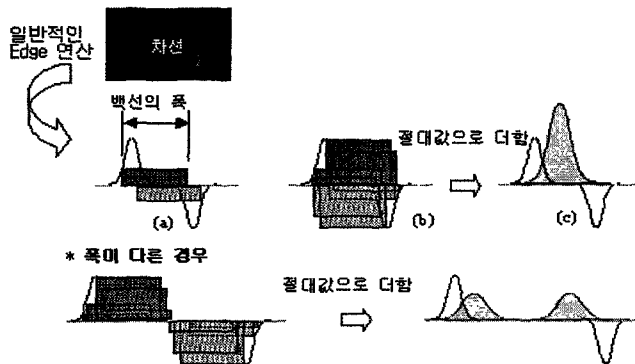


그림.6 차선경계선의 폭을 고려한 미분처리

차선의 경계선은 도로면에 비해서 명도가 높기 때문에 도로면과의 경계선에서 명도가 급격히 변화한다. 경계선과 도로면사이에서 명도의 미분치는 그림6과 같이 양의 값과 음의 값 2개의 극값(peak)을 가진다. 따라서, 화상에서 어느 한 점이 좌측의 미분치가 양이고 우측의 미분치가 음이며 그 간격이 도로경계선의 폭과 일치하면 그 점이 차선일 가능성이 높다.

이 성질을 고려하여, 양의 피크값은 오른쪽으로 도로폭만큼 그 값을 늘리고 음의 피크값은 왼쪽으로 그 값을 늘린 다음, 절대값으로 합하면은 그림6(c)과 같이 도로경계선의 중앙에서 최대인 결과값을 얻을 수 있다. 따라서 화상에서의 차선의 폭을 7픽셀로 하면 이 방법은 식(7)과 같이 나타낼 수 있으며 차선의 폭정보를 고려한 미분처리가 가능하다.

$$F(x_i) = -f(x_{i-4}) - f(x_{i-3}) + f(x_{i-1}) + 2f(x_i) + f(x_{i+1}) - f(x_{i+3}) - f(x_{i+4}) \quad (7)$$

그림7는 역원근된 화상을 폭정보를 고려한 미분처리를 하여 구한 화상이다.

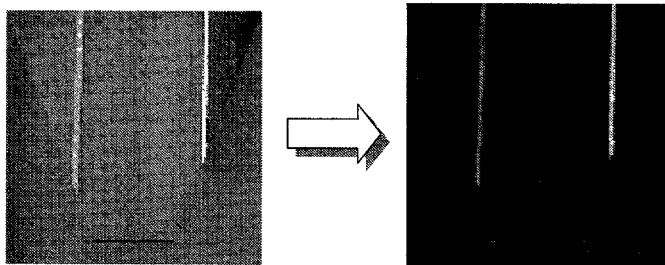


그림.7 폭정보를 이용한 미분처리를 적용한 화상

2.4 차선선택

차선선택과정은 다음의 3가지의 구성요소가 필요하다.

- 화상에서 차선을 효과적으로 나타낼 수 있는 차선모델
- 주어진 화상에서의 차선과 차선모델이 일치하는 정도를 판별할 수 있는 모델판별함수
- 가장 적절한 차선모델을 선택하기 위해 모델판별함수의 최대값을 찾는 알고리즘

2.4.1 차선모델

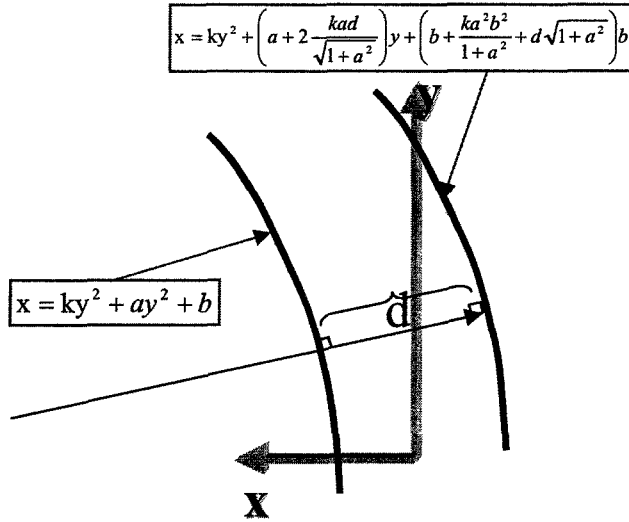


그림.8 차선모델

차선은 곡률이 작을 경우, 차선의 경계선의 형태를 다음과 같은 이차식으로 표시할 수 있다.

$$x = 0.5ky^2 + ay + b$$

여기서, k 는 차선의 곡률을 나타내고, a 는 $y=0$ 일때의 차선의 기울이며, b 는 $y=0$ 일대의 차선의 경계선과 자동차사이의 떨어진 거리이다. 차선의 왼쪽 경계선과 오른쪽 경계선의 거리는 일정하다는 조건을 이용하면, 차선의 오른쪽 경계선은 왼쪽 경계선을 나타내는 변수 k , a , b 와 거리 d 를 이용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

차선의 왼쪽 경계선:

$$x = 0.5ky^2 + ay + b$$

차선의 오른쪽 경계선:

$$x = 0.5ky^2 + \left(a + 2 \frac{kad}{\sqrt{1+a^2}}\right)y + \left(b + \frac{ka^2b^2}{1+a^2} + d\sqrt{1+a^2}\right)b \quad (8)$$

각각의 변수들은 범위는 한국 도로규정법에 참조하여 구하였다.

한국 도로규정법에 의하면 60km/h까지 달릴 수 있는 도로(보통 일반국도)는 최소 곡률 반경이 140m이고 250m를 권장하고 있다. 또 120 km/h로 달릴 수 있는 도로는 최소 곡률 반경이 710m로 1000m를 권장하고 있다. 따라서 곡률(k)의 범위는 1/140에서 0으로 가질

할 수 있다. a 의 경우는 차량고정좌표의 종방향축과 차선이 이루는 각도로 구할 수 있다. 이 각도가 30° 이상 될 경우 화상에 차선이 벗어나 나타나지 않기 때문에 $\sin(90 \pm 30)$ 값으로 정의하였다. 따라서 a 의 범위는 -0.5 에서 0.5 사이가 된다. d 는 2차선도로의 경우 교통량에 따라 도로폭이 2.75m에서 3.75m까지 변화할 수 있다고 정의되어 있기 때문에 범위를 2.75m에서 3.75m까지로 정의할 수 있다. b 는 차량과 왼쪽차선 위치이므로 그 범위는 최대 3.75m에서 0m사이로 할 수 있다.

2.4.2 모델판별함수(Likelihood function)

화상처리를 한 화상상의 차선은 명도가 다른부분보다 두드러지게 높으므로로 화상상에서 차선모델로 구해진 차선위치의 명도값이 높을 수록 모델판별함수의 값이 높게 나타야 한다. 따라서 이런 경향을 잘 나타낼수 있는 적절한 모델판별함수를 설정한 다음, 차선모델의 계수값을 최대, 최소값 범위내에서 변화시켜 모델판별함수의 최대값을 검색한다면 화상으로부터 가장 적절한 차선모델을 선택할 수 있게 된다.

본 논문에서 사용한 모델판별함수는 식(9)과 같다.([5])

$$\begin{aligned}
 P(k, a, b, d \mid \text{화상처리결과}) = & \\
 & \left[\sum_{i,j} \left\{ \text{명도치}_{pixel} \times \frac{1}{1 + 0.5 * DisplaceL_{pixel}} \right\} \right. \\
 & \left. + \sum_{i,j} \left\{ \text{명도치}_{pixel} \times \frac{1}{1 + 0.5 * DisplaceR_{pixel}} \right\} \right] \quad (9) \\
 & \times (atan(b_{right} - b_{left} - 2.75) - atan(b_{right} - b_{left} - 3.75))
 \end{aligned}$$

여기서, 명도치_{pixel} : 화상상의 좌표 (i,j)에서의 명도

$DisplaceL_{pixel}$: 차선모델의 왼쪽 경계선과 화상상의 위치의 거리

$DisplaceR_{pixel}$: 차선모델의 우측 경계선과 화상상의 위치의 거리

2.4.3 Metropolis 표준법을 이용한 Simulated Annealing 알고리즘

모델판별함의 최대값을 찾는 방법으로는 Metropolis criterion을 이용한 Simulated Annealing Algorithm을 사용하였다.

Metropolis criterion을 이용한 Simulated Annealing 알고리즘은 국부적인 최소값이나 최대값이 많은 경우와 불연속적인 함수의 최대값을 찾는 경우에 많이 사용된다. 특히, Simulated Annealing 알고리즘의 설정값을 잘 설정할 수 있으면, 적은 계산량으로 최소값이나 최대값을 찾을 수 있다.

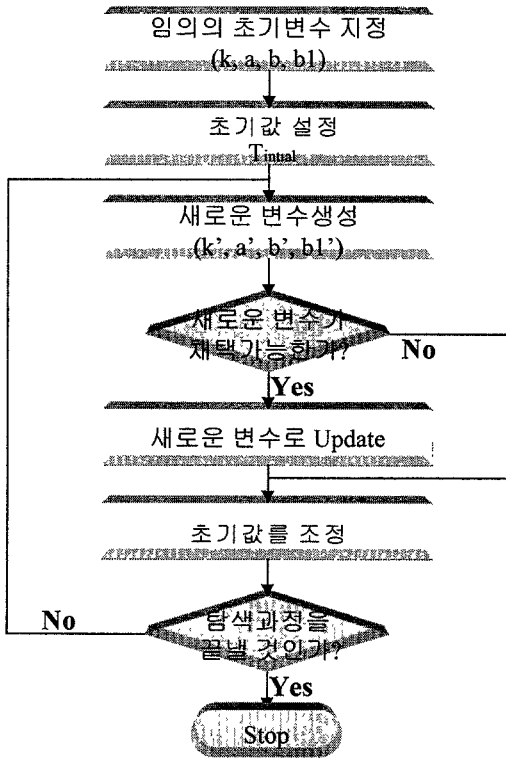


그림.9 Simulated Anealing의 순서도

Simulated Anealing의 전체적인 과정은 그림9와 같다.

본 논문에서는 이용한 채택기준은 Metropolis criterion으로 다음과 같이 정의된다.[5]

$$p = \min\left(1, e^{\frac{E_2 - E_1}{T}}\right) \quad (10)$$

여기서, E_2 는 새로운 변수로 구해진 모델판별함수값이고, E_1 는 현재의 변수로 구해진 모델판별함수값이다. p 는 채택가능 확률을 의미한다.

함수값이 증가하는 방향, 즉, E_2 의 값이 E_1 보다 크면 채택가능확률이 100%이다.

2.5 차선인식결과

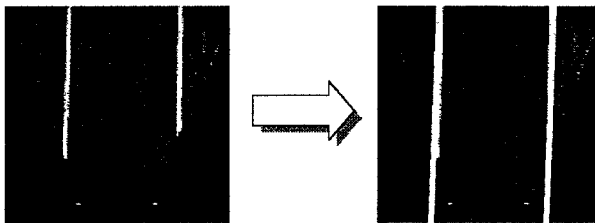


그림.10 차선인식결과

처리시간은 역원근, 폭정보를 이용한 미분 과정, 차선인식 과정을 모두 포함하여 30ms정도가 걸렸다. 이것은 하드웨어적으로 화상을 획득할 수 있는 초당 30 Frame를 받기위한 걸리는 처리시간 33ms이내 들어간다. 즉, 본논문에서는 차선은 30Hz로 실시간으로 차선정보를 얻을 수가 있다

그림11은 차선인식결과를 원화상에서 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 직선차선뿐만 아니라 곡선차선도 잘 인식하였다. 특히 (c)의 경우는 곡률이 심하고 반사광까지 있는 열악한 인식환경임에도 불구하고 정확한 차선인식을 하였다.

그림12는 차선의 인식 도중 실패한 경험이 있는 경우이다. (a), (b)의 경우는 도로의 곡률이 너무 급한 경우이고, (c), (d)는 카메라 보정작업을 잘 못한 경우이거나 도로면의 경사가 급하게 바뀐 경우이다.

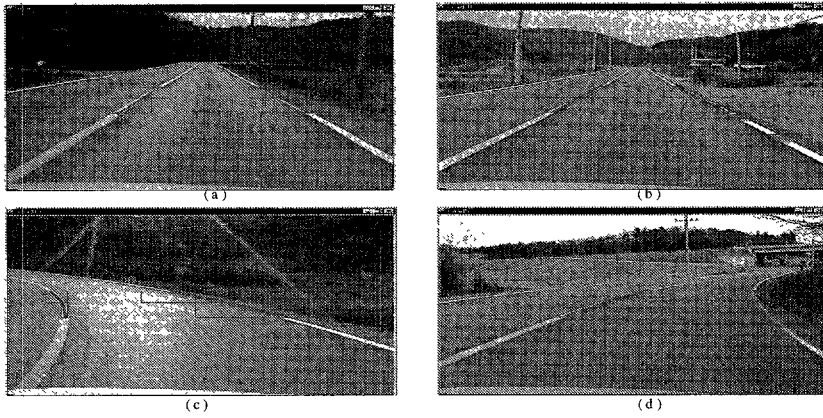


그림.11 다양한 조건에서의 차선인식결과

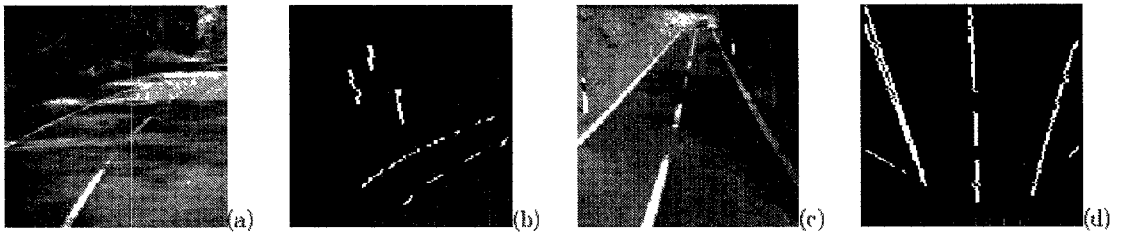


그림.12 차선인식이 실패한 경우

3. 결론

본 연구는 자율주행하는 경우에 필요한 도로정보를 비전센서를 이용하여 차선을 인식하는 알고리즘을 개발하였다.

차선인식알고리즘은 역원근법 및 폭정보를 이용한 경계선처리와 Metropolis criterion을 이용한 Simulated annealing Method를 이용하여 구현하였다.

이 차선인식알고리즘을 이용하여 도로면에 그림자가 지거나 반사광이 있는 경우 및 다양한 조건에서 차선을 잘 인식할 수 있었으며, PC급 컴퓨터를 이용하여서도 정확하고 안정된 차선정보를 실시간으로 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Chris Kreucher, Sridhar Lakshmanan, and Karl Kluge, "A Driver Warnig System Based on the LOIS Lane Detection Algoritithm" *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, 1998
- [2] 日本機械學會, "RC141 ITS-AVCSに 關する 研究報告書", *JSME*, 1998.5.31.
- [3] 景山, 渡辺, "自動操縱車用畫像處理技術に 關する基礎的研究", *日本機械學會論文集C編*, 1996 Vol.62, No.593
- [4] M. Bertozzi and A. Broggi, "GOLD: a Parallel Real-Time Stereo Vision System For Generic Obstacle and Lane Detection" *IEEE Transactions on Image Processing* 7, January 1998, pp. 62-81
- [5] H. A. Mallot, H. H. Bülthoff, J. J. Little, and S. Bohrer, "Inverse perspective mapping simplifies optical flow computation and obstacle detection" *Biological Cybernetics* 64, 1991, pp. 177-185
- [6] M. Chen, T. Jochem, and D. Pomerleau, "AURORA: A Vision-Based Roadway Departure System" *Proceedings, IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 1, August 1995, pp. 243-248
- [7] Intel Corporation, *Intel Architecture MMX Technology Developer's Manual*, Intel Corporation, 1997. available at <http://www.intel.com>
- [8] J. Serra, "Image Analysis and Mathematical Morphology", *Academic Press*, London, 1982.