일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제17권 제6호, 2012년 11월 (JBE Vol. 17, No. 6, November 2012)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2012.17.6.1069>

ISSN 1226-7953(Print)

외부 환경 변화에 강인한 에지 검출을 통한 차선의 스플라인 생성

권 보 철^{a)}, 신 동 원^{b)*}

Lane Spline Generation Using Edge Detection Robust to Environmental Changes

Bo-Chul Kwon^{a)} and Dongwon Shin^{b)*}

요 약

영상을 통한 차선검출은 지능형 주행보조장치의 향상을 위해 필수적인 작업이다. 이 논문에서는 차선의 에지를 Canny 방법을 사용하여 생성한다. Canny 방법은 환경 상태에 따라 결과가 달라진다. 노면 상태가 분명함의 여부에 따라 잘못된 차선 검출을 할 수 있다. 그래서 안전한 에지 검출을 위해 에지 검출시 파라미터를 자동 조절하여 환경 변화에 강인한 알고리즘을 제안한다. 획득한 에지 검출을 기반으로 Catmull Rom spline 을 사용하여 스플라인으로 차선을 생성한다.

Abstract

Lane detection with the use of a camera is an essential task required for the development of advanced driving assistance system. In this paper, edges of the lane are generated by applying Canny's method. The edge detection usually makes different results for several environmental conditions depending on the clearness of lane quality, so that it sometimes causes wrong lane detection. Therefore, we propose robust algorithm to environmental changes that automatically adjusts parameter for edge detection and generates edges more stably. Based on the acquired edges, we finally generate the spline curve of lane by using Catmull Rom spline.

Keyword : Road surface condition, Lane detection, Canny detection, Hough transform, Vanishing line

a) 한국터보기계(주) (Kturbo Inc.)

b) 금오공과대학교(Kumoh National Inst. of Tech., Dept. of Mechanical System Engineering)

* Corresponding Author : 신동원 (Dongwon Shin)

E-mail: shindw@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7321 Fax: +82-54-478-7319

* 본 연구는 2012년도 산업융합원천기술개발사업 (지경부)지원에 의한 것입니다.

Manuscript received September 12, 2012 Revised November 12, 2012

Accepted November 12, 2012

I. 서 론

국내외적으로 교통사고로 인한 인명피해와 부주의로 인한 사고가 해마다 나타나고 있다. 이를 줄이기 위해 자동차의 안전성을 강조한 지능형 자동차 및 자동차의 주변장치들이 개발 되어 왔다. 이때, 인간의 지각 능력을 대신해 이미지 센서와 레이더(RADAR) 또는 광선 레이더(LIDAR) 센서를 융합 및 개별적으로 이용해 개발되었다. 그 중 이미

지 센서를 이용한 차선이탈경보시스템은 차량 주변의 차선 검출을 통하여 주행 시 차량이 운전자의 의지와 무관하게 주행차선을 벗어날 경우 이로 말미암아 발생될 수 있는 사고를 미연에 방지하는 기술이다. 이러한 비전 기반의 차선 검출 시스템은 입력 영상으로부터 특징 정보를 검출하여, 파라메트릭(parametric) 모델 또는 칼만(Kalman) 필터와 같은 갱신 알고리즘의 적용에 의한 근사화 방법이나 허프(Hough) 변환과 같은 변환에 의한 non parametric 모델 매칭 등의 방법이 주로 연구되어 왔다^{[1][2][3][10]}. 또한 차선 검출을 위해 에지 검출을 통하여 경계선을 검출하고 Hough 변환 또는 곡선 보간을 이용한 차선 검출 알고리즘이 연구되었다^{[3][4][5][9]}. 그러나 노면 상태에 따른 차선의 인식에 관한 연구는 많이 진행되지 않았다. 이에, 본 연구에서는 노면 상태의 변화에 강인한 차선 인식을 위해 Canny의 에지 검출 시 환경변화에 따라 파라미터를 조정하는 방법을 통하여 특징 정보를 비교적 정확하게 검출하는 방법을 제안한다.

본 논문의 내용은 다음과 같다. 2장에서 차선 검출에 대한 흐름도를, 3장에서 에지 검출을, 4장에서 차선 검출을, 5장에서 실험 결과를, 마지막으로 6장에서 결론을 기술한다.

II. 차선 검출 흐름도

본 연구에서 수행한 차선 검출에 대한 영상처리순서는

그림 1. 차선 검출 흐름도

Fig. 1. Flow digram of lane detection

다음과 같다. 획득한 영상에 대하여 하단부에서 히스토그램을 구한다. 히스토그램의 밝기 데이터를 Otsu 방법을 사용하여 밝은 영역과 어두운 영역인 2개의 영역으로 나누어 각각의 평균을 구한다^[6]. 이어서, 밝고 어두운 영역의 평균들의 차이로 노면의 상태를 판단하고, 노면의 상태에 따라 Canny 검출에 사용되는 파라미터의 값을 조절하여 에지를 검출한다^[4]. 획득한 에지 정보로부터 Hough 변환을 이용하여 소실점을 구하고, 소실점 하부에 있는 영역을 6개로 분할하여 Catmull Rom Spline 을 구한다^[5]. 본 논문의 특징은 Canny 검출 시 적용되는 파라미터 값을 Otsu 방법을 통하여 환경 변화에 자동적으로 획득함으로써 환경 변화에 강인한 에지 검출을 할 수 있도록 하는 것이다.

III. 에지 검출

본 연구에서는 에지 검출을 위해 Canny 검출 알고리즘을 사용한다. Canny 검출은 기존 에지 검출에 비해 노이즈에 강인한 장점이 있다. Canny 검출 시 불필요한 에지가 검출되지 않도록 하기 위하여 Gaussian 필터를 사용한다. Gaussian 필터에서 표준편차 σ 값은 필터의 폭을 결정하고 스무딩의 정도를 결정한다. 즉, σ 가 커지면 필터링에서 주파수 도메인 필터의 대역 폭이 좁아지는데 그 폭이 좁을수록 낮은 주파수들을 더 감쇠시켜서 스무딩을 증가 시킨다. 스무딩을 하게 되면 노이즈를 억제하기는 하나 영상이 번지는 블러링 효과가 발생하여 에지 검출을 무디게 한다. 반면 σ 가 작아지면 스무딩 효과는 작아지나 에지 검출효과는 커지게 된다^[13]. 본 연구에서는 노면 상태에 따라 σ 값을 다르게 적용함으로써 도로의 노면 환경에 강인한 에지 검출을 할 수 있도록 한다. 단, 반사광이나 조명 등의 외란 조명 조건을 배제하고 순수 도로 표면 조건으로 한정한다.

1. 차선 상태에 따른 히스토그램

획득한 영상에서 도로의 차로는 어두운 색이고 차선은 밝은 색이다. 히스토그램 상에서 도로의 차로에 해당하는

그림 2. 두 가지의 노면 상태 영상과 그에 따른 히스토그램
Fig. 2. Two Images according to road surface condition and their histograms

밝기는 어두운 쪽인 좌측부분에 몰려 있고, 차선에 해당하는 밝기는 밝은 쪽인 우측부분에 몰려있다. 그래서 도로의 차로 밝기와 차선 밝기의 평균을 구하여 그 차이 값을 구한다. 밝기의 차이가 크면 차선이 선명한 상태로 판단하고 밝기의 차이가 작으면 차선이 불선명한 상태로 판단한다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 차선의 상태를 유추한다.

그림 2의 (a), (b)는 차선상태가 선명한 것과 선명하지 않은 것을 보여준다. 각각의 영상에 대하여 히스토그램을 도출하면 (c), (d) 와 같다. 히스토그램을 구할 때, 옆 차선의 차에 대한 영상이 적게 반영되도록 하기 위하여 영상의 아래 부분(흰색 라인)을 추출하여 히스토그램을 구한다. 노선 상태가 분명한 것은 2개의 봉우리가 분명하게 분포되는 것에 비하여 불분명한 영상의 히스토그램은 명암의 분포가 분명하지 않다.

그림 3과 그림 4는 σ 변화에 따라 Canny 검출을 적용한 결과를 보여준다. 차선이 선명한 경우(그림2(a))와 불선명한 경우(그림 2(b)) 두 가지 영상에 대하여 Canny 검출을 통하여 에지를 구한다^[4]. 여러 번의 실험을 통하여 차선 상태가 선명한 경우에는 $\sigma = \sigma_H = 4.0$ 으로 하였을 때 차선에 대한 에지가 잘 생성되어 있으나 $\sigma = \sigma_L = 3.0$ 으로 하였을 때는 과도한 에지 생성으로 차선인식의 오류를 발생시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 차선 상태가 불선명한 경우에는 $\sigma = \sigma_H$ 로 하였을 때 스무딩 효과로 인하여 에지가 무디게 검출되어 우측의 차선이 나타나지 않게 되지만, $\sigma = \sigma_L$ 로 하였을 때는 오히려 차선의 에지가 잘 나타나 있다. 즉, 도로의 차선상태가 좋으면 σ 값을 높여 불

필요한 에지 생성을 방지하고, 차선상태가 좋지 않으면 σ 값을 낮추어 에지 검출효과를 높이게 할 수 있도록 한다.

그림 3. 차선 상태가 선명한 경우의 σ 값에 따른 에지 검출
Fig. 3. Edge Detection according to σ value for good lane state

그림 4. 차선 상태가 불선명한 경우의 σ 값에 따른 에지 검출
Fig. 4. Edge Detection according to σ value for poor lane state

2. Otsu method

노면상태의 선명도를 판단하기 위하여 주어진 히스토그램 정보를 추출하였다. 그리고 히스토그램에서 Otsu의 방법을 적용하여 나오는 클래스 간 평균의 차를 구한다^[6]. 이 차의 값이 크면 도로의 차로와 차선 사이에 명암이 확실하

게 차이가 나는 의미이므로 이로써 차선상태의 선명도를 결정한다.

Otsu의 방법은 주어진 영상의 히스토그램을 이용하여 유사 밝기 값을 갖는 객체들을 분리 추출하는 방법이다. 즉 Otsu의 방법은 영상 밝기에 대하여, 분리되는 두 클래스 사이의 분산을 최대화시키는 문턱치 값을 구한다. 방법은 다음과 같다. 입력 영상이 배경과 객체 두 개로 나뉜다. 화소들은 그레이레벨[1,...,t]에 속하는 클래스 C1과 그레이레벨[t+1,...,L]에 속하는 C2 클래스로 나눌 수 있다. 여기서, L은 최대 밝기 값에서 1을 뺀 값이고 t는 문턱치 값으로 최대 L 까지 증가시키면서 최적의 값을 찾는다.

클래스 C1과 C2의 평균은 각각

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t ip_i / N_1(t) \quad (1)$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^L ip_i / N_2(t) \quad (2)$$

여기서, ip_i 는 각 클래스 영역에서 밝기 값을 모두 더한 값이고 $N_i(t)$ 는 각 클래스 영역에서 밝기 값을 가진 픽셀의 개수를 의미한다.

클래스 C1과 C2사이의 분산을 v_B^2 라고 하면 최적의 문턱치 값은 식(3)에서 최대화하는 t로 선택할 수 있다.

$$v_B^2 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_T)^2 \quad (3)$$

여기서, w_1, w_2 는 각 영역의 확률 값이고, μ_T 는 전체 영역에서의 밝기 평균을 나타낸다.

최적 문턱치는 $v_B^2(t)$ 를 최대화하는 값을 t^* 라고 하자.

$$t^* = \arg \max_{1 \leq t \leq L} v_B^2(t) \quad (4)$$

위 식을 만족하는 t^* 를 최적의 문턱치 값으로 결정할 수 있다. t^* 를 기준으로 각각 평균을 구하고 이 두 평균의 차를 다음과 같이 구한다.

$$\Delta\mu = \mu_2(t^*) - \mu_1(t^*) \quad (5)$$

$\Delta\mu$ 의 값이 클수록 도로의 노면에서 차선이 뚜렷한 상태이고 $\Delta\mu$ 의 값이 작으면 도로의 노면에서 차선이 뚜렷하지 못한 상태로 판단한다. 그림 2(a), (b)의 두 가지 영상에 대한 클래스의 평균치를 도시하면 그림 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 차선이 선명한 경우에는 평균의 차이 값이 크게 나타나고 차선이 불선명한 경우에는 평균의 차이 값이 작게 나타난다.

3. Canny 검출

앞에서 보는 것과 같이 노면 상태에 따라 σ 값을 다르게 적용하는 방법을 제안하였다. Otsu 방법에서 얻은 $\Delta\mu$

(a) 차선 선명

(b) 차선 불선명

그림 5. Otsu 방법을 적용하여 구한 히스토그램상의 클래스의 평균

Fig. 5. Average of each class on histogram generated by Otsu method

의 값을 이용하여 σ 값을 다음과 같이 결정한다. 여기서, $\sigma_L = 3.0$, $\sigma_H = 4.0$, $D = 30$ 이고 $\text{offset} = \sigma_L$ 로 설정하였다.

$$\alpha = \Delta\mu / D + \text{offset}$$

$$\sigma = \begin{cases} \alpha, & \sigma_L \leq \alpha < \sigma_H \\ \sigma_H, & \alpha \geq \sigma_H \end{cases} \quad (6)$$

Otsu 방법에서 얻은 평균 밝기의 차가 0에 가까울수록 노면과 차선의 차이가 불분명하고 반대로 영상의 최대 밝기 값(255)에 가까울수록 노면과 차선의 차이가 분명하게 나타난다. σ 값이 3.0 이하일 경우 Canny 검출 알고리즘에 적용하면 에지 검출 시 노이즈가 많이 검출되고 σ 값이 4.0 이상일 경우 에지 검출이 잘 되지 않는다. 그래서 offset 값을 3으로 두고 σ 값을 $\sigma_L = 3.0$ 과 $\sigma_H = 4.0$ 사이로 정하여 적용하였다. 본 논문에서 실험적으로 평균 밝기의 차가 30 이상이면 차선이 선명한 상태라고 판단하고 $D = 30$ 으로 하여 $\Delta\mu$ 값이 D 이상일 경우 σ 는 σ_H 로 포화된다. 즉, $\Delta\mu$ 값이 30을 넘을 경우 즉, α 값이

σ_H 이상일 경우는 포화된 상태로 σ 값을 σ_H 로 한다.

이와 같이 $\Delta\mu$ 의 값에 따라 σ 값을 자동적으로 설정하여 Canny 검출 알고리즘에 적용한다.

Canny 검출 알고리즘은 우선 영상을 원형 2-D Gauss 함수로 스무딩시키고 그 결과의 기울기를 계산한다

입력 영상을 $f(x,y)$, Gauss 함수를 다음의 $G(x,y)$ 로 나타내면,

$$G(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

G 와 f 를 컨볼루션해서 스무딩된 영상 $f_s(x,y)$ 를 만든다

$$f_s(x,y) = G(x,y) \star f(x,y) \quad (8)$$

기울기 크기 및 방향(각도)를 다음과 같이 계산한다:

$$M(x,y) = |g_x| + |g_y| \quad (9)$$

$$\alpha(x,y) = a \tan 2(g_y, g_x) \quad (10)$$

그림 6. 환경변화에 강인한 에지 검출

Fig. 6. Edge detection robust to environmental changes

여기서, $g_x = \partial f_s / \partial x, g_y = \partial f_s / \partial y$ 이다.

다음 기울기 크기 영상에 비최대 억압(Non Maximum Suppression)을 적용하여 local maxima가 에지로 선택된다. 선택된 에지 중 Double thresholding 작업으로 임계 값을 통해 에지들을 걸러낸다.

그림 6은 노면 상태가 다른 영상에 대하여 식(6)을 적용하여 σ 값을 자동으로 구한 후에 Canny 검출을 한 에지 검출 영상이다. 그림에서 보는 바와 같이 도로의 환경변화에 강인한 에지를 검출할 수 있다.

IV. 차선 검출

차선 검출에서는 다음과 같은 순서로 한다. 첫째, 차선 인식이 잘 되도록 하기 위해 차선 영역이 아닌 부분(배경 부분)을 제거한다. 배경 영역의 제거를 위해 먼저 차선이 사라지는 점을 획득하는데 여기서 다중 Hough 변환 알고리즘을 사용한다. 그 후 획득한 점을 기준으로 수평으로 좌, 우측에 선을 긋는다. 그 선을 수평 소실선이라고 한다. 수평 소실선의 위쪽 영역을 배경으로 판단하여 제거한다. 둘째, Catmull Rom spline 에서 사용되는 제어 점(Control point)을 구하기 위해 영역을 나누어 각 영역마다 Hough 변환을 시행하여 각 영역의 제일 하단부에서 제어 점을 획득한다. 영역은 수평 소실선에서 영상의 제일 아래 부분까지 3등분하고 소실점을 기준으로 좌, 우측으로 나누어 총 6영역으로 나눈다. 마지막으로, 획득한 제어 점으로 Catmull Rom spline 을 적용한다. 이러한 Catmull Rom

spline 의 곡선 표현방법을 이용함으로써 직선으로 표현했을 때보다 오차를 줄일 수 있다.

1. Vanishing point acquisition using Hough transform

어떤 직선을 나타내기 위해 방정식 $y = ax + b$ 를 사용하게 되면 직선이 수직으로 될 때 기울기나 절편 값이 모두 무한대가 되는 문제가 발생한다. 이런 문제를 해결하는 방법 중 하나는 직선을 정규적 표현 방법으로 다음과 같이 나타낸다.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (11)$$

에지를 검출한 영상으로부터 Hough 변환을 적용하는 과정에서 ρ θ 평면에서 상위 값을 가지는 점들을 추출하여 여러 직선데이터를 생성한다. 그림 7는 수평 소실 점을 구하기 위해 Hough 변환을 한 영상을 보여준다.

2. 영역 분리 및 제어 점 획득

수평 소실선을 찾는 알고리즘은 다음과 같다. 에지를 검출한 영상을 Hough 변환을 이용하여 다중 직선을 생성한다. 다중 직선에서 가장 많이 겹치는 점을 찾아 그 점의 수평 라인을 수평 소실선으로 한다. 그리고 Catmull Rom spline에서 사용하는 4개의 점을 추출하기 위해 영역을 나누는데 영역 분리는 영상의 수평소실선 아래 부분을 3등분으로 나누고 또 좌,우측으로 나누면 6등분으로 나누어진다.

그림 7. Hough 변환을 이용한 다중 직선 생성과 수평소실선

Fig. 7. Generation of multiplex straight line and horizontal vanishing line with Hough transform

좌, 우측으로부터 나누어진 각각의 영역에서 Hough 변환을 적용하여 직선을 생성한다. 각 영역의 아래쪽 끝부분과 Hough 변환으로 생성된 직선과의 교차하는 점을 추출하고 소실점과 함께 Catmull Rom spline의 제어 점으로 사용한다.

위의 알고리즘에서 그림 8(a)는 수평 소실선 결과를 보여 주고 그림 8(b)는 수평 소실선 아래의 영역을 6개로 분리한 것을 보여준다.

그림 8. 영역 분리 및 제어 점
Fig. 8. Domain division and control point

3. Catmull Rom spline

곡선을 생성하기 위해 Cubic curves에 적용되는 제어 점을 차선에 해당하는 데이터에서 점을 추출하기 때문에 추출한 점들을 통과하면서 부드러운 곡선을 표현하기 위해 Catmull Rom spline을 이용한다.

이 알고리즘 적용방법은 좌, 우측으로 나누어진 영역에 각각 Hough 변환을 실시하여 직선을 추출한다. 이어 직선과 영역의 하단부가 교차하는 점을 추출하여 소실점과 함께 Catmull Rom spline의 제어점으로 이용한다.

Catmull Rom spline은 컴퓨터 그래픽을 목적으로 개발된 보간 스플라인이다. 그것은 초기에 그래픽에서 커브와 표면을 설계하는데 사용했다. 그러나 최근에 몇몇의 다른 분야에도 적용되고 있다.

보통 연속적인 점의 위치를 잊거나 부드러운 보간 커브를 설계하기를 원하는데 이 경우에 Catmull Rom spline은 P_0 에서 P_m 까지의 연속적인 점으로부터 P_1 에서 P_{m-1} 까지 점을 부드럽게 이을 때 사용한다. 게다가 P_i 점에서 탄젠트 벡터는 P_{i-1} 와 P_{i+1} 점을 이은 선과 평행이다. 다음 그림 9에서 P_i 점의 탄젠트 벡터를 보여준다.

Catmull Rom spline은 Ferguson's parametric cubic curve로부터 파생되었다. 이 방법은 각각의 점에서 P_0 와 P_1 의 두 개의 제어 점과 P'_0 와 P'_1 의 탄젠트 기울기가 주어지면, 다음의 계수 방정식에 의해 P_0 와 P_1 의 점을 통과하고 P'_0 와 P'_1 의 기울기를 갖는 parametric cubic curve를 정의한다.

$$P(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (12)$$

위 식(12)에 대입하여 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(0) &= a_0 \\ P(1) &= a_0 + a_1 + a_2 + a_3 \\ P'(0) &= a_1 \\ P'(1) &= a_1 + 2a_2 + 3a_3 \end{aligned} \quad (13)$$

a_0, a_1, a_2, a_3 에 대해 이 방정식을 풀면 다음과 같다.

그림 9. Catmull Rom spline 제어 점의 탄젠트 벡터
Fig. 9. Tangent vector of Catmull Rom spline control point

$$\begin{aligned}
 a_0 &= P(0) \\
 a_1 &= P'(0) \\
 a_2 &= 3[P(1) - P(0)] - 2P'(0) - P'(1) \\
 a_3 &= 2[P(0) - P(1)] + P'(0) + P'(1)
 \end{aligned} \quad (14)$$

각각의 계수를 원래의 다항식에 대입하여 P_0, P_1, P'_0, P'_1 로 간편화할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(t) &= (1 - 3t^2 + 2t^3)P(0) + (3t^2 - 2t^3)P(1) \\
 &+ (t - 2t^2 + t^3)P'(0) + (-t^2 + t^3)P'(1)
 \end{aligned} \quad (15)$$

이 식(15)을 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$P(t) = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(0) \\ P(1) \\ P'(0) \\ P'(1) \end{bmatrix} \quad (16)$$

이 방법은 두 제어 점에 대해 Ferguson method를 사용함으로써 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ 인 제어 점들을 통과하는 커브를 얻는데 사용된다. 그러나 이것은 각각의 제어 점에서 탄젠트 기울기를 가져야만 한다.

Catmull Rom spline을 구성하는 구분된 부드러운 곡선들을 나타내는 키 프레임 집합을 가지며 모든 키는 곡선상에 위치한다. 이 루틴을 사용하기 위해서 4개의 키 프레임 값이 필요하다. 이 4개의 키 값을 $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 라고 하고, 여기에 보간을 위하여 P_i 에서 P_{i+1} 사이의 지정된 0~1까지의 범위를 가지는 실수 값 t 가 존재한다. 아래의 $P(t)$ 의 반환 값은 t 값에 의해 결정된다.

$$P(t) = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ \frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2} \\ \frac{P_{i+2} - P_i}{2} \end{bmatrix} \quad (17)$$

행렬을 $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 로 정리하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P(t) = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{bmatrix} \quad (18)$$

여기서, M 은 식(17) 행렬을 정리하면서 나온 행렬이고 M 은 다음과 같이 정의한다.

$$M = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix}$$

위에서 살펴본 것과 같이 에지 영상에서 배경 영역을 제거하고 영역을 분리 하였다. 각 영역에서 제어 점을 획득하고 그 제어 점을 이용하여 Catmull Rom spline 알고리즘에 적용한다. 그림10(a)는 입력된 원 영상이고 그림 10(b)는 Catmull Rom spline 알고리즘을 적용한 영상을 보여준다.

(a) 원 영상

(b) Catmull Rom spline 적용

그림 10. 원영상과 Catmull Rom spline

Fig. 10. Original image and Catmull Rom spline

V. 실험 결과

본 실험에서는 차량에 카메라를 설치하여 구미 지역의 도로를 촬영하였으며, 도로 영상을 노면 상태가 다른 환경

들에 대해 본 알고리즘을 적용하였다. 알고리즘은 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였고 영상의 크기는 640 X 480이다.

그림 11은 제안한 알고리즘을 적용하여 원영상, 히스토그램, 에지 검출, 차선 검출 순으로 결과 영상을 나타내고

표 1에서는 차선 검출 실험 결과 데이터를 나타낸다. 표 1에서 μ_1 는 Otsu 법에서 두 클래스로 분리한 것 중 좌측 영역의 평균이고, μ_2 는 우측 영역의 평균이다. 그리고 $\Delta\mu$ 는 μ_2 와 μ_1 의 차이 값이고 σ 는 $\Delta\mu$ 를 이용하여 제안된 식에 의해 구한 Canny 검출 시 적용되는 표준편차 값이다.

그림 11. 다양한 도로 상태에 따른 실험 결과
Fig. 11. Result of an experiment according to several road state

표 1. 그림 11의 실험에 대한 결과

Table 1. Experimental results for Fig. 11

그림파일	$\mu 1$	$\mu 2$	$\Delta \mu$	σ
(a)	68.47	132.62	64.15	4.0
(b)	87.47	159.09	71.62	4.0
(c)	89.64	127.56	37.92	4.0
(d)	80.82	101.46	20.64	3.7
(e)	83.71	98.69	14.98	3.5

본 알고리즘에서 차선 상태가 좋을 경우 표준편차 σ 값을 높여 노이즈에 해당하는 에지를 줄이도록 했고 차선 상태가 좋지 않을 경우 차선을 획득하기 위해 σ 값을 낮춰 에지 검출이 잘 되도록 하였다. 그림 11(a), (b), (c)는 차선 상태가 좋은 영상인데 표 1의 σ 수치가 최대값인 4.0이 나왔고 그림 11(d), (e)는 차선 상태가 다소 좋지 않은 영상인데 표 1의 σ 수치가 다소 낮은 값이 나타났다.

결과에서 보듯이 에지 검출 시 노이즈가 적게 나타나면서 차선의 에지를 잘 검출 하였다. 그러나 마지막 영상에서 달리는 차선의 왼쪽 차선에서 다소 에지의 노이즈가 발생하였다. 이것은 도로의 노면이 주의의 밝기보다 어두운 때가 있어 에지 검출 시 에지로 판단하였다. 이러한 노이즈가 발생하면 다소 차선 검출에서 어려움이 발생한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 입력된 도로 영상으로 차선을 검출함에 있어 노면의 상태 변화에 따라 강인한 에지 검출을 하여 차선 인식률을 높이는 방법을 제안하였다. 그 방법으로 Otsu 법을 이용하여 Canny 검출 시 적용되는 파라미터 값 (Gaussian Filter의 표준편차)을 자동적으로 결정하고 이를 이용해 에지 검출을 시행함으로써 환경변화에 강인한 에지를 획득할 수 있다. 획득한 에지를 이용하여 Catmull Rom spline을 적용한 차선 검출을 시행하였다.

다양한 실험을 통하여 도로의 상태에 따라 노면과 차선 사이의 명암 값이 차이가 나는 것을 확인하였고, 에지 검출

시 파라미터의 값 변화에도 결과의 차이가 있었음을 확인하였다. 그래서 Histogram을 이용해 구한 명암 차이 값과 Canny 검출에 적용되는 파라미터의 값을 적절하게 매칭시켜 사용하였고, 환경변화에 보다 강인한 에지 검출 결과를 얻었다. 그 에지 검출의 결과로부터 차선 인식 알고리즘에 적용하여 노이즈에 강인한 차선인식을 할 수 있었다. 그리고 낮과 밤의 시간 환경 변화에도 본 알고리즘을 적용하여 사용하여도 강인한 차선 인식을 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Park, J. W. Lee, K. Y. Jhang, "The development of the new lane model on the image for the highly efficient lane detection system," The Korean Society of Automotive Engineers, vol.3, pp. 1115 - 1120, 2002
- [2] J. Goldbeck, B. Huertgen, "Lane detection and tracking by video sensors," JSAI International Conference on 1999, pp. 74 - 79, 1999
- [3] J. S. An, T. S. Oh, I. H. Kim, "Development of lane detection system using vision sensor," The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 1911 - 1912, 2008
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital image processing," Third Edition, Prentice Hall
- [5] Y. Wang, D. Shen, E. K. Teoh "Lane detection using spline model," Image and vision computing v.22 no.4, pp.269 - 280, 2004
- [6] Z. X. Li, S. W. Kim, "A multi thresholding approach improved with Otsu's method," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea. v.43 no.5= no.311, pp. 29 - 37, 2006
- [7] Y. Wang, E. K. Teoh, D. Shen, "Lane detection and tracking using B Snake," Image and vision computing v.22 no.4, pp. 269 - 280, 2004
- [8] Assidiq Abdulhakam.AM. ; Khalifa Othman O. ; Islam Md. Rafiqul, "Real time lane detection for autonomous vehicles," Computer and Communication Engineering, pp. 82 - 88, May, 2008
- [9] Xin Zhou, Xi yue Huang, "Multi lane line reconstruction for highway application with a signal view," Image and Graphics, pp. 35 - 38, 2004
- [10] R. Labayrade, J. Douret, D. Aubert, "A multi model lane detector that handles road singularities," Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 1143 - 1148, 2006
- [11] J. W. Lee, S. W. Lee, "A lane departure warning algorithm based on an edge distribution function," Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, vol9 no.3, pp. 143 - 154, 2001
- [12] J. W. Lee, U. K. Yi, "Lane departure warning system for intelligent vehicle," The Korean Society of Automotive Engineers, pp. 1271 - 1276, 2004
- [13] B. C. Kwon, D. W. Shin, K. S. Park, "A study on a lane detection using robust edge detection for the road condition changes," Institute of Control, Robotics and System, FBP24, 2011

저 자 소 개

권 보 철

- 2010년 : 금오공과대학교 기계공학부 학사
- 2012년 : 금오공과대학교 기계공학과 석사
- 2012년 ~ 현재 : 한국터보기계(주) 연구원
- 주관심분야 : 머신비전, 자동제어

신 동 원

- 1989년 : 서울대학교 기계설계학과 학사
- 1991년 : 서울대학교 기계설계학과 석사
- 1996년 : 서울대학교 기계설계학과 박사
- 1996년 ~ 1997년 : 삼성전자 전임연구원
- 2001년 ~ 2002년 : 미국 Georgia Inst. of Tech. 방문교수
- 2009년 ~ 2010년 : 미국 University of Massachusetts 방문교수
- 1997년 ~ 현재 : 금오공대 기계시스템공학과 교수
- 주관심분야 : 로봇제어, 모션제어, 머신비전, 영상처리