

논문 2005-42SP-4-3

# B-Snake를 이용한 차선 검출 및 추적 알고리즘에 관한 연구

## (A Study on a Lane Detection and Tracking Algorithm Using B-Snake)

김 덕 래\*, 문 호 선\*, 김 용 득\*\*

(Deok Rae Kim, Ho Sun Moon, and Yong Deak Kim)

### 요 약

본 논문에서는 B-Snake 차선 모델을 이용한 차선 검출 및 추적에 관한 알고리즘을 제안한다. 제안된 이론의 특성은 첫째, 다른 알고리즘에 비해 직선, 굴곡이 있는 도로와 같은 보다 넓은 범위의 차선 구조의 표현이 가능하며, 또한 평면 도로의 평행 특성을 이용하여 그림자, 잡음 등에 강하고, 둘째, 잡음에 강한 CHEVP(Canny/Hough Estimation Vanish Point) 알고리즘을 사용하여 차선 위치의 초기값을 제공한다. 셋째, GVF(Gradient Vector Flow)와 최소 평균 제곱 에러를 이용하여 B-Snake 차선 모델에서 발생하는 외부의 힘을 줄여 차선 검출의 에러를 줄이고 차선 추적을 효과적으로 수행한다. 측정 실험 결과 도로 영상을 날씨 별로 맑은 날, 흐린 날 그리고 비오는 날로 구분하여 본 알고리즘을 수행하였으며 95% 이상의 차선 검출률을 보였다.

### Abstract

In this paper, we propose lane detection and tracking algorithm using B-Snake as robust algorithm. One of chief virtues of Lane detection algorithm using B-Snake is that it is possible to specify a wider range of lane structure because B-Spline conform an arbitrary shape by control point set and that it doesn't use any camera parameter. Using a robust algorithm, called CHVEP, we find the vanishing point, width of lane and mid-line of lane because of the perspective parallel line and then we can detect the both side of lane mark using B-snake. To demonstrate that this algorithm is robust against noise, shadow and illumination variations in road image, we tested this algorithm about various image divided by weather-fine, rainy and cloudy day. The percentage of correct lane detection is over 95%.

**Keywords :** Lane Detection, B-Snake, Intelligence Vehicle

### I. 서 론

자율이동차량(AGV, Autonomous Guided Vehicles)은 병원에서의 환자 수송, 창고의 무인 운반 차량 그리고 위험 지역 탐사 등 많은 산업 분야에서 사용되고 있다. 대부분의 자율이동차량은 차량에 설치된 카메라를 통해 얻은 영상을 통해 길을 찾고 주행 제어를 하고 있으며, 그러기 위해서는 카메라 영상으로부터 차량의 위치, 차선 그리고 차량의 방향과 같은 의미 있는 정보를 얻어야 한다. 카메라 영상에서 추출하는 정보들 중에서 도로 영상으로부터 차선을 추출하는 것에 많은 관심이

모아지고 있으며, 카메라를 통해 얻은 도로 영상은 많은 잡음을 가지고 있기 때문에 이러한 잡음에 강한 많은 차선 검출 알고리즘들이 연구되고 있다.

차선을 검출하는 알고리즘은 다음과 같은 특징을 가져야 한다. 첫째, 차선 검출은 나무, 건물 등에 의해 생기는 그림자에 영향을 받지 말아야 한다. 둘째, 차선 검출은 직선 도로뿐만 아니라 굴곡이 있는 도로도 다룰 수 있어야 한다. 셋째, 차선이 표시된 도로나 표시가 되지 않은 도로도 처리할 수 있어야 한다.

지금까지 다양한 영상기반의 차선 검출 알고리즘에 연구되어 왔다<sup>[2, 3]</sup>. 이러한 차선 검출 알고리즘은 크게 특성 기반(feature-base) 기술과 모델 기반(model-base) 기술로 나눌 수 있다.

특성 기반 기술은 차선이 표시된 도로<sup>[4-7]</sup> 또는 차선

\* 학생회원, \*\* 정회원, 아주대학교 전자공학부

(Dept. of Electronics Engineering Ajou University)  
접수일자:2004년11월24일, 수정완료일:2005년2월4일

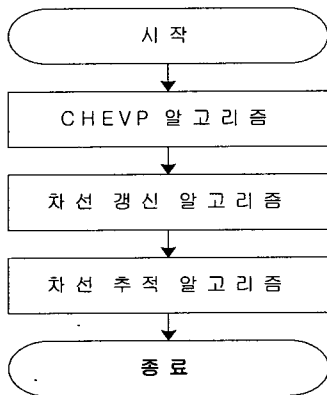


그림 1. 전체 흐름도  
Fig. 1. Whole flow.

윤곽선<sup>8, 9</sup> 등과 같은 하위 레벨을 이용하여 도로 영상에서 차선을 위치를 찾아내는 것이다. 이러한 기술은 차선 표시가 잘 된 도로나 강한 윤곽선을 가진 도로를 요구하기 때문에 일반적인 도로에 적용할 수 없다는 단점이 있다. 반면에, 모델 기반 기술은 도로를 표현하기 위한 파라미터를 사용한다. 도로의 형태가 직선<sup>10, 11</sup> 혹은 굴곡<sup>12</sup>이라고 가정하고 모델 파라미터를 계산함으로써 차선을 추출한다. 이러한 모델 기반 기술은 특성 기반 기술에 비하여 잡음 및 데이터 손실에 강하다는 장점이 있으나, 대부분의 모델 기반 기술은 특정한 형태의 도로에 초점을 맞추고 있기 때문에 임의의 도로에 적용하기에는 문제가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 B-Snake를 이용하여 직선 및 굴곡 도로에서 모두 적용할 수 있고, 잡음과 데이터 손실에 강한 차선 추출 및 추적 알고리즘을 제안한다. 그림 1에 알고리즘의 전체 흐름도를 나타내었다.

본 논문의 II장, III장에서는 차선 검출에 필요한 B-Snake 차선 모델과 CHEVP 알고리즘에 대해 알아보고, IV장에서는 추출한 차선의 갱신을 위한 알고리즘과 추적 알고리즘을 제안한다. V장에서는 제안된 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘을 성능을 평가하고, 마지막으로 VI장에서는 결론을 논의한다.

## II. B-Snake 차선 모델

### 1. 차선 모델

차선 검출에 있어서 차선 모델은 중요한 역할을 한다. 2차원의 영상으로부터 실제 세계의 3차원 정보를 회복하기 위해서 차선 모델은 몇 가지 가정을 해야 한다. 본 논문에서는 그림 2 (a)에서처럼 지상 평면에서

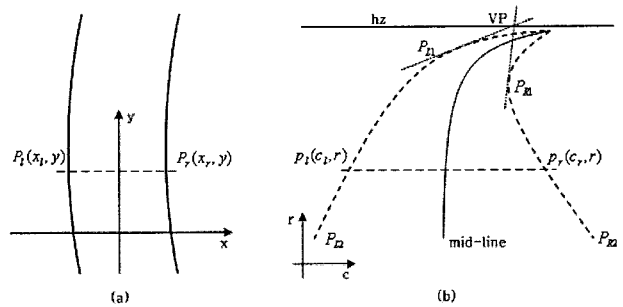


그림 2. 지상 평면과 영상 평면에서 평행한 차선  
Fig. 2. Parallel lines on ground plane and image plane.

양쪽 차선은 평행한 구조를 갖는다는 것을 가정하고 2차원 차선 모델을 다룬다. 또한, 좌우 차선은 지상 평면의 y축을 기준으로 좌우 대칭이기 때문에 우측의 차선은 좌측의 차선을 거리  $D = (x_r - x_l)$ 만큼 지상 평면의 x축을 따라서 우측으로 이동한 것과 같다고 가정한다. 여기서,  $x_r$ 과  $x_l$ 은 지상 평면의 두 점  $P_l(x_l, y)$ ,  $P_r(x_r, y)$ 의 x축 좌표이다.

그림 2 (b)는 지상 평면에서의 차선이 영상 평면으로 투영된 차선을 보여준다. 지상 평면의  $P_l(x_l, y)$ 과  $P_r(x_r, y)$ 이 투영된 좌표  $p_r(c_r, r)$ 과  $p_l(c_l, r)$  사이의 수평 거리  $d = (c_r - c_l)$ 는 다음과 같다.

$$d = \frac{\lambda^2 D (r - hz)}{H(\lambda^2 + hz^2)} \tag{1}$$

여기서,  $\lambda$ 는 초점거리(focal length)이고, H는 카메라가 설치된 위치의 높이,  $hz$ 은 영상 평면에서 소멸선의 위치 그리고 r은 그림 2 (b)에서 보는 것처럼 영상 평면에서 사용하는 수직 좌표이다. 또한, 수평거리 d는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d = k(r - hz) \tag{2}$$

여기서,  $k = \frac{\lambda^2 D}{H(\lambda^2 + hz^2)}$  이다.

영상 평면에서 양쪽 차선의 중앙선은

$$L_{mid} = (c_m, r_m) \tag{3}$$

로 정의할 수 있다. 그러면 차선 모델의 좌측 차선은 다음과 같다.

$$L_{left} = (c_l, r_l) \tag{4}$$

여기서,

$$c_l = c_m - \frac{1}{2}d = \frac{1}{2}k(r_l - hz), r_l = r_m \quad (5)$$

이다. 같은 방법으로, 우측 차선은 다음과 같다.

$$L_{right} = (c_r, r_r) \quad (6)$$

여기서,

$$c_r = c_m - \frac{1}{2}d = \frac{1}{2}k(r_r - hz), r_r = r_m \quad (7)$$

이다.

지금까지 언급한 차선 모델에서, 도로의 양쪽 차선 검출은 양쪽 차선의 중앙선을 찾음으로써 쉽게 구현될 수 있음을 알 수 있다. III장에서 도로 영상으로부터 파라미터 k 값의 계산을 보여줄 것이다.

## 2. B-Spline snake

Snake<sup>[13]</sup>는 곡선 자체로부터의 내부의 힘과 영상 데이터로부터의 외부의 힘의 영향으로 움직이는 영상 영역 안에서 정의된 곡선이다. 내부의 힘과 외부의 힘이 정의될 때마다 Snake는 영상에서 경계선을 찾아내기 때문에 윤곽선 추출, 형태 모델링, 움직임 추적 등과 같이 폭 넓게 사용되고 있다.

Snake는 적은 상태 변수를 사용하는 cubic B-Spline<sup>[14]</sup>을 이용하여 보다 경제적으로 구현할 수 있다. B-Spline은 적은 수의 파라미터(제어점)를 사용하여 대략적인 윤곽을 제공하는 구분적인 다항 함수이다. 그것은 4개 혹은 그 이상의 상태 변수를 이용하여 곡선을 표현한다. 표현되는 곡선은 닫혀 있거나 열려 있어야 하고, 곡선의 유연성은 더 많은 제어점을 첨가함으로써 증가한다. 각각의 첨가하는 제어점은 하나 이상의 굴곡을 만들거나, 많은 knots가 사용되었을 때<sup>[13]</sup> 한 점에서 연속성을 제거할 수 있다.

### 가. Uniform cubic B-Splines

(n+1)개의 제어점을 갖는 cubic B-Spline<sup>[14]</sup>은 (n-2)개의 곡선 조각,  $g_i(s) = (r_i(s), c_i(s))$ ,  $i = 1, 2, \dots, (n-2)$ 의 연결로 구성된다. 그것은 C2에서 연속이며 연속적인 기울기와 곡률을 가지고 있다. 각각의 곡선 조각은 파라미터 s에 의한 4개의 제어점의 선형적인 결합이고, 파라미터 s는 0과 1사이 값( $0 \leq s \leq 1$ )으로 일반화되어 있다. 그것은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$g(s) = \sum_i M_i(s) Q_i \quad (8)$$

여기서,  $M_i(s)$ 는 spline의 기본 함수 이다.

B-Spline의 특성에 따라서, B-Spline은 제어점을 통과하여 지나간다.

### 나. 차선을 표현을 위한 B-snake의 적용

양쪽 차선의 중앙선을 표현하기 위해 B-Spline에 의한 제어점을 사용하고, 오른쪽 차선과 왼쪽 차선을 표현하기 위해 파라미터 k를 사용한다. 그리고 처음과 마지막 제어점을 통과하는 B-Spline을 만들기 위해 처음의 3개 제어점이 같고, 마지막 3개 제어점이 같도록 설정한다. 차선 모델의 중앙선은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L_{mid} = (c_m, r_m) = M_R(s) \begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ Q_i \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

대부분의 차선은 3개의 제어점을 사용함으로써 효율적으로 표현이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 3개의 제어점(Q0, Q1, Q2)을 사용하여 차선 및 양쪽 차선의 중앙선을 표현할 것이다. 도로 영상은 카메라의 시야와 관계가 있기 때문에 소멸선이 도로 영상 안에 있다면 제어점 중 Q2는 위치는 소멸선에 위치할 것이다. 또한 다른 하나의 제어점 Q1은 영상의 가장 마지막 부분에 의해 제한될 것이다.

## III. CHEVP를 이용한 차선 추출

CHEVP(Canny/Hough Estimation of Vanishing Point)<sup>[1]</sup>은 도로 형태에 제한받지 않고 직선 또는 굴곡인 도로에 모두 적용 가능한 알고리즘으로 B-Snake를 이용한 알고리즘의 초기의 차선 위치를 제공한다. 알고리즘을 적용하기 위해서 도로는 두 개의 평행한 차선 표시가 있고, 영상에 지평선 영역이 있고, 도로는 대략적으로 직선이라는 것을 가정한다.

원근 효과(Perspective Effect)의 영향으로 영상에서의 차선은 지평선상의 소멸점에서 교차하게 된다. CHEVP 알고리즘 처리 단계는 다음과 같다.

### 가. 영상의 윤곽선 추출

Canny Edge detector를 이용하여 도로 영상의 윤곽선을 추출한다. 그림 4 (a)는 도로 영상이고 (b)는 Canny Edge Detector를 이용한 윤곽선 추출 영상이다.

나. 허프 변환을 이용한 직선 추출

추출한 윤곽선 영상은 직선이 가능한 점들을 찾는데 사용한다. 알고리즘 적용을 위해 도로 영상을 몇 개의 수평 영역으로 나눈다. 그림 4 (a)에서 보는 것처럼 도로 영상의 윗부분과 아래 부분은 차선 검출과 관계없는 영역으로 그림 5(a)에서처럼 도로 영상을 3개의 영역으로 나누었다. 도로 영상의 각 높이는 영상의 윗부분으로 갈수록 줄어든다. 도로 영상의 영역은 각각의 직선 성분을 가지고 있으며 각 영역에서 허프 변환<sup>[15]</sup>을 이용하여 가능한 직선을 검출한다. 적당한 임계값을 이용하여 그림 5(b)에서 보는 것처럼 각 영역에서 직선을 검출할 수 있다.

다. 수평선과 소멸점 검출

각 영상 영역에서 검출된 직선은 항상 쌍으로 이루어기 때문에 소멸점을 찾기 위해서는 두 직선의 교차점을 찾으면 된다. 이러한 두 직선의 교차점을 찾는 것은 각 영상 영역에서 독립적으로 이루어진다. 각 영역에서 얻은 소멸점들은 가중치의 합을 이용하여 도로 영상의 소멸선을 찾을 수 있다. 각 영상 영역의 소멸점은 소멸선 근처에서 결정된다. 그림 6은 각 영상 영역에서 검출한 소멸점과 직선 쌍을 보여준다. 만약에 직선 쌍을 찾을 수 없는 영역이 없다면 도로가 직선에 가깝다고 가정하여 그 영역의 전후의 영역의 직선 쌍을 이용하여 소멸점을 결정한다.

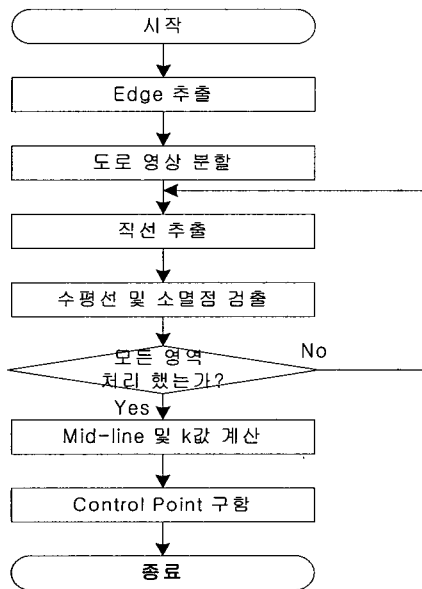


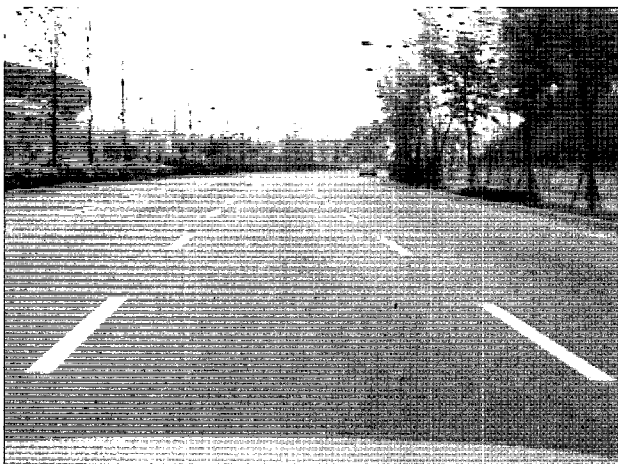
그림 3. CHEVP 알고리즘 흐름도  
Fig. 3. Flow of CHEVP Algorithm.

라. 양쪽 차선의 중앙선과 파라미터 k의 계산

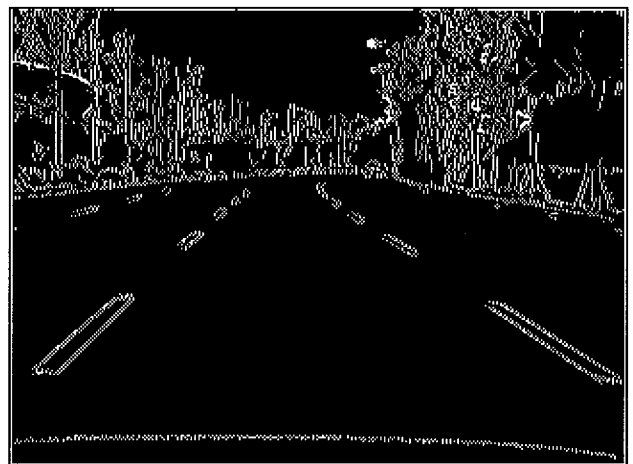
영상 영역의 아래 부분부터 위 부분까지 각 영역에서 검출한 직선 쌍을 도로의 양쪽 차선이라 가정하고 도로의 중앙선을 찾는다. 만약에 도로의 양쪽 차선을 검출하지 못했다면, 상위 영역에서 검출한 것을 사용한다. 그림 6 (a)는 영역 0에서의 도로의 양쪽 차선과 중점을 보여준다.  $L_1$ 과  $L_2$ 는 영역 0에서의 양쪽 차선이고  $P_0$  점과  $P_0$ 점은 영역 0의 아래 경계선과의 교차점이고  $P_{m0}$ 점과  $P_{m1}$ 점은 각각 영역 0과 영역 1의 아래 경계선의 중점이다. 그림 6 (b)는 각 영역의 중점을 찾아 연결한 것이다.

파라미터 k는 다음 식에 의해 결정될 수 있다.

$$k = \frac{c_{right} - c_{left}}{r_{mid} - h_z} \tag{10}$$



(a)



(b)

그림 4. (a) 도로 영상 (b) 윤곽선 추출 영상  
Fig. 4. (a) road image (b) edge detection image.

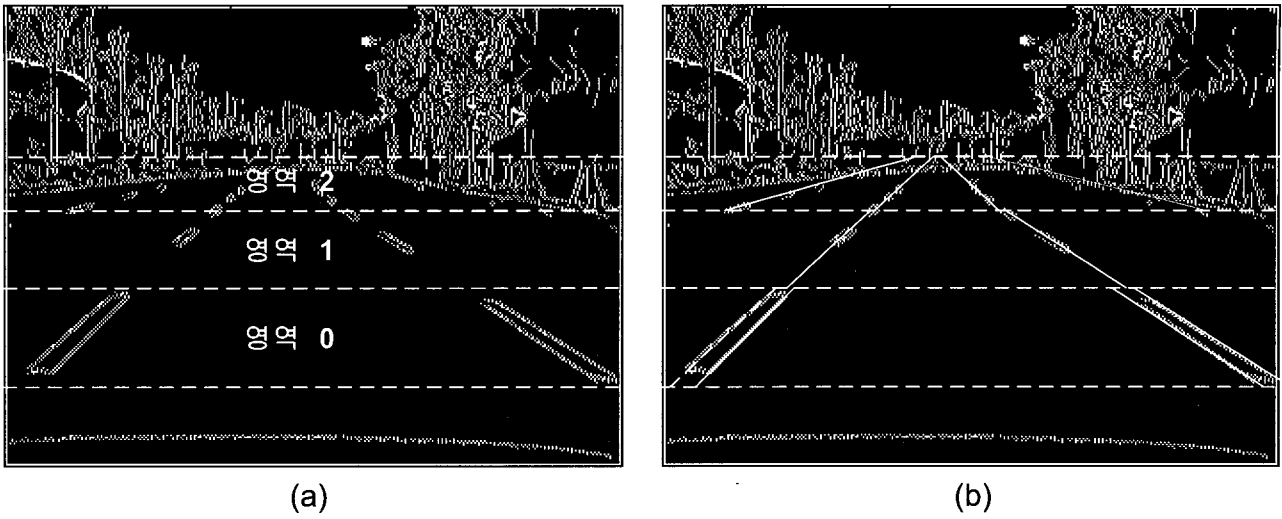


그림 5. (a) 차선 영역 분리 (b) 허프 변환을 이용한 직선 추출  
 Fig. 5. (a) Division of lane area (b) Straight line detection using Hough Transform.

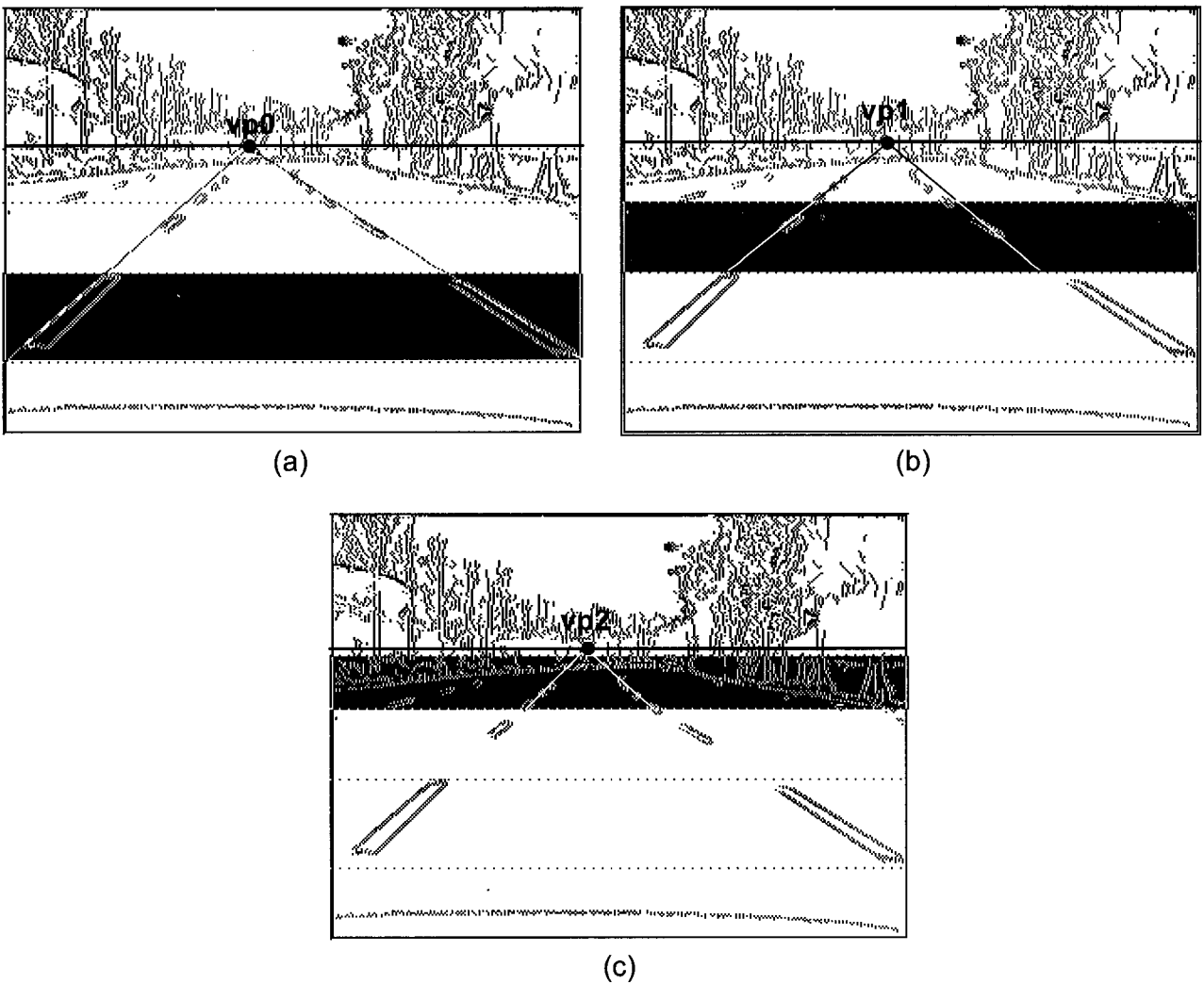


그림 6. 각 영상 영역에서의 직선 쌍과 소멸선 검출 (a) 영역 0 (b) 영역 1 (c) 영역 2  
 Fig. 6. Straight line pair and vanishing line detection in each section.  
 (a) section 0 (b) section 1 (c) section 2.

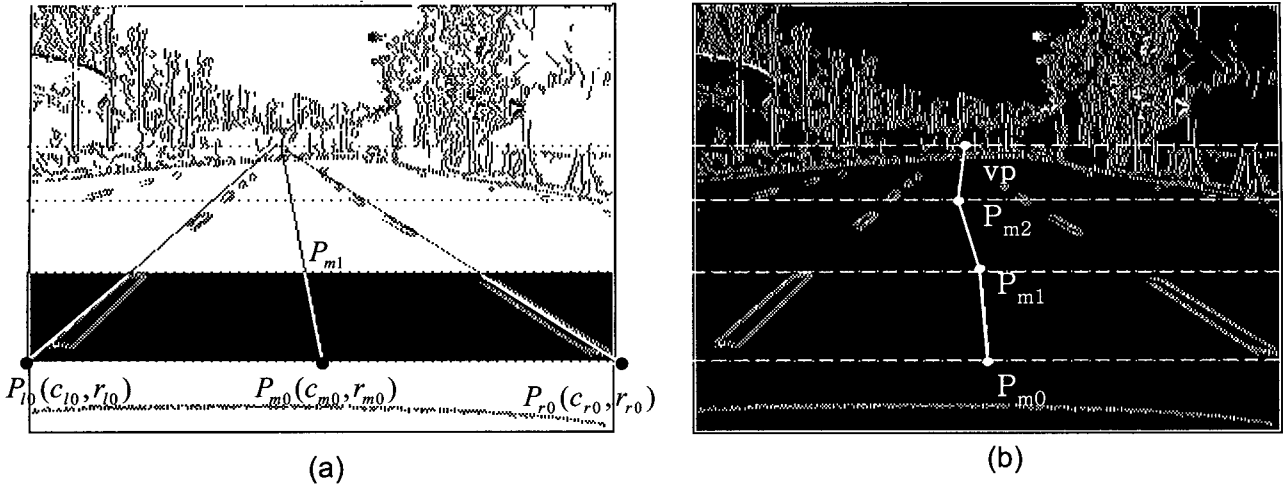


그림 7. (a) 영역 0에서 양쪽 끝점 및 중점 검출 (b) 각 영역에서의 중점 검출  
 Fig. 7. (a) Both side line end point and mid-point detection in section 0.  
 (b) mid-point detection on each section.

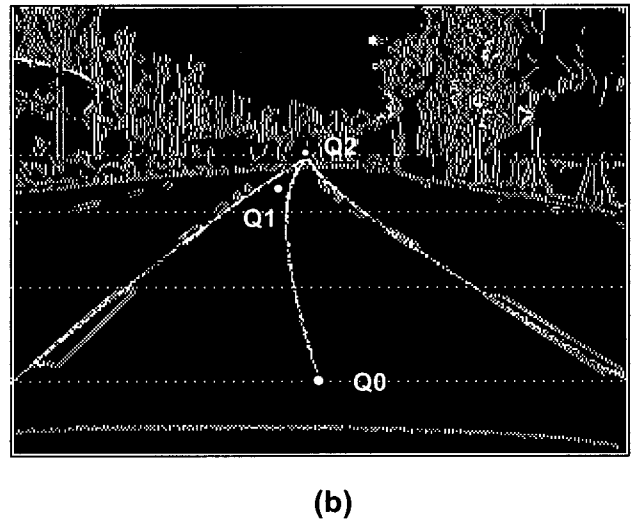
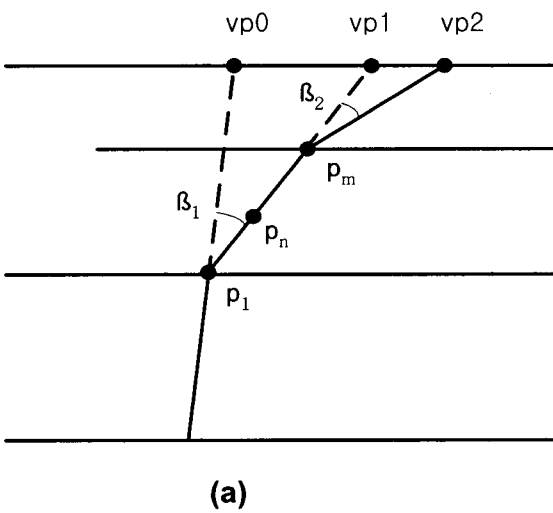


그림 8. (a) 제어점 Q1의 계산 (b) B-Spline을 이용한 차선 검출  
 Fig. 8. (a) Calculation of control point Q1 (b) lane detection using B-Spline.

여기서,  $h_z$ 는 소멸선의 수직(row) 좌표이다.

마. 제어점 구하기

그림 7 (b)에서보는 것처럼, 가 단계부터 라 단계의 과정을 통해서  $P_{m0}$ 와 소멸점(vp)점을 얻을 수 있다. 여기서  $P_{m0}$ 는 B-Spline의 시작 제어점  $Q_0$ 로 사용할 수 있고, vp는 마지막 제어점  $Q_2$ 로 사용할 수 있다. 나머지 제어점은 그림 8 (a)에서 정의된 각  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 에 의해 결정된다.

각  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 의 값에 따른  $Q_2$ 의 knot point로서, 각  $\{\beta_1 \neq 0 \text{ and } \beta_2 \neq 0\}$  이면  $P_k = P_q$ 이고, (단,  $P_q$  는  $P_2$ 부터 vp1까지 길이의 1/4이다.) 각  $\{\beta_1 = 0 \text{ and } \beta_2 \neq 0\}$  이면 일 때,  $P_k = P_2$  이다. 마지막으로 각  $\{\beta_1 \neq 0 \text{ and}$

$\beta_2 = 0\}$  이거나( $\beta_1 = 0 \text{ and } \beta_2 = 0\}$  일 때,  $P_k = P_m$  이다. (단,  $P_m$  은  $P_2$ 부터 vp1까지 길이의 1/2이다.) 따라서, 제어점  $Q_1$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Q_1 = \frac{3}{2}P_k - \frac{1}{4}(Q_0 + Q_2) \tag{11}$$

그림 8 (b)는 B-Spline을 이용하여 차선과 중앙선을 검출한 것을 보여주고 있다. 여기서 지난 단계에서 계산한 parameter k는 변하지 않는다.

IV. 추출 차선 갱신 및 추적 알고리즘

B-snake의 정확한 위치를 얻기 위해 양쪽 차선으로

부터 외부 힘의 합과 적당한 파라미터 k를 얻기 위한 차선 모델의 양쪽 차선으로부터 외부 힘의 차이를 최소화하기 위해 갱신을 수행해야한다.

가. 추출 차선 갱신

B-snake가 차선에 접근할 때, 그것의 외부 힘은 아래의 방정식을 만족한다.

$$E_{ext} = E_L(s) + E_R(s) = 0 \tag{12}$$

여기서, EL(s)는 왼쪽 차선의 외부 힘, ER(s)는 오른쪽 차선의 외부 힘이다.

B-Snake의 외부 힘이 0이라는 것은, 양쪽 차선의 위치와 양쪽 차선의 중앙선은 변화가 없는 것이다. 그래서 우리는 외부의 힘이 0 이 되는 요구사항을 해결하기 위해 최소 평균 제곱의 에러<sup>[1]</sup>를 사용한다. 그림 9는 최소 평균 제곱의 에러를 이용한 추출 차선 갱신의 흐름도이다.

여기서, 도로 영상의 외부 힘을 계산하기 위해 넓은 획득 범위를 가지는 GVF(Gradient Vector Flow)<sup>[16]</sup>를 사용한다. 또한, Q(t), k(t), ΔQ(t) 그리고 Δk(t)를 계산하기 위한 방정식<sup>[1]</sup>은 다음과 같다.

$$Q(t) = Q(t-1) + \Delta Q(t) \tag{13}$$

$$\Delta Q(t) = \gamma^{-1} [M^T M]^{-1} M^T E_{ext} \tag{14}$$

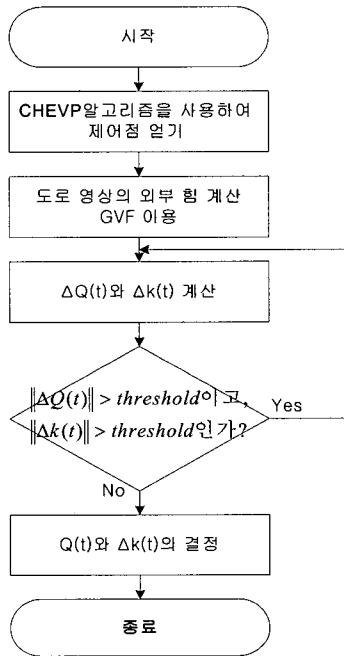


그림 9. 추출 차선 갱신 흐름도  
Fig. 9. Flow of detection lane update.

여기서, γ는 단위 크기,

$$M = \begin{bmatrix} M & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & M_0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \dots & 0 & M_{n-1} & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & M_n \end{bmatrix}$$

$$M_i = \begin{bmatrix} s_{i,1}^3 & s_{i,1}^2 & s_{i,1} & 1 \\ s_{i,2}^3 & s_{i,2}^2 & s_{i,2} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{i,m}^3 & s_{i,m}^2 & s_{i,m} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1/6 & 1/2 & -1/2 & 1/6 \\ 1/2 & -1 & 1/2 & 0 \\ -1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/6 & 2/3 & 1/6 & 0 \end{bmatrix} \tag{15}$$

m은 B-Spline의 I번째 조각에서 샘플 포인트의 수이다. 본 논문에서 제어점의 개수는 3개 이므로 n=2를 사용하였다.

$$E_k = \tau(k(t) - k(t-1)) = \tau \Delta k(t) \tag{16}$$

$$k(t) = k(t-1) + \Delta k(t) \tag{17}$$

$$\Delta k(t) = E_k / \tau \tag{18}$$

여기서, τ는 k를 위한 단위 크기 이고, E는 파라미터 k에 영향을 주는 외부 힘이다.

나. 차선 추적 알고리즘

차선 추적 알고리즘은 지금까지 설명한 차선 추출 알고리즘보다 훨씬 간단하다. CHEVP 알고리즘은 도로 영상에서 초기의 차선 위치를 찾아내기 위한 것으로 차선 추적 알고리즘은 CHEVP 알고리즘을 사용하지 않고 이전 프레임에서 사용한 제어점과 파라미터 k를 사용하며, 외부 힘은 GVF를 사용하지 않고 영상의 그레디언트를 계산하여 얻는다.

V. 측정 실험 및 결과

본 실험에서는 차량에 카메라를 설치하여 경기도 지역의 도로를 촬영하였으며, 도로 영상을 날씨 별로(맑은 날, 흐린 날, 비오는 날)로 구분하여 각각에 대하여 100개 영상에 대하여 본 알고리즘을 적용하였다. 알고리즘은 Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였으며 시험은 펜티엄 4 PC에서 수행하였다. 도로 영상은 320×240의 gray 영상을 사용하였다.

그림 10에 제안한 알고리즘을 적용하여 차선을 검출한 결과 영상을 나타내었고 그림 11에는 실패한 영상을 나타내었다.

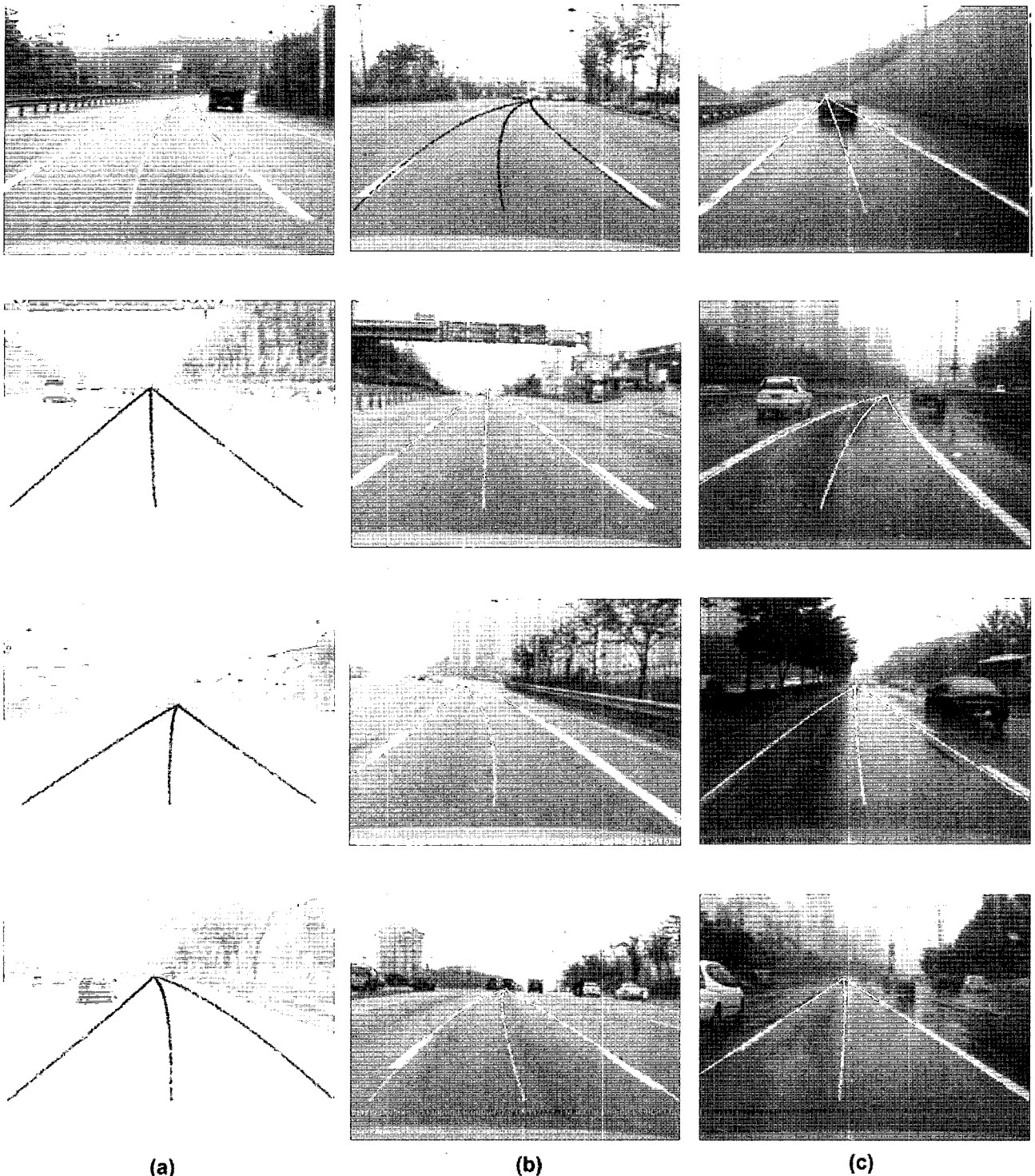
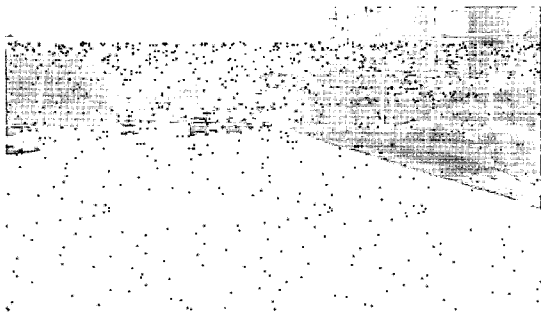


그림 10. 차선 검출 결과 (a) 맑은 날 (b) 흐린 날 (c) 비오는 날  
 Fig. 10. Results of lane detection (a) fine day (b) cloudy day (c) rainy day.

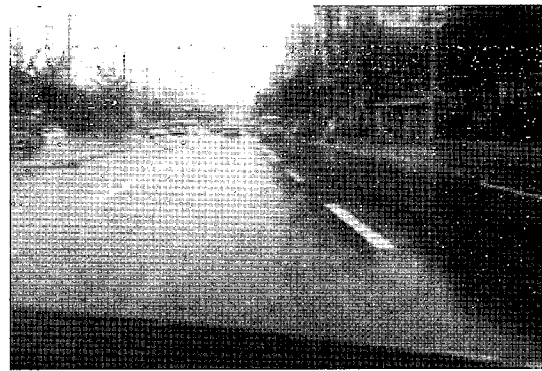
그림 12는 알고리즘 수행 결과 얻은 제어점의 일치 정도를 나타낸 것이다. 이는 도로 영상에서 소멸점과를 측정하고 알고리즘을 통해 얻은 값을 비교한 것으로 Q0과 Q2는 각각 도로 영역의 가장 아랫부분의 중점과 소멸선을 비교하였다. Q1에 대한 평가는 B-Spline을 통해서 얻은 곡선의 점과 도로 영상에서의 양쪽 차선의

중점과 비교하였다. 오차범위는 Q0과 Q1 좌우 3픽셀 이내, Q2는 상하좌우 3픽셀이내로 하여 평가하였다. 실험결과에서 보는 것처럼 맑은 날과 흐린 날인 경우 제어점 Q0과 Q1은 95% 이상의 일치율을 보였지만, Q2는 85%의 다소 낮은 일치율을 보였다. 이는 도로 영상에서 정확한 소멸점을 찾기 어려워 발생한 것이다.





(a)



(b)

그림 11. 차선 검출의 실패 (a) 맑은 날 (b) 비오는 날  
Fig. 11. Failure of lane detection (a) fine day (b) rainy day.

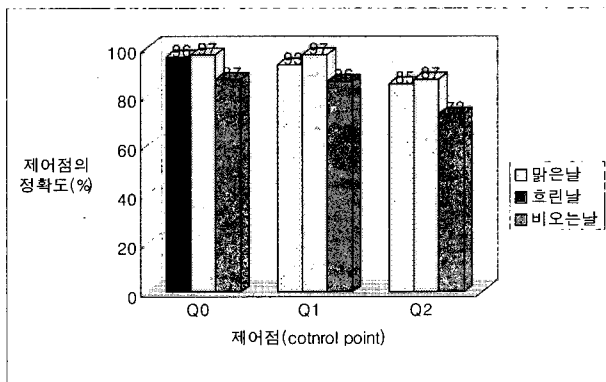


그림 12. 제어점 평가  
Fig. 12. Estimation of control points.

표 1. 차선 검출 결과(%)  
Table 1. Results of lane detection(%).

	맑은 날	흐린 날	비오는 날
왼쪽차선	96.75	96.77	85.45
오른쪽 차선	95.33	96.83	86.02
계	95.95	96.80	85.72

표 1에는 차선 검출 실험 결과를 나타낸다. 이는 제어점과 파라미터 k를 사용해 B-Spline을 이용해 얻은 왼쪽, 오른쪽 차선 픽셀과 도로 영상에서의 차선을 비교하여 일치 정도를 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 맑은 날, 흐린 날에는 95% 이상의 차선 검출률을 보였지만 비오는 날에는 85% 정도의 낮은 검출률을 보였다. 이것은 비가 오는 날은 도로 위의 빗물이 건물, 나무, 다른 차량과 같은 것을 반사하고, 차량에서 와이퍼가 작동하는 등 맑은 날과 흐린 날에 비해 잡음이 많기 때문에 차선 검출이 어렵기 때문이다. 그림 11 (b)는 비오는 날의 영상이 빗물의 영향으로 왼쪽 차선이 잘 안보이는 것을 알 수 있다. 또한 맑은 날과 흐린 날을 비교하

면 맑은 날의 검출률 다소 낮게 나온 것을 알 수 있다. 이는 햇빛의 영향으로 인한 것으로 그림 11 (a)에서 보는 것처럼 햇빛의 영향으로 콘크리트 도로에서는 차량에서 멀어질수록 차선의 식별이 어렵기 때문이다.

## VI. 결 론

본 논문에서 제안한 B-Snake 차선 모델을 사용하여 차선을 검출하는 것은 차선의 평행 특성을 이용하여 먼저 차선의 중앙선을 찾고 양쪽 차선을 검출하는 것이다. 측정 결과에서 보는 것처럼 이러한 차선 모델에 기반한 알고리즘은 카메라 파라미터에 대한 정보 없이 차선 검출 알고리즘이 가져야 하는 직선뿐만 아니라 곡선의 차선 등 보다 넓은 범위의 도로 모델에 적용할 수 있다.

CHEVP알고리즘은 B-Snake 차선 모델에 양쪽 차선의 중앙선에 대한 좋은 초기값을 제공해 준다. 또한 그래디언트 벡터 플로우(GVF)와 최소 평균 제곱 에러(MMSE)를 이용하여 실제 차선과 차선 모델 사이의 차이를 제거하고, CHEVP에 의해 제공된 차선의 초기 정보를 갱신해 줌으로써 도로 영상의 잡음, 그림자, 시간에 따른 조도 변화 그리고 날씨 변화에 강하고 정확한 차선을 검출할 수 있다.

이후의 연구로서 비오는 날의 차선 검출의 개선하고, 실험 영상을 눈오는 날과 야간 영상으로 확대하여 제안된 알고리즘을 수행하고 또한 본 논문에서는 2D 영상만을 다루었지만 이를 3D영상으로 확대할 수 있을 것이다. 그리고 영상 기반의 차선 검출 알고리즘은 잡음이 없는 좋은 영상을 전제로 하기 때문에 보다 더 좋은 영상을 얻기 위한 연구나 잡음이 많은 영상에서 잡

음을 제거하고 원래의 영상으로 복원할 수 있는 연구가 진행 되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Y. Wang, E. K. Teoh, D. Shen, Lane detection and tracking using B-Snake, Elsevier Image and Vision Computing 22, 269-280, 2004.
- [2] 김용득, 하동문, 김병철, "고속 영상 검지기 시스템 개발에 관한 연구", 대한전자공학회논문지 제 41권 SC편 1호, 25~32, 2004. 1.
- [3] 김용득, 이종민, 하동문, "영상기반 교통정보 추출 알고리즘연구", 대한교통학회지, 19권 6호, 161~170, 2001.12.
- [4] A. Broggi, Robust real-time lane and road detection in critical shadow conditions, Proceedings IEEE International Symposium on Computer Vision, Coral Gables, Florida, November 19-21 1995.
- [5] A. Broggi, S. Berte, Vision-based road detection in automotive systems: a real-time expectation-driven approach, Journal of Artificial Intelligence Research 3, 345-348, 1995.
- [6] A. Broggi, A massively parallel approach to real-time vision-based road markings detection, in: I. Masaky (Ed.), Proceeding IEEE Intelligent Vehicles '95, 84-89, 1995.
- [7] M. Bertozzi, A. Broggi, GOLD: a parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection, IEEE Transactions of Image Processing, 62-81, 1998.
- [8] B. Serge, B. Michel, Road segmentation and obstacle detection by a fast watershed transform, Proceedings of the Intelligent Vehicles '94 Symposium, 296-301, October 1994.
- [9] Y. Xuan, B. Serge, B. Michel, Road tracking lane segmentation and obstacle recognition by mathematical morphology, Proceedings of the Intelligent Vehicles '92, 166-170, 1992.
- [10] D. Grimmer, S. Lakshmanan, A deformable template approach to detecting straight edges in radar images, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 18, 438-443, 1996.
- [11] K. Kaliyaperumal, S. Lakshmanan, K. Kluge, An algorithm for detecting roads and obstacles in radar images, IEEE Transactions on Vehicular Technology 50 (1), 170-182, 2001.
- [12] A. Kaske, R. Husson, D. Wolf, Chi-square fitting of deformable templates for lane boundary detection, IAR Annual Meeting '95, November 1995 Grenoble France.
- [13] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, Snake : active contour models, International Journal of Computer Vision 1(4), 321-331, 1987.
- [14] R. H. Bartels, J.C. beatty, B.A. Barsky, An introduction to splines for use in computer graphics and geometric modeling, Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, 1987.
- [15] Rafael C. Gonzales and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Welsley Publishing Company, 432-438, 1992.
- [16] C. Xu, J.L. Prince, Snakes, shapes, and GVF, IEEE Transactions on Image Processing (1998) 359-369.

## 저자 소개



김 덕 래(학생회원)  
2003년 아주대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2005년 아주대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
<주관심분야 : 컴퓨터, 영상처리>



문 호 선(학생회원)  
1998년 아주대학교 산업공학과  
학사 졸업.  
2005년 아주대학교 전자공학과  
석박사통합과정 재학중.  
<주관심분야 : 통신, 영상처리 >



김 용 득(정회원)  
1971년 연세대학교 전자공학전공  
(학사)  
1973년 연세대학교 전자공학전공  
(석사)  
1978년 연세대학교 전자공학전공  
(박사)

1979~현재 아주대학교 전자공학부 정교수  
1973~1974 불란서 E. S. E 전자공학 연구실  
1973~1974 미국 STANFORD 대학교 연구교수  
1981~1982 한국전자통신연구소 위촉연구위원  
1994~1998 ITS 연구기획단연구위원, 전자부문  
총괄

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, ITS>