

카메라와 도로평면의 기하관계를 이용한 모델 기반 곡선 차선 검출

Model-based Curved Lane Detection using Geometric Relation between Camera and Road Plane

장 호 진, 백 승 해, 박 순 용*
(Ho-Jin Jang¹, Seung-Hae Back¹, and Soon-Yong Park^{1,*})

¹School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

Abstract: In this paper, we propose a robust curved lane marking detection method. Several lane detection methods have been proposed, however most of them have considered only straight lanes. Compared to the number of straight lane detection researches, less number of curved-lane detection researches has been investigated. This paper proposes a new curved lane detection and tracking method which is robust to various illumination conditions. First, the proposed methods detect straight lanes using a robust road feature image. Using the geometric relation between a vehicle camera and the road plane, several circle models are generated, which are later projected as curved lane models on the camera images. On the top of the detected straight lanes, the curved lane models are superimposed to match with the road feature image. Then, each curve model is voted based on the distribution of road features. Finally, the curve model with highest votes is selected as the true curve model. The performance and efficiency of the proposed algorithm are shown in experimental results.

Keywords: lane detection, curved lane detection, feature extraction

I. 서론

최근 자동차 산업을 살펴보면 운전자의 안전과 편의를 고려하는 ITS (Intelligent Transport System)와 ADAS (Advanced Driver Assist System) [1,2]분야에 많은 연구역량이 집중되고 있다. ITS와 ADAS에서 핵심적인 연구분야 중 하나는 현재 주행 중인 차선의 이탈정보를 확인, 경고하는 LDWS (Lane Departure Warning System) [3]시스템이다. 주행 중 운전자의 졸음과 같은 부주의로 차선을 이탈하여 발생하는 사고는 인명 피해를 일으키는 대형사고로 이어지기 때문에 LDWS시스템에 보다 많은 연구가 진행되고 있다.

LDWS시스템에서 높은 성능을 보장 받기 위해서는 주행하고 있는 차선을 정확하게 검출하는 기술이 필요하다. 차선 검출을 위해서 레이더나 레이저 스캐너와 같은 센서를 사용하기도 하지만 비전센서를 이용하여 검출하는 것이 보다 일반적이다. LDWS시스템에서 차선 검출을 위해 사용된 기존의 방법들에는 에지(edge) 정보를 이용하는 방법[4,5]과 컬러모델을 이용하는 방법[6], B-Snake를 이용하는 방법[7], 그리고 Perspective 변환을 이용하는 방법[8]등이 있다.

HIS 컬러모델을 이용하는 방법은 입력된 RGB 영상을 색상(hue), 채도(saturation), 명암(intensity)를 가지는 HSI컬러 모델로 변환하여 채도성분과 명암성분을 이용해 이진화하여

차선을 검출하는 것으로 석양이나, 그림자가 섞여있는 영상에서는 검출률이 떨어진다.

에지 정보를 이용하는 방법은 Canny 필터나 Sobel 필터를 사용하여 에지를 검출한 후 허프(Hough)공간에서 직선성분을 찾아 차선을 검출하는 것으로, 석양이나 새벽 같은 조명조건에서 색 온도에 영향을 받지 않고 차선을 검출할 수 있지만 그림자와 같은 차선 이외의 에지들이 많이 존재할 경우 오검출률이 높아지는 단점이 있다.

본 논문에서는 차선은 항상 도로보다 밝은 점을 이용하여 차선과 도로 면의 밝기 차이와 차선의 폭을 이용하여 조명에 강인한 특징을 추출하고, 특징 추출 결과를 이용하여 직선 차선을 검출한다. 다음으로 검출된 직선과 카메라 정보를 이용하여 3차원 도로 면에 13개의 곡선 후보를 생성한다. 마지막으로 특징 추출 결과를 곡선 후보에 보팅(voting)하여 최종적으로 곡선 차선을 결정한다. 이 후 연속되는 프레임에서는 곡선차선을 빠르게 추적할 수 있도록 이전 프레임의 검출 정보를 이용하여 속도 및 검출 성공률을 향상하였다. 그림 1에서 전체 알고리즘의 흐름도를 보여준다.

본 논문의 구성은 그림 1과 같다. II 장에서 차선 특징 추출 과정에 대해 설명하고, III 장에서 직선 차선 검출을, IV 장에서는 III 장에서 검출된 직선 차선을 이용하여 곡선차선을 검출하고 추적하는 과정에 대해 설명하였다. V 장에서 실제 도심, 시내, 도심외곽지역의 주행 영상을 이용하여 제안하는 방법의 검출률과 오검출률을 구하고 수행속도를 분석하였다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 특징 추출

차선을 검출하기 위해서는 먼저 차선 외의 잡음들을 제거

* Corresponding Author

Manuscript received November 15, 2014 / revised December 15, 2014 / accepted December 30, 2014

장호진, 백승해, 박순용: 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부
(hobbangc@gmail.com/eardrops@naver.com/sypark@knu.ac.kr)

※ 본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업(10040927, 운전 안전성 및 편의성 향상을 위한 운전자 시야 중심 차량용 증강현실 정보제공 시스템 기술 개발)의 연구결과로 수행되었음.

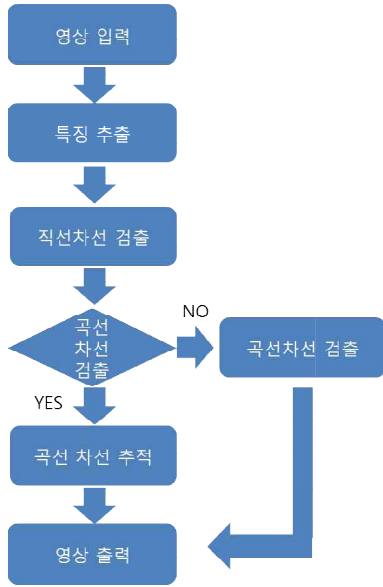


그림 1. 제안하는 곡선차선 검출 방법의 순서도.
Fig. 1. Flow diagram of the proposed curved lane detection method.

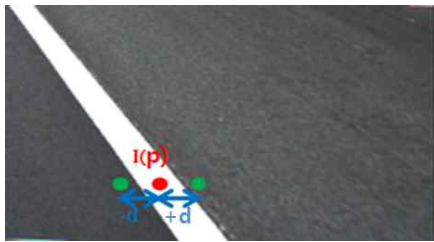


그림 2. 차선 특징 추출 과정 예시.
Fig. 2. Example of the lane feature extraction process.

하는 차선의 특징 추출과정이 필요하다. 본 논문에서는 기존에 연구된 조명환경에 강인한 차선 특징추출방법을 이용하였다[11]. 이 방법에서 특징 추출을 위해 사용되는 차선의 가정들은 다음과 같다.

- 가정1: 차선의 폭은 일정하다.
- 가정2: 차선영역은 도로영역보다 밝기값이 높다.

이와 같은 가정들은 대체로 조명조건과 무관하게 나타나므로 강인한 특징 추출이 가능하다.

특징 추출을 위해 먼저 입력 영상을 식 (1)을 사용하여 그레이(gray) 영상으로 변환하고 변환된 영상 $G(x,y)$ 를 식 (2)에서 그림 2와 같이 $G(x,y)$ 를 중심으로 x축 방향으로 $\pm d$ 지점과의 밝기 값 차이를 가지는 영상 $I(x,y)$ 를 구한다.

$$G(x,y) = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.114 \times B) \quad (1)$$

$$I(x,y) = 2 \times G(x,y) - G(x+d,y) - G(x-d,y) \quad (2)$$

이 때, $I(x,y)$ 의 밝기 차이 값이 음수일 경우 본 논문에서 차선특징추출을 위해 세운 가정2에 위배되므로 식 (3)에서 제거한다.

$$D(x,y,d) = \begin{cases} 0 & , \text{if } (G(x,y) < G(x+d,y) \text{ or } G(x,y) < G(x-d,y)) \\ I(x,y) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$



(a) Input image. (b) Feature image.

그림 3. 차선 특징 추출 결과.
Fig. 3. Lane feature detection results.

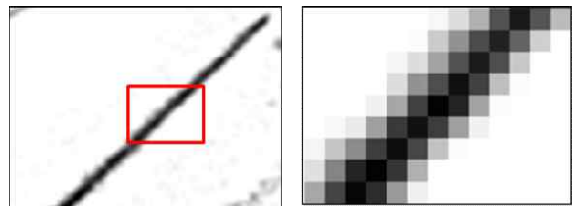
그리고 차선의 중심으로부터 x축 방향으로 d 를 $d_{m \ n}$ 부터 $d_{m \ ax}$ 까지 변화시키며 최종 차선 특징 추출영상인 $H(x,y)$ 를 구한다.

$$H(x,y) = \sum_{d=d_{m \ n}}^{d_{m \ ax}} D(x,y,d) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} d_{m \ n} &= \text{LineW} \ \text{ilt} \ h \\ d_{m \ ax} &= \text{LineW} \ \text{ilt} \ h + 3 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 LineWidth는 대한민국 차선 도색 표준차선 폭 15cm [10]를 영상에 투영하여 측정된 영상의 픽셀 길이이다. 그레이 레벨의 영상에서 도로의 밝기 값은 낮은 값을 가지고, 차선의 밝기 값은 높은 값을 가지므로, 두 밝기 값의 차이가 클수록 유력한 차선후보영역이 된다. 그러므로, 본 절에서 생성된 $H(x,y)$ 이미지의 밝기 값이 클수록 유력한 차선의 후보 영역이 된다.

그림 3은 여러 조명환경에서 수행된 특징추출의 결과를 나타낸다. 검출된 차선 후보 영역은 그림 4와 같은 중앙이 가장 큰 값을 가지는 형태로 나타난다. 상대적인 밝기 값을 비교하기 때문에, 그림자 영역이나 석양 영역에서 낮아진 그레이 영상의 밝기 값은 차선 후보 검출에 영향을 주지 않는 강인한 차선의 특징을 추출할 수 있다.



(a) Result of feature extraction. (b) Cropped image of the red box in (a).
그림 4. 특징 추출 결과 확대영상.
Fig. 4. Result of feature extraction.

III. 직선 검출

직선 차선의 검출을 위해 본 논문에서는 참고문헌 [11]에서의 직선검출 방법을 이용하였다. 그림 5는 직선차선 검출을 위한 기술의 흐름도를 보여준다. 인용논문에서는 차선의 특징을 검출하는 LDA, 검출된 특징들 중 중심을 결정하는 LCC, 결정된 중심특징들 중 잡음을 제거하는 LCC-R, 그리고 영상에서 허프변환을 이용하여 직선 차선을 검출하는 Lane Detection 단계로 구성되어있다. 그림 6에서는 다양한 조명환경에서 직선 차선을 검출한 예를 보여준다.

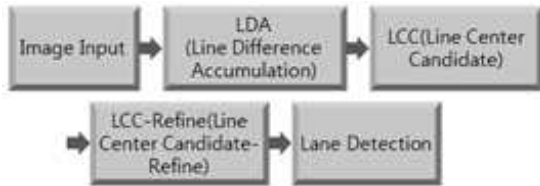
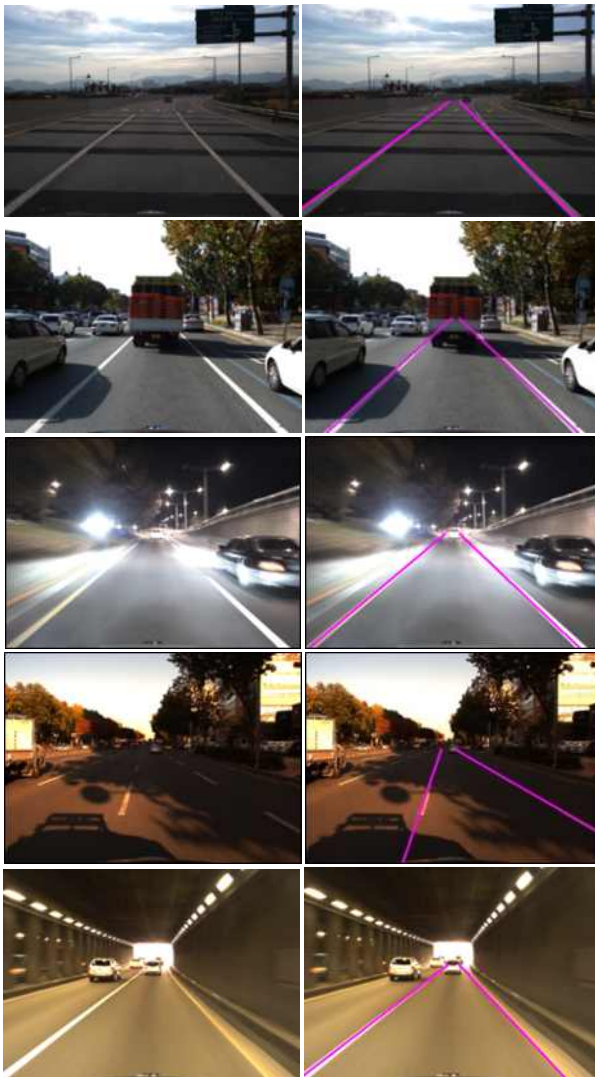


그림 5. 직선 차선 검출 흐름도[11].

Fig. 5. Flow diagram of a straight lane detection algorithm [11].



(a) Input image.

(b) Result image.

그림 6. 직선차선 결과 영상.

Fig. 6. Result of straight lane detection.

IV. 곡선 검출

1. 모델 생성

본 논문에서 제안한 곡선 검출 방법은 다음과 같다. 우선 현재 프레임의 직선 추출 결과를 이용하여 곡선의 후보 모델을 결정한다. 곡선 모델의 후보는 최대 13개를 생성한다. 현재 영상의 차선 특징 정보를 이용하여 곡선 모델의 후보를 보팅과정을 거쳐 최대 보팅값을 가지는 모델을 결정하여 곡선 차선을 최종적으로 결정한다.

앞절에서 설명한 직선 차선이 결정되면 곡선 모델을 결정하기 위하여 차량에 설치된 카메라와 도로 평면의 3차원 관계를 보정하여야 한다. 그림 7은 카메라와 도로평면의 관계를 나타낸다. 도로를 평면이라 가정하였을 때, H는 지면으로부터 카메라까지의 높이이고, θ는 카메라의 피치(pitch)각도를 나타낸다. 본 논문에서는 피치각의 회전만 가정하기 때문에 카메라 좌표계와 도로평면과의 변환 관계는 식 (6)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & H \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 (X, Y, Z, 1)^T는 도로평면을 X-Y 평면으로 간주한 3차원 좌표계의 한 점이며 (X_{cam}, Y_{cam}, Z_{cam}, 1)^T는 카메라 좌표계이다.

그림 8에서 L1은 직선차선 검출 알고리즘[11]을 이용하여 미리 검출한 직선 차선이다. P1, P2, P3는 L1의 좌측방향으로 R1, R2, R3의 반지름을 가지는 원의 중심이고, P'1, P'2, P'3는 L1의 우측방향으로 R1, R2, R3의 반지름을 가지는 원의 중심이다.

그림 8에서 점 P는 카메라로부터 10m 떨어진 지점으로 직선에서 곡선으로 바뀌는 것으로 가정한 변곡점이다. 변곡점은 직선-곡선구간에서의 검출률 향상을 위해 사용되었다. 0m 지점에서 곡선모델을 적용할 경우 직선-곡선구간에서 검출률이 낮다. 역으로 변곡점을 사용하여도 곡선구간에서도 근거리에서는 거의 직선으로 가정할 수 있기 때문에 검출률에 영향을 주지않는다. 따라서, 본 논문에서는 직선-곡선구간과 곡선구간에서 동시에 효율적인 검출을 도모할 수 있는 변곡점을 사용하였다.

도로 평면을 X-Y 평면 공간으로 간주할 때 각 원의 생성은 다음 식과 같다. 식 (7)의 X, Y는 원을 구성하는 한 점의 2차원 좌표값이다. X0, Y0는 직선 차선 L1위의 점 P으로부터

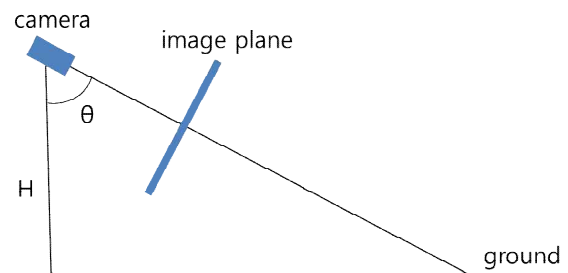


그림 7. 차량 카메라와 도로평면의 관계.

Fig. 7. Relationship between a vehicle camera and the road plane.

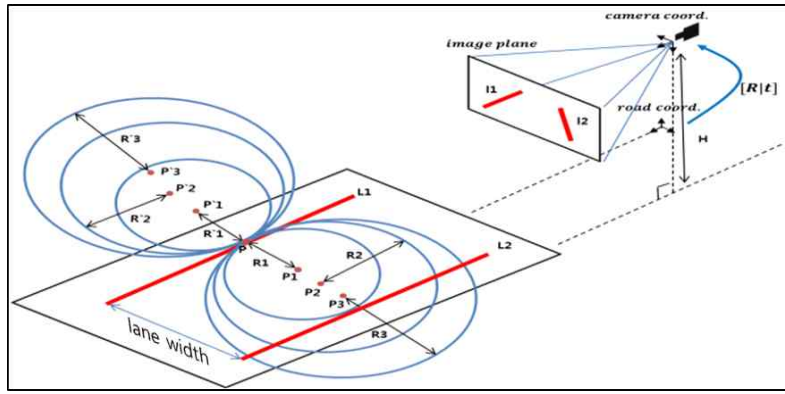


그림 8. 곡선 후보 생성을 위한 기하 모델.

Fig. 8. Geometric model for curved lane candidate generation.

r만큼 떨어진 원의 중심 좌표값이다.

$$X = \pm\sqrt{r^2 - (Y - Y_0)^2} + X_0 \quad (7)$$

2. 곡선 차선 모델의 후보 생성

카메라로 획득한 영상에서 곡선 차선 모델의 후보를 생성하기 위해서는 도로 평면에 생성한 가상의 3차원 원들을 2차원 카메라 영상으로 변환하여야 한다.

제안하는 방법은 직선 차선 L1위의 한 점에서 좌우로 r만큼 떨어진 지점에 식 (7)을 이용하여 12개의 원을 생성하고 생성된 12개의 원과 L1을 식 (8)의 투영행렬을 이용하여 영상에 투영하면 그림 9와 같은 13개의 차선 후보들이 생성된 결과를 확인할 수 있다.

13개의 차선 후보는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 [12]에서 제한속도 50~120km/h 도로에서의 평면곡선 반지름 90~710m를 적용하여 결정하였다. 사용된 반지름 r은 우측 곡선 후보 6개 100m, 150m, 225m, 337m, 507m, 761m와 좌측 곡선 후보 6개 -100m, -150m, -225m, -337m, -507m, -761m를 사용하였고 1개의 직선차선을 사용하여 13개의 차선 후보를 생성하였다.

그림 9에서 점 P는 변곡점을 보여주며 도로평면에서 차선은 가상의 원들의 접선이 된다. 그림 9와 같이 직선을 중심으로 좌, 우 각각 6개씩의 곡선이 도로영상에 투영됨을 알 수 있다. 곡선 모델의 후보들을 직선 차선의 좌측은 $C_i(x,y)$ 로

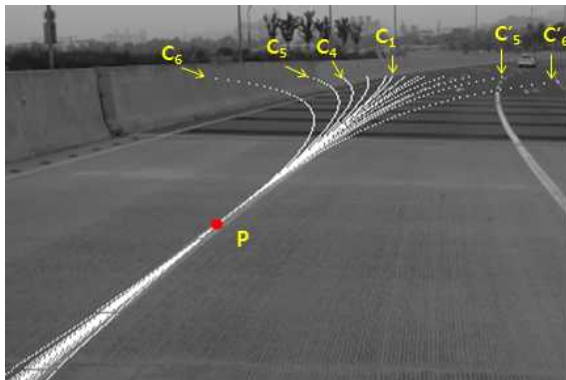


그림 9. 곡선 차선의 후보 모델 생성 결과.

Fig. 9. Candidate models of a curved lane.

우측은 $C'_i(x,y)$ 로 정의하였다. 따라서 식 (8)에서와 같이 가상의 원을 구성하는 임의의 점의 좌표를 $(X_{cam}, Y_{cam}, Z_{cam}, 1)^T$ 로 정의하면, $C_i(x,y)$ 및 $C'_i(x,y)$ 를 구성하는 2차원 영상점의 좌표는 (X_{img}, Y_{img}) 로 정의하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{img} \\ Y_{img} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & c_x \\ 0 & s_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

3. 곡선 차선의 결정

곡선 차선 모델의 후보 생성이 완료되었으므로, 곡선 차선 후보들에 대하여 각각 보팅(voting) 과정을 수행하고 최대값을 가지는 곡선후보를 최종 곡선 차선으로 결정한다. 보팅은 앞절에서 구한 LDA 특징 영상 $H(x,y)$ 를 이용하여 수행한다. 본 논문의 특징 추출 영상의 픽셀 값은 그림 4와 같이 차선의 중심이 가장 크고 외곽으로 갈수록 낮아지는 가우시안 (Gaussian) 분포를 가지므로 식 (9)의 분포 함수를 $H(x,y)$ 에 곱하고 그 값을 누적하여 누적 값이 가장 큰 곡선 후보를 최종 곡선 차선으로 결정한다.

곡선 C_i 의 보팅값을 $voting(C_i)$ 라 하자. 식 (10)와 같이 곡선의 보팅값이 누적은 C_i 에 포함된 점 (x,y) 에서 특징영상 $H(x,y)$ 를 가우시안 함수 $f(x)$ 와 곱한 값을 모두 더하여 구한다. 즉, 곡선 모델 위의 모든 점에서 특징영상의 x 방향에 대한 가중치 곱을 모두 누적하는 것과 같다. 식에서 w는 가우시안 함수의 x 방향의 가중치 곱의 범위를 정한다. 모든 곡선 후보에 대한 $voting(C_i)$ 중에서 최대값을 가진 곡선을 최종적으로 일치하는 곡선 차선 모델로 결정한다.



(a) Input image.

(b) Result image.

그림 10. 곡선 차선 추적 결과.

Fig. 10. Result of the curved lane tracking.

$$f(j) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(j-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$voting(C_i) = \sum_{(x,y) \in C_i} \sum_{j=-w/2}^{w/2} H(x+j, y) f(j) \quad (10)$$

실제 도로 상의 차량 기준으로 왼쪽 곡선 차선과 오른쪽 곡선 차선의 곡률은 그림 8에서 R1 지점과 R'1, R2 지점과 R'2와 같이 동일한 반지름을 가지므로 보팅 시 동일한 반지름을 가지는 두 개의 곡선모델을 동시에 보팅하여 검출의 정확성을 높인다.

4. 곡선 차선의 추적

앞 절에서 13개의 곡선 모델에서 최대 보팅값을 가지는 곡선모델을 정하였으나, 이는 급격한 곡선 구간이나, 13개의 곡선 모델과 일치하지 않는 곡선 구간을 주행할 시에는 보팅 결과가 정확치 않아 오검출을 유발할 수 있다. 또한 이전 프레임의 곡선 추출 결과가 주어진다면 이후 프레임의 곡선 모델은 이전의 모델과 유사한 위치에 있다는 점을 고려하여 연속적으로 곡선 차선을 추적하였다.

실제 영상에서도 연속된 프레임간에 곡선차선의 곡률 변화는 크지 않다. 곡선차선의 추적은 최초에 곡선 검출이 완료된 후 다음 프레임에서는 최초의 곡선 보다 반지름이 큰 2개와 반지름이 작은 2개의 원에 대한 곡선모델을 그림 10(a)와 같이 생성하여 보팅을 수행하여 곡선 차선을 검출한다. 곡선 차선의 추적과정에서는 5개의 곡선 모델에 대해서만 보팅을 수행하게 되므로 처리속도가 향상되고, 곡선 모델의 생성 기준이 L1이 아니라 이전 프레임의 곡선 모델이 되므로 기존의 13개의 모델과 일치하지 않는 곡선 또한 검출할 수 있으므로 검출률도 향상된다. 그림 10(b)에서는 곡선 차선의 검출의 예를 보여준다.

V. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘의 실험을 위해 Pointgrey사의 Grasshopper2와 8mm의 초점거리를 가지는 렌즈를 사용하여 차에 장착 후 640 × 480 해상도의 영상을 30fps로 획득하여 Intel Corei5-3470 3.20GHz의 CPU와 8GB의 RAM이 장착된 Windows7 기반의 PC에서 처리하였다.

제안된 알고리즘의 실험을 위해 시내도로, 고속도로, 주간, 야간, 노을 등의 환경에서 주행하며 획득한 영상을 이용하여 처리하였다. 시험 차선의 종류는 중앙표시선, 흰색 점선 차선, 흰색 실선 차선, 파란색 버스전용차선과 같은 실제 도심과 도심외곽과 같은 도로주행환경에서 볼 수 있는 차선들로 실험을 구성하였고, 15fps의 속도로 처리되었다.

검출률 판단은 원본 영상의 차선 영역과 검출된 차선과의



그림 11. 실험 데이터 획득 시스템.
Fig. 11. Experimental setup for data acquisition.

표 1. 다양한 환경에서의 검출결과.

Table1. Result of detection by various conditions.

Data Set	Total frames	True detection	False detection	Detection rate(%)
Set1	635	612	23	96
Set2	1291	1155	166	89
Set3	1459	1392	67	95
Set4	1648	1487	171	90
Set5	812	744	68	91
Average detection rate				90

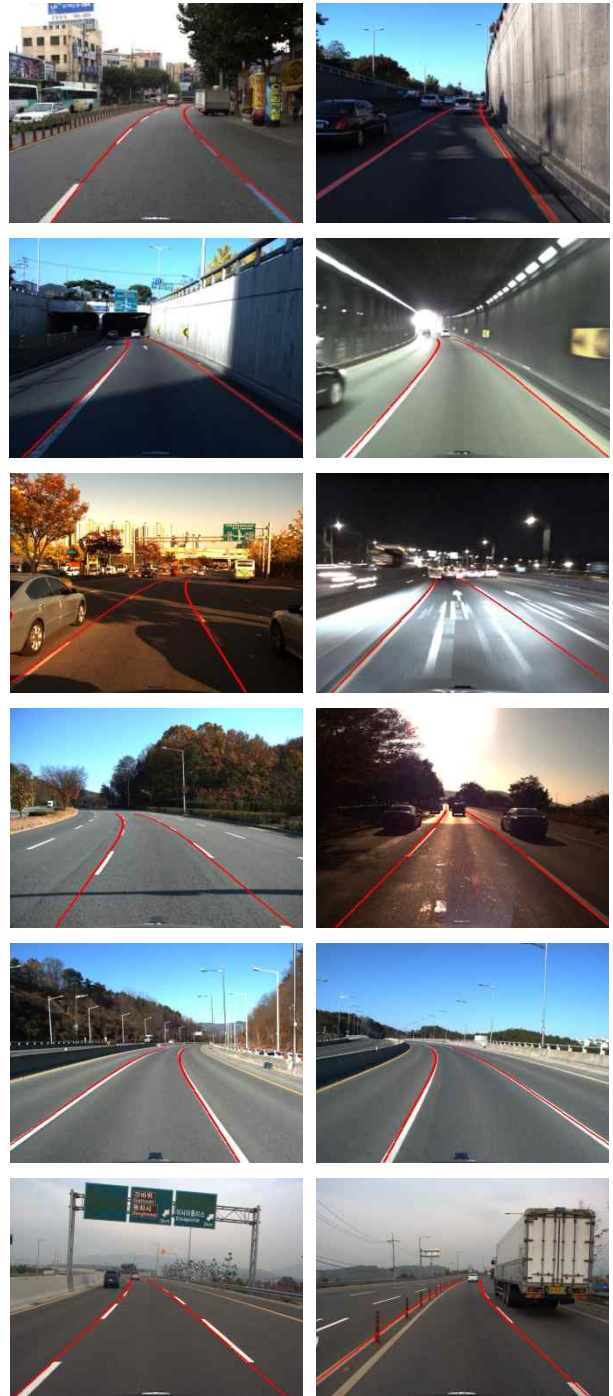


그림 12. 다양한 조명환경에서의 차선 검출 결과.
Fig. 12. Lane detection results in various illumination conditions.

정확도를 눈으로 확인하여 90% 이상의 정확도로 검출되면 정상 검출, 90% 미만의 정확도로 검출되면 오검출로 판단하여 검출률을 측정하였다. 도심과 도심외곽지역, 노을, 그림자가 많은 환경 등 다양한 환경에서 실험하여 획득한 검출률은 표 1에서 나타내었고, 검출 결과는 그림 12에서 나타내었다. 그림 12에서 빨간색으로 표시된 선이 검출된 차선을 나타낸다.

표 1의 Set1은 도심에서 전방에 주행하는 차량이 자주 없을 때의 환경이고, Set2는 도심에서 전방에 주행하는 차량이 자주 존재할 때의 환경, Set3은 대로를 주행 시에 전방에 주행하는 차량이 자주 없을 경우, Set4는 대로를 주행 시에 전방에 주행하는 차량이 자주 있을 경우, Set5는 대로와 도심에서 주행 시에 노을, 그림자 같은 잡음에 많이 노출된 경우의 환경이다.

표 1에서 도심보다 대로를 주행 시에 검출률이 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 도심에서 주행 환경에는 보도블럭, 가드레일과 같은 특징 추출 시 차선과 매우 유사한 특징을 가지는 객체들이 많이 포함되어 있고, 주행하는 차량이 많아 차선의 페인트가 벗겨져 차선의 특징을 잃었기 때문이다. 전방에 주행하는 차량이 많은 경우에는 차량이 차선을 가려 차선영역이 획득되지 못하는데, 본 논문에서는 왼쪽과 오른쪽 주행차선을 모두 사용하여 곡선 차선을 검출하므로 양쪽 차선이 모두 가려지지 않는 경우 좀더 강한 곡선 차선을 검출할 수 있다. Set5는 노을, 그림자와 같은 조명환경에 의한 잡음이 많이 노출된 경우인데 본 논문에서는 차선의 특징 추출 시 환경에 강한 특징을 검출하므로 높은 검출률로 검출을 할 수 있다.

현재 국내외에서 직선 또는 곡선 차선 추출 알고리즘의 성능을 객관적으로 비교할 수 있는 표준(criteria)이 설정되어 있지 않고, 또한 성능분석을 위한 ground truth 영상 DB가 없는 실정이다[13]. 이는 도로영상에서 차선의 ground truth를 획득하는 것이 매우 어려운 작업이고, 또한 차선 추출 알고리즘의 성능이 획득환경에 많은 영향을 받기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 기존의 알고리즘과의 성능 비교를 위하여 논문의 실험 영상과 비슷한 영상을 사용한 Mohamed [14]의 곡선 차선 검출 결과와 본 실험의 결과를 그림 12와 같이 비교하였다. 그림 13에서는 도로영상에서 차선 이외에 도로 마커(marker), 즉 학교구역의 표시나 차선이용 제한 표시 등이 있는 것을 알 수 있다. 이들 도로 마커는 차선을 검출하는데 있어 잡음 요소가 될 수 있다.

Mohamed가 제안한 방법[14]에서는 그림 13(a)와 같이 도로



(a) Result of Mohamed A [14]. (b) Result of the proposed method.

그림 13. 복잡한 환경에서의 기존연구와의 비교.

Fig. 13. Comparison with previous research in complex road environment.

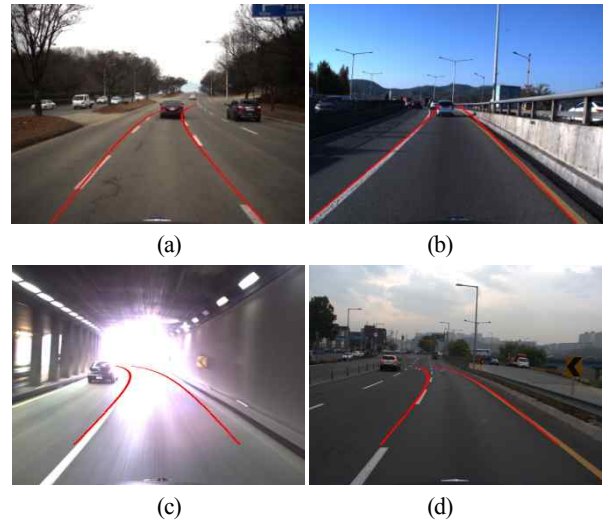


그림 14. 오검출 결과 (a) 차선이 차에 가려진 경우 (b) 가드레일이 검출된 경우 (c) 차선이 보이지 않는 경우 (d) LDA 특징의 오류 경우.

Fig. 14. Erroneous detections due to (a) Lines are hidden by a car (b) Guard rails (c) Invisible lanes (d) LDA feature errors.

상에 차선 외의 잡음에 의해 정확한 검출이 이루어 지지 않으나, 제안된 방법의 경우 강한 차선 특징 추출 방법으로 생성된 특징 추출 결과 영상의 하단에서부터 차선의 상단까지 보팅하여 차선을 검출하므로 (b)와 같은 환경에서도 정확한 검출이 가능하다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 평균 검출률은 90%로 Mohamed의 검출률 90%와 동일하지만 본 논문에서 실험에 사용한 영상은 노을, 그림자, 역광, 야간과 같은 다양한 조명 환경과, 주변에 주행하는 차량이 많고 잡음이 많은 복잡한 환경에서 수행한 결과이므로 제안하는 방법의 검출 성능이 더 뛰어나다고 판단된다.

오검출 요인으로는 그림 14의 영상에서 보이는 바와 같이 (a)전방에 주행중인 차량이 차선을 가리는 경우, (b)가드레일, 보도블록과 같은 차선과 유사한 객체가 존재하는 경우, (c)영상에 차선이 보이지 않는 경우, (d)LDA 특징 검출의 오류가 있는 경우가 대표적이다.

차선의 페인트와 도로가 매우 깨끗한 경우에는 차선의 폭, 차로의 폭 등을 이용하여 오검출을 줄일 수 있지만 실제 주행하는 대부분의 도로는 차선이 뚜렷하게 나타나지 않기 때문에 검출에 어려움이 따른다. 가드레일과 보도블록은 일반적으로 도로면 보다 밝고, 폭 역시 차선과 유사하기 때문에 차선의 특징 추출 시 차선으로 검출되어 문제가 된다. 이를 제거하기 위해서는 차선 특징추출 방법의 개선 또는 스테레오 비전 카메라를 이용하여 도로 면과의 높이를 측정하여 제거할 수 있다.

VI. 결론

본 논문은 차량에 탑재된 카메라와 도로 평면의 기하 관계를 이용하여 곡선 차선을 검출하는 방법을 제시하였다. 제안한 방법은 강한 차선 특징 추출 방법을 사용하여 직선 차선을 검출하고, 직선 차선에 곡선 모델을 적용한 곡선 차선

의 후보를 생성한다. 그리고 생성된 곡선 차선 후보들을 영상 특징에 투영하고 보팅과정을 통하여 곡선 차선을 검출한다. 연속적인 곡선 차선을 추적하여 빠르고 정확한 차선 검출을 구현하였다.

다양한 조명 환경의 실제 도로의 주행 영상을 이용하여 실험한 결과 처리속도는 15fps이고, 검출률은 약 90%이다. 반면 도로상에 차선이 보이지 않거나, 차선과 유사한 잡음이 존재할 경우 정확한 곡선의 검출이 어렵다. 잡음에 강인한 곡선 차선검출을 위해서는 특징 추출 방법의 개선과 검출된 차량이 움직임 정보를 이용한 필터링 기법을 통한 추적과정이 필요하다.

REFERENCES

- [1] J. S. Want and R. R. Knipling, "Single-vehicle roadway departure crashes: problem size assessment and statistical description," National Highway Traffic Safety Administration Technical Report, DTNH-22-91-C-03121, 1994.
- [2] E. Dagan, O. Mano, G. P. Stein, and A. Shashua, "Forward collision warning with a single camera," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 37-42, 2004.
- [3] M. Chen, T. Jochem, and D. Pomerleau, "AURORA: a vision-based roadway departure warning system," *IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1-4, 1995.
- [4] W. Liu, H. Zhang, B. Duan, H. Yuan, and H. Zhao, "Vision-based real-time lane marking detection and tracking," *11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 49-54, 2008.
- [5] Y. Wang, E. K. Teoh, and D. Shen, "Lane detection and tracking using B-Snake," *Image and Vision Computing*, vol. 22, no. 4, pp. 269-280, 2004.
- [6] K. Y. Chiu and S. F. Lin, "Lane detection using color-based segmentation," *IEEE Conference on Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 706-711, 2005.
- [7] J. Deng and Y. Han, "A real-time system of lane detection and tracking based on optimized RANSAC B-spline fitting," *Proc. of the 2013 Research in Adaptive and Convergent Systems*, pp. 157-164, 2013.
- [8] M. Aly, "Real time detection of lane markers in urban streets," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 7-12, 2008.
- [9] M. Revilloud, D. Gruyer, and E. Pollard, "An improved approach for robust road marking detection and tracking applied to multi-lane estimation," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 783-790, 2013.
- [10] Standard of Lane Painting Specification (In Korean), Ministry of land and Maritime, Korea, 2010.
- [11] H. J. Jang, S. H. Baek, and S. Y. Park, "Lane marking detection in various lighting conditions using robust feature extraction," *International Conferences in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, 2014.
- [12] Regulation of Structure and Facility of Road Ministry of Land, Infrastructure and Transport (In Korean), Korea, 2014.
- [13] B. K. Shin, Z. Xu, and R. Klette, "Visual lane analysis and higher-order tasks: a concise review," *Machine Vision and Applications*, vol. 25, pp. 1519-1547, 2014.
- [14] A. Mohamed, "Real time detection of lane Markers in urban streets," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 7-12, 2008.



장 호 진

2012년 2월 경성대학교 정보통신공학과(공학사). 2013년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정 재학중. 관심분야는 차선인식, 자동차 비전.



백 승 해

2004년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과(공학사). 2010년 2월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부(공학석사). 2010년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정 재학중. 관심분야는 스테레오 정합, 광학보정, 3차원 복원.



박 순 용

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사). 1993년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사). 2003년 5월 미국 뉴욕주립대 스토니브룩(공학박사). 2005년 2월~현재 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 부교수 관심분야는 3차원 컴퓨터비전 및 로봇비전.