

논문 2018-13-23

가우시안 함수기반 RANSAC을 이용한 차선검출 기법 (Lane Detection Using Gaussian Function Based RANSAC)

최연규, 서은영, 석수영, 박주현, 정호열*

(Yeongyu Choi, Eunyoung Seo, Soo-Young Suk, Ju H. Park, Ho-Youl Jung)

Abstract : Lane keeping assist and departure prevention system are the key functions of ADAS. In this paper, we propose lane detection method which uses Gaussian function based RANSAC. The proposed method consists mainly of IPM (inverse perspective mapping), Canny edge detector, and Gaussian function based RANSAC (Random Sample Consensus). The RANSAC uses Gaussian function to extract the parameters of straight or curved lane. The proposed RANSAC is different from the conventional one, in the following two aspects. One is the selection of sample with different probability depending on the distance between sample and camera. Another is the inlier sample score that assigns higher weights to samples near to camera. Through simulations, we show that the proposed method can achieve good performance in various of environments.

Keywords : Canny edge detector, K-means algorithm, RANSAC, Inverse perspective mapping

I. 서론

오늘날 다양한 IT 기술들이 자동차에 접목되고 있고, 운전자의 편의와 안전성을 높여주고 있다. 자동차의 사고는 생명에 직결되기 때문에 기술의 개발에 있어 가장 중요시 되어야 할 부분은 안전이다. 기존의 수동적인 운전 체계는 운전자에게 모든 권한을 맡기기 때문에 한 번의 실수가 사고의 원인이 될 수 있다.

이를 위해 운전자에게 안전과 편의성을 위한 다양한 지각 정보와 상황정보를 제공함으로써 운전자의 부담을 덜어주는 비전 기반 첨단 운전자 보조 시스템 (Advanced driver assistance systems,

*Corresponding Author (hoyoul@yu.ac.kr)

Received: Mar. 1 2018, Revised: Apr. 1 2018,
Accepted: June 1 2018.

Y. Choi, E. Seo, J.H. Park, H.Y. Jung:
Yeungnam University
S. Suk: GITC

※ 이 논문(저서)은 2017년도 경상북도와 경북과학기술진흥센터의 창조경제선도기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (SF317002A)

※ "본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음"(IITP-2018-2016-0-00313)

ADAS)이 활발히 연구되고 있다. 첨단 운전자 보조 시스템이란 차량이 주행 중에 발생할 수 있는 위험 사고를 운전자에게 미리 경고하거나 차량을 제어하여 방지하는 시스템이다. 이러한 시스템으로는 예기치 못한 사고를 예방하기 위해 차량 및 보행자 그리고 기타 장애물 등의 검출을 통한 충돌 방지, 차선 유지 보조 시스템, 차선 이탈 방지 [1], 동적 배경에서의 이동 객체 검출 [2] 그리고 야간 차량 검출 [3]등의 연구가 있다. 주행차선의 검출은 이러한 주요 과제를 해결하는 기본 기술 중 하나이다.

차선 검출은 차선의 위치를 추정하고 판단하는 것으로 허프 변환 (Hough transform)을 이용하는 방법 [4]과 RANSAC (Random Sample Consensus)을 이용한 차선 추정 방법 [5]이 대표적이며, 곡선 차선 같이 복잡한 환경에서 검출을 위해 B-Snake를 이용한 방법 [6]이나 스플라인 (spline)을 이용한 방법 [7] 또한 많은 연구가 되어 왔다.

일반적으로 단안 카메라 기반 비전 시스템은 차량 룸미러 뒤에 장착된 카메라로부터 전방 영상을 얻고 대상의 특징을 파악한 후, 이 특징 정보를 이용하여 대상 객체를 검출하는 과정으로 이루어진다. 카메라의 설치 위치 및 카메라가 바라보는 방향에 따라 대상 객체가 카메라 센서에 투영되어 촬영되기 때문에 카메라 입력영상으로부터 실제 차선의 형태를 정확히 검출하기 어려운 점이 있다. 이를 보

완하기 위해, 전처리 과정에서 역 투영 변환 (Inverse Perspective Mapping, IPM)된 IPM 영상 기반 차선 검출기법들이 보다 효과적인 것으로 알려져 있다 [8]. 본 논문에서 IPM이란, 카메라로 취득한 도로 영상을 탑뷰 (top-view) 영상으로 투영 변환하는 것을 의미한다.

본 논문에서는 가우시안 함수기반 RANSAC 기법을 이용하는 차선검출 기법을 제안한다. 제안하고자하는 차선검출 기법은 캐니 에지 (canny edge) 검출 [9], 역 투영 변환, 모폴로지 (morphology) 연산 [10], 좌우 차선의 경계선 검출을 위한 K-평균 알고리즘 (K-means algorithm) [11] 과 가우시안 함수기반 RANSAC으로 구성되어 있다. 기존 RANSAC [12]기법과는 달리 제안하는 RANSAC 기법은 샘플 선택과정과 인라이어 (inlier) 스코어 연산 과정에서 각각 가우시안 함수를 사용한다. 가우시안 함수기반 샘플 선택은 근거리에 있는 샘플들이 보다 높은 확률로 선택될 수 있도록 가우시안 정규 분포를 적용하는 방법이다. 가우시안 함수기반 스코어링 (scoring)은 근거리에 있는 인라이어 샘플들이 보다 높은 가중치 (weight)를 갖는 스코어로 누적될 수 있도록 가우시안 함수를 가중치로 사용하는 방법이다. 이는 차선 후보로 추출된 에지 픽셀들 중 근거리에 위치한 픽셀들이 차선일 확률이 높다는 관찰에 따른 것이다.

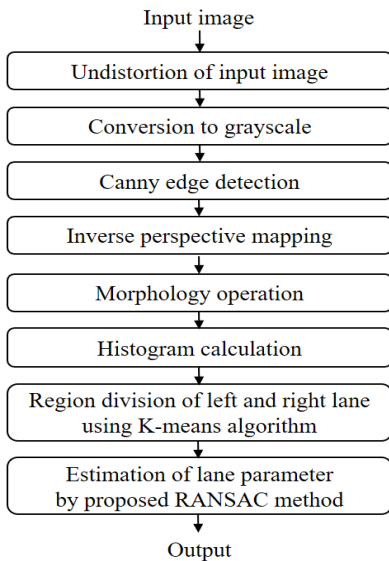


그림 1. 제안하는 차선 검출 시스템 흐름도
 Fig. 1 System flow of the proposed lane detection

II. 제안하는 차선 검출 방법

차량에 탑재되는 차량용 카메라는 룸미러 뒤에 장착되어 전방을 향하여 촬영된다. 그러므로 카메라로부터 얻어지는 이미지의 차선은 실제 차선의 모양이 카메라의 위치와 방향에 따라 투영되어 결정되고, 거리에 비례하여 소실점으로 모이는 원근 효과가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 IPM을 이용하여 원근효과를 제거한 IPM 영상으로 변환하고 RANSAC을 이용하여 직선 혹은 곡선의 파라미터를 추출한다.

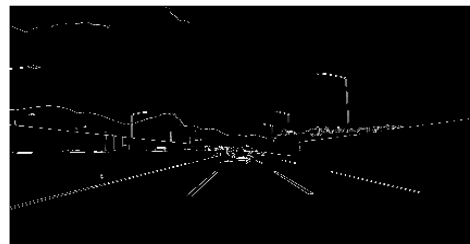
그림 1은 제안하는 차선 검출의 전체 시스템 흐름도를 나타낸다. 일반적으로 카메라는 렌즈의 방사 왜곡 (radial distortion)과 이미지 센서와 렌즈의 수평이 어긋난 접선왜곡 (tangential distortion)이 있다. 이러한 렌즈왜곡은 차선의 모양이 왜곡되어 나타날 수 있기 때문에 입력된 영상의 렌즈왜곡을



(a) Input image



(b) Undistorted image



(c) Edge image

그림 2. 이미지변환의 예시
 Fig. 2 Examples of converted image

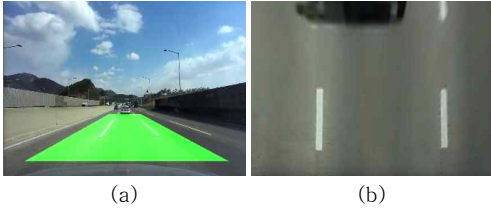


그림 3. 역 투영 변환 예시
 (a) 역 투영 변환 영역, (b) IPM 이미지
 Fig. 3 Example of IPM result
 (a) Region for IPM, (b) IPM image

보정한 후 알고리즘을 수행한다. 그림 2 (a), (b)는 입력 이미지와 왜곡이 보정된 이미지를 보여준다. 또한, RGB 칼라 입력영상으로부터 칼라 변환하여 얻어진 밝기정보 영상 (Y component)을 이용하여 차선 검출에 이용한다. 제안된 차선 검출 기법의 주요 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

1. 에지 검출

본 연구에서는 에지 추출을 위해 캐니 에지 검출 알고리즘을 사용한다. 먼저, 잡음을 제거하기 위해 가우시안 필터를 이용하여 스무딩 (smoothing)을 적용하고 캐니 에지 검출기를 이용하여 그림 2 (c)와 같은 에지 이미지를 얻는다.

2. 역 투영 변환

그림 3 (a)의 변환 영역을 역 투영 변환하면 그림 3 (b)와 같다. 두 공간 사이의 변환 모델은 homography로 모델링 할 수 있으며, 그림 3 (a)의 변환영역의 점 (x, y) 가 그림 3 (b)의 점 (x', y') 으로 투영변환 되는 식은 다음과 같다.

$$s \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 점 (x', y') 은 homogeneous 좌표로 계산되기 때문에 스케일 s 는 의미가 없다. 따라서 homography는 스케일이 자유로운 행렬이고, 식 (2)와 같이 모든 성분들을 h_{33} 으로 나눈 행렬 H 을 사용하여도 결과는 동일하다.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11}/h_{33} & h_{12}/h_{33} & h_{13}/h_{33} \\ h_{21}/h_{33} & h_{22}/h_{33} & h_{23}/h_{33} \\ h_{31}/h_{33} & h_{32}/h_{33} & h_{33}/h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h'_{11} & h'_{12} & h'_{13} \\ h'_{21} & h'_{22} & h'_{23} \\ h'_{31} & h'_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

점 (x, y) 와 점 (x', y') 이 각각 4개 이상씩 주어졌을 때, 8 자유도 행렬 H 에 대하여 식 (1)을 벡터 \vec{h} 으로 정리하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 y_1 1 0 0 0 & -x_1 x'_1 - y_1 y'_1 \\ 0 0 0 x_1 y_1 1 & -x_1 y'_1 - y_1 y'_1 \\ x_2 y_2 1 0 0 0 & -x_2 x'_2 - y_2 y'_2 \\ 0 0 0 x_2 y_2 1 & -x_2 y'_2 - y_2 y'_2 \\ x_3 y_3 1 0 0 0 & -x_3 x'_3 - y_3 y'_3 \\ 0 0 0 x_3 y_3 1 & -x_3 y'_3 - y_3 y'_3 \\ x_4 y_4 1 0 0 0 & -x_4 x'_4 - y_4 y'_4 \\ 0 0 0 x_4 y_4 1 & -x_4 y'_4 - y_4 y'_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h'_{11} \\ h'_{12} \\ h'_{13} \\ h'_{21} \\ h'_{22} \\ h'_{23} \\ h'_{31} \\ h'_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)을 $A\vec{h} = \vec{b}$ 라고 할 때, 행렬 A 와 벡터 \vec{b} 는 투영변환을 위해 주어진 서로 대응되는 N 개의 점으로부터 $2N$ 개의 행이 생성된다. 따라서 벡터 \vec{h} 을 계산하기 위해서는 최소 4개 이상의 점 (x, y) 과 대응 점 (x', y') 이 필요하다. 벡터 \vec{h} 은 A 행렬의 의사역행렬 (pseudo inverse matrix)을 이용하여 근사적으로 계산 한다. 실제로 식 (3)으로부터 구해진 H 을 적용하면 이미지 크기의 차이 때문에 모든 공간을 맵핑할 수 없다. 따라서 선형보간법 (linear interpolation)을 이용하여 이미지를 완성한다.

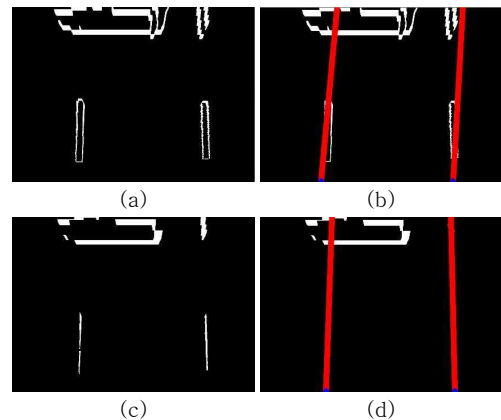


그림 4. 모폴로지 연산과 차선 검출 결과
 (a) IPM 에지 이미지, (b) (a)로부터 추출된 차선,
 (c) (a)에 모폴로지 연산 결과,
 (d) (c)로부터 추출된 차선
 Fig. 4 Morphology operation and lane detection result
 (a) IPM edge image, (b) Extracted lane from (a),
 (c) Morphology operation result,
 (d) Extracted lane from (c)



(a) Region division of curve lanes



(b) Mean values and boundary obtained by K-means algorithm on the histogram (K=2)

그림 5. 곡선 차선의 경계 구분 예시

Fig. 5 Region division example of curve lane

3. 모폴로지 연산

본 논문은 에지 기반으로 차선의 후보 픽셀을 얻기 때문에 IPM 에지 이미지는 그림 4 (a)와 같이 나타난다. 그림 4 (a)의 데이터로부터 RANSAC으로 차선을 추정하게 되면 차선이 두 겹으로 나타나고 작은 크기의 잡음이 발생되어 샘플 선택에 따라 그림 4 (b)와 같이 차선 검출 결과가 불안정 할 수 있다. 따라서 이러한 현상을 줄이기 위해 모폴로지 연산을 적용한다. 닫힘 (closing) 연산과 침식 (erosion) 연산을 순서대로 적용하여 그림 4 (c)와 같은 이진 영상을 얻고 차선 추정을 한다. 모폴로지 연산은 차선의 후보픽셀은 남겨두고 작은 노이즈를 제거하는 효과도 있다. 그림 4 (d)에서 보듯이 더 정확하게 실제차선을 검출 할 수 있다.

4. K-평균 알고리즘을 이용한 좌/우 차선의 영역 구분

제안하는 차선 검출 방법은 전방의 일부 영역만을 IPM 변환함으로써 주행중인 양측의 두 차선 검출에 초점을 맞추었다. 따라서 좌/우 두 차선의 검출을 목적으로 하며, RANSAC 샘플링을 분리된 좌/우 두 차선의 영역에 적용할 수 있도록 K-평균 알고리즘을 사용하여 두 영역으로 분할한다.

먼저, 그림 4 (c)의 모폴로지 연산이 완료된 영상에서 x 좌표 (가로축)에 따른 에지 픽셀 개수를 세로축으로 누적하여 표현된 1차원 히스토그램을

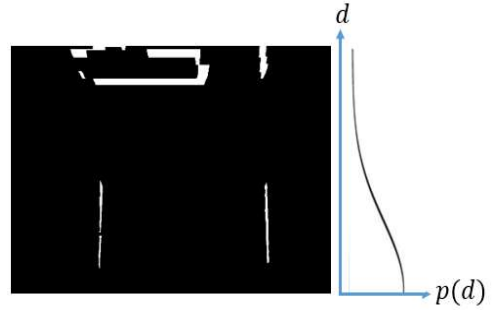


그림 6. 가우시안 확률분포를 이용한 샘플링 및 스코어링

Fig. 6 Sampling and scoring using gaussian probability distribution

구성하고, $K=2$ 인 경우에 대한 K-평균 알고리즘을 수행하여 두 영역으로 분할하면 그림 5 (b)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 과정을 통해 얻어진 두 영역의 경계는 그림 5 (a)와 같이 곡선 차선의 환경에서도 좌/우 차선으로 분리가 가능하다.

5. 가우시안 함수기반 RANSAC 알고리즘

그림 4에서 보듯이 모폴로지 연산으로 일부 노이즈를 제거 하여도 전방의 차량, 그림자 에지 등 차선과 관계없는 에지가 후보로 아직 남아 있는 문제가 있다. 이러한 영상에서는 전체 데이터를 활용한 최소자승법으로 차선을 추정하는데 한계가 있다. 따라서 N 번 반복적으로 무작위로 샘플 데이터를 선택한 후, 선택된 샘플 데이터로부터 수학적 모델을 구성하여 인라이어 (inlier)와 아웃라이어 (outlier)로 구분하여 가장 많은 인라이어를 가지는 모델을 최종적으로 선택하는 RANSAC 방법이 적합하다. 하지만 모든 에지 픽셀이 선택될 확률이 동일한 기존의 샘플 선택방법은 노이즈의 비율에 따라 차선 검출결과가 불안정하게 나타난다. 본 논문에서 제안하는 가우시안 함수기반 샘플 선택 방법은 노이즈의 비율이 높은 상황에서도 강인하게 차선을 검출하기 위해 가우시안 분포를 사용하여 확률적으로 신뢰성이 높은 위치의 에지 픽셀을 상대적으로 높은 확률로 선택한다. 그리고 기존의 인라이어에 속한 샘플의 개수를 단순 카운팅하는 기존 스코어링 계산과는 달리, 제안하는 가우시안 함수기반 스코어링 (scoring)은 인라이어에 속한 샘플들 중 확률적으로 신뢰성이 높은 위치의 샘플에 더 큰 가중치를 주어 스코어를 계산하는 방식이다.

5.1 가우시안 함수기반 샘플 선택 및 스코어링

실제 도로에서 운전자는 앞차와 일정 간격을 두고 운전하기 때문에 운전자의 차와 가까운 예지들은 차선일 확률이 높다. 따라서 가우시안 함수기반 샘플 선택 방법은 그림 6과 같이 근거리의 샘플이 추출될 확률이 증가하도록 거리 d 에 따른 가우시안 확률분포에 따라 샘플을 추출하게 된다, 기존의 무작위 샘플 선택 방법은 모든 대상 샘플이 선택될 확률이 동일한 균일 분포 (uniform distribution)를 사용한 경우로 간주할 수 있다.

제안된 가우시안 함수기반 스코어링 방법은 근거리의 인라이어 샘플들이 상대적으로 큰 가중치로 누적될 수 있도록 가우시안 함수를 이용하는 방법으로 y 좌표 원점으로부터 i 번째 인라이어 IN_i 까지의 y 좌표계의 픽셀단위 거리가 d_i 라고 할 때, 스코어는 수식 (4)와 같이 계산된다. 계산된 스코어에 따라 최종 차선의 파라미터가 계산된다.

$$score = \sum_{IN_i \in inlier} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-d_i^2/2\sigma^2}, d_i > 0 \quad (4)$$

여기서, 그림 6에 보이듯이 스코어는 IPM 예지 이미지에서 계산된다. 스코어는 샘플링마다 계산되며, 가장 높은 스코어를 가지는 차선 파라미터가 최종적으로 결정된다.

5.2 차선 파라미터 추정

답류 시점인 IPM 영상에서 차선의 모양은 직선 방정식에 의한 직선과 원의 방정식에 의한 곡선 두 가지 가능성을 전제로 차선을 검출한다. 차선은 샘플 데이터들과 유클리드 거리 (Euclidean distance)가 최소가 되는 방정식으로 모델링되며, 기하학 분석을 기반으로 하는 가우스-뉴턴 (gauss-newton) 방법을 이용하여 구하게 된다 [13]. 식 (5)와 (6)은 각각 직선의 방정식 $mx - y + n = 0$ 과 원의 방정식 $x^2 + y^2 + cx + fy + g = 0$ 에 가우시안 확률분포 기반으로 선택된 N 개의 데이터 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ 을 행렬로 표시한 것이며, 의사 역 행렬 (pseudo inverse)을 통해 해를 구할 수 있다. 이는 가우스-뉴턴 방법을 이용한 회귀 분석에 초깃값으로 사용한다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_N & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 \\ -x_2^2 - y_2^2 \\ \vdots \\ -x_N^2 - y_N^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

예측된 직선의 방정식 $p: ax + by + c = 0$ 과 원의 방정식 $q: (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r$ 에 대해, 샘플 데이터 (x_i, y_i) 과의 유클리드 거리를 구하게 되는데, 직선 방정식의 경우 식 (7)과 같이 표현되며 원의 방정식의 경우 식 (8)과 같이 표현된다.

$$dist_i(p) = \frac{x_i a + y_i b + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (7)$$

$$dist_i(q) = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} - r \quad (8)$$

직선과 곡선의 파라미터 $param(p) = (a, b, c)$, $param(q) = (x_c, y_c, r)$ 는 초깃값 $param(p_0) = (a_0, b_0, c_0)$, $param(q_0) = (x_{c0}, y_{c0}, r_0)$ 에서 시작하여 변화량이 거의 없을 때까지 반복적으로 갱신된다. RANSAC을 위해 추출된 N 개의 샘플 데이터에서 식 (7)의 각각의 변수에 대한 편미분인 $\partial dist_i(p)/\partial a$, $\partial dist_i(p)/\partial b$, $\partial dist_i(p)/\partial c$ 으로 이루어진 야코비 행렬을 구하면 식 (9)와 같다.

$$J_d(p) = \begin{bmatrix} \frac{x_1 \sqrt{a^2 + b^2} - dist_1(p)a}{a^2 + b^2} & \frac{y_1 \sqrt{a^2 + b^2} - dist_1(p)b}{a^2 + b^2} & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ \frac{x_2 \sqrt{a^2 + b^2} - dist_2(p)a}{a^2 + b^2} & \frac{y_2 \sqrt{a^2 + b^2} - dist_2(p)b}{a^2 + b^2} & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_N \sqrt{a^2 + b^2} - dist_N(p)a}{a^2 + b^2} & \frac{y_N \sqrt{a^2 + b^2} - dist_N(p)b}{a^2 + b^2} & \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

N 개의 샘플 데이터에서 식 (8)의 각각의 변수에 대한 편미분인 $\partial dist_i(q)/\partial x_c$, $\partial dist_i(q)/\partial y_c$, $\partial dist_i(q)/\partial r$ 으로 이루어진 야코비 행렬을 구하면 식 (10)으로 표현된다.

$$J_d(q) = \begin{bmatrix} \frac{x_c - x_1}{\sqrt{(x_c - x_1)^2 + (y_c - y_1)^2}} & \frac{y_c - y_1}{\sqrt{(x_c - x_1)^2 + (y_c - y_1)^2}} & -1 \\ \frac{x_c - x_2}{\sqrt{(x_c - x_2)^2 + (y_c - y_2)^2}} & \frac{y_c - y_2}{\sqrt{(x_c - x_2)^2 + (y_c - y_2)^2}} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_c - x_N}{\sqrt{(x_c - x_N)^2 + (y_c - y_N)^2}} & \frac{y_c - y_N}{\sqrt{(x_c - x_N)^2 + (y_c - y_N)^2}} & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

야코비행렬을 이용한 식 (11)은 직선과 곡선의 파라미터 p_j, q_j 가 갱신되는 가우스-뉴턴 식을 나타낸다.

$$\begin{aligned} p_{j+1} &= p_j - (J_d(p_j)^T J_d(p_j))^{-1} J_d(p_j)^T \text{dist}(p_j) \\ q_{j+1} &= q_j - (J_d(q_j)^T J_d(q_j))^{-1} J_d(q_j)^T \text{dist}(q_j) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\text{dist}(p_j)$ 는 식 (7)의 $\text{dist}_i(p_j)$ 로 구성된 벡터 $(\text{dist}_1(p_j), \text{dist}_2(p_j), \dots, \text{dist}_N(p_j))^T$ 이며, $\text{dist}(q_j)$ 는 $(\text{dist}_1(p_j), \text{dist}_2(p_j), \dots, \text{dist}_N(p_j))^T$ 로 식 (8)의 $\text{dist}_i(q_j)$ 로 구성된 벡터이다.

마지막으로 직선과 곡선의 분류는 스코어링을 통한 인라이어의 점수가 가장 높은 차선을 최종적으로 선택하여 결정된다.

III. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안한 차선 검출 시스템의 성능을 검증하기 위해 직선과 곡선이 있는 실제 도로를 주/야간 환경에서 촬영한 비디오로 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 비디오의 실험환경을 나타낸다. 여기서 카메라는 차량의 룸미러 후면에 장착되어 전방을 향하도록 설치되었다.

성능평가는 자율주행자동차 경진대회 등에서 사용되는 거리별 차선 정확도 측정방법을 사용하였다. 이 방법은 그림 8과같이 사진 측정을 통해 카메라로부터 실제거리가 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m인 지점마다 이미지 세로축 (y) 좌표를 고정하고 해당 가로축 (x) 좌표가 일정 오차범위 내에 속하는지를 판단한다 [14]. 오차범위 내에 속하면 Correct, 속하지 않으면 Incorrect로 판정하며 Ground truth 개수와 Correct 개수의 비율로 검출률 (Detection rate)를 산출한다.

제안 방법은 예지 검출, IPM 변환, 모폴로지 연산을 단계별로 사용하였으며, 차선 파라미터 추정단계의 RANSAC에서 제안하는 가우스 함수 기반 샘플링과 스코어링 방법의 사용 유무에 따른 4가지 경우에 대해서 성능을 평가한다. 본 논문에서는 샘플링과 스코어링을 기존의 방법인 균일 확률 분포를

표 1. 성능평가를 위한 실험 환경
Table 1. Experimental environments for evaluations

Video clips	#1	#2	#3
Frames	950	610	630
Place	Expressway	Expressway	Suburbs
Road environment	Daytime	Daytime	Nighttime
Lane information	straight/curve	straight/curve	straight/curve

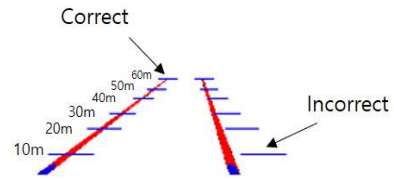


그림 8. 차선 검출 평가 예시

Fig. 8 Example of lane detection evaluation

표 2. RANSAC의 샘플링 및 스코어링 방법에 따른 차선 검출 성능 비교

Table 2. Lane detection evaluation comparison according to sampling and scoring of RANSAC

Method	U/U	G/U	U/G	G/G
Detection rate	82.3%	88.4%	82.5%	88.4%

Uniform sampling/scoring: U/U
Gaussian distribution based sampling/Uniform scoring: G/U
Uniform sampling/Gaussian distribution based scoring: U/G
Gaussian distribution based sampling/scoring: G/G

이용하는 경우와 제안하는 방법인 가우시안 확률 분포를 이용하는 경우로 구분하고 각 4가지 경우에 대해 구현하여 성능을 비교하였다.

표 2는 각 방식에 따른 검출 성능을 나타낸 것으로 U/U는 균일한 확률분포로 샘플링하고 모든 인라이어에 동일한 점수를 부여하는 기존의 RANSAC 방법이고, G/G는 제안방법으로 가우시안 확률분포를 이용한 샘플링과 인라이어에 가중치를 부여한 스코어링 방법을 뜻한다.

실험결과는 샘플링에 가우시안 확률을 적용한 G/U, G/G 방법이 기존의 균일한 확률의 샘플링 방법보다 상대적으로 우수한 검출 성능을 나타내었으며, U/U와 U/G 방법을 비교해봤을 때 검출 성능은 크게 차이가 없음을 볼 수 있다.

그림 9는 주간/야간 실험 환경 및 검출 결과를 보여주고, 그림 10은 검출 오류의 예를 보여준다. 제안 알고리즘은 예지 기반으로 차선 후보 이미지를 얻기 때문에 도로 바닥에 그려진 교통 표식 (road marking)들이나 그림자에 다소 민감하게 반응 하였고 (그림 10 (a)) 실제로 곡선 차선임에도 불구하고 직선으로 검출된 오류를 보였다 (그림 10 (b)).

IV. 결론

본 논문은 IPM 변환과 예지 검출 및 모폴로지 연산을 이용한 이진 영상에서 K-평균과 RANSAC을

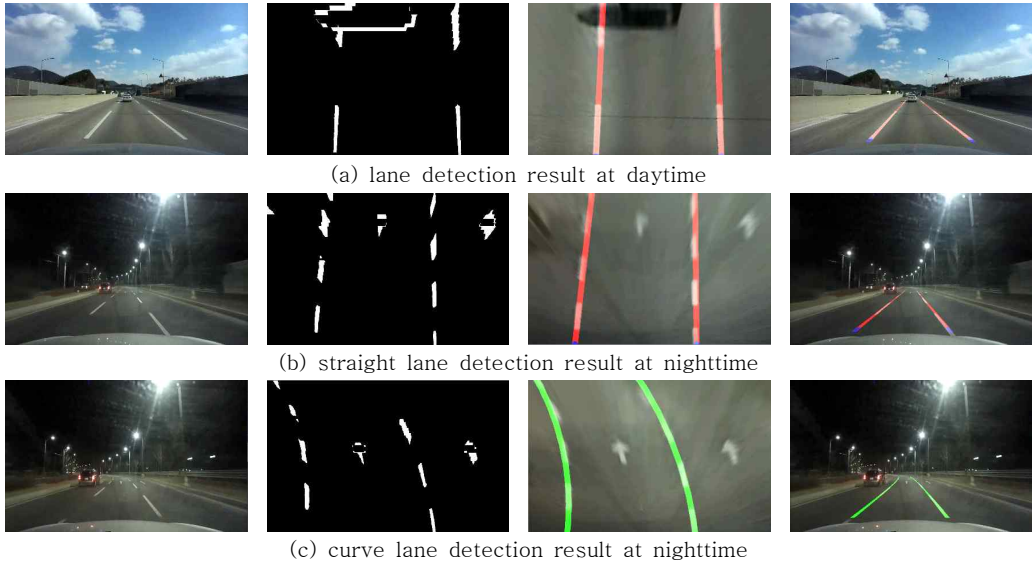


그림 9. 실험 환경 및 검출 결과

Fig. 9 Experimental environments and detection results

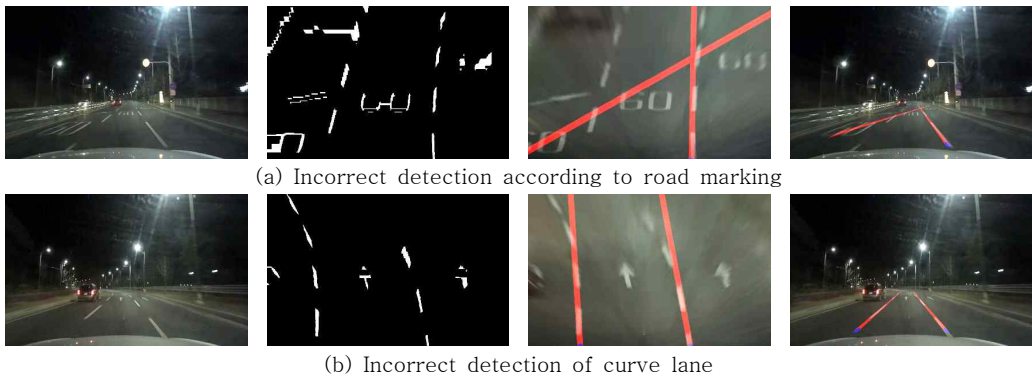


그림 10. 검출 오류 예시

Fig. 10 Example of incorrect detection

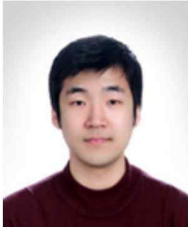
효율적으로 사용하여 적합한 차선 파라미터를 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 기존 RANSAC 기법과는 다르게 샘플 선택과정과 인라이어 (inlier) 스코어 연산 과정에서 각각 가우시안 함수를 사용하는 RANSAC 기법을 제안하여 적용하였다. 제안된 방법은 도로에 표시된 교통 표식이 존재하는 복잡한 환경에서는 경우에 따라 오 검출이 발생되었지만, 기존 방법 대비 다소 강인한 검출성능을 보였다. 이러한 도로 표식에 민감한 문제를 해결하기 위해 최근에는 퍼지 제어 (Fuzzy control)를 통해 노이즈를 제거하고 차선의 관심영역을 설정한 후,

RANSAC을 이용하는 방법이 제안되었다 [15]. 이와 같이 본 연구는 향후에 객체 형태 분류 (classification)를 통해 차선이 아닌 노이즈들을 사전에 제거하고 차선의 관심영역을 설정하는 연구가 추가로 필요하다.

References

[1] T. Hummel, R. Chauhan, R. Srivastava, M. Baruah, "Adaptive Driver Assistance Systems," German Insurance Association

- Insurers Accident Research. Available on www.udv.de, 2015.
- [2] H. Lim, Y. Choi, C. N. Khac, H. Jung "Dense Optical Flow Based Moving Object Detection at Dynamic Scenes," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 11, No. 5, pp. 277-285, 2016 (in Korean).
- [3] W. Park, Y. Choi, H. Kim, G. Choi, H. Jung, "Night-time Vehicle Detection Method Using Convolutional Neural Network," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 12, No. 2, pp. 113-120, 2017 (in Korean).
- [4] A.L. Kesidis, N. Papamarkos. "On the Gray-scale Inverse Hough Transform." Image and Vision Computing, Vol. 18, No. 8, pp. 607-618, 2000.
- [5] A. Borkar, M Hayes, M.T. Smith. "Robust Lane Detection and Tracking With RANSAC and Kalman Filter," IEEE International Conference on Image Processing. pp. 3261-3264, 2009.
- [6] Y. Wang, E.K. Teoh, D. Shen. "Lane Detection and Tracking Using B-Snake," Image and Vision computing, Vol. 22, No. 4, pp. 269-280, 2003.
- [7] Y. Wang, D. Shen, E.K. Teoh, "Lane Detection Using Spline Model," Pattern Recognition Letters, Vol. 21, No. 8, pp. 677-689, 2000.
- [8] M. Nieto, L. Salgado, F. Jaureguizar, "Stabilization of Inverse Perspective Mapping Images Based on Robust Vanishing Point Estimation," Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 315-320, 2007.
- [9] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection." Readings in Computer Vision, pp. 184-203, 1987.
- [10] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing 3rd, Pearson Hall.
- [11] H.H. Bock, "Clustering Methods: a History of K-means Algorithms," Springer Selected contributions in data analysis and classification, pp. 161-172, 2007.
- [12] M. Fischler, R. Bolles, "Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting With Applications to Image Analysis and Automated Cartography," Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.
- [13] W. Gander, G.H. Golub, R. Strebler, "Least-squares Fitting of Circles and Ellipses," BIT Numerical Mathematics Vol. 34, No.4 pp. 558-578, 1994.
- [14] <http://young.hyundai.com/program/vehicle-techno-contest/info/detail.do?seq=4171>
- [15] Y. Xu, X. Shan, C. Chi, Z.F. Lu, Y.Q. Wang, "A Lane Detection Method Combined Fuzzy Control With RANSAC Algorithm," Proceedings of IEEE International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security, pp. 1-6, 2017.

Yeongyu Choi (최연규)

He received his BSE in the Department of Electronic Engineering from KUMOH National Institute of Technology in 2015, the MSc in the Department of Informa-

tion and Communication Engineering at the YEUNGNAM University. He is currently a Ph.D candidate in the Department of Information and Communication Engineering at the YEUNGNAM University.

His interests include ADAS for intelligent vehicle and image processing.

Email: ygchoi1111@gmail.com

EunYoung Seo (서은영)

She is a fourth year undergraduate student in YEUNGNAM University. She is majoring in Department of Information and Communication Engineering.

Her research interests are intelligent vehicle for ADAS including lane detection and adaptive driving beam.

Email: eunyoung9971@gmail.com

Soo-Young Suk (석수영)

Soo-Young SUK received his Ph.D degree in the Department of Informa-tion and Com-munication Engineering from Yeung-nam University, Korea, in 2004.

From Mar 2004 to Mar 2005, he was a Post-doctoral Fellow with the Department of Electrical Communication, Tohoku University, Japan. And he was researcher with the Speech processing group, Information Technology Research Institute, AIST, Japan, from Mar 2004 to Feb 2010. He is currently a managing director with the research and development Dept. Gyeongbuk Institute of IT Convergence Technology, Korea, from 2010 Feb. His main research interests include autonomous vehicle, embedded system and smart sensor.

Email: sysuk@gitc.or.kr

Ju H. Park (박주현)

Ju H. Park received the Ph.D. degree in Electronics and Electrical Engineering from POSTECH, Pohang, Republic of Korea, in 1997. He joined Yeungnam University, Kyongsan, Republic of Korea in 2000 and is currently the Chuma Chair Professor. From 2006 to 2007, he was a Visiting Professor in the Department of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology.

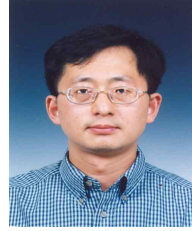
Prof Park's research interests are control and filtering for fuzzy systems, neural networks, complex networks, multi-agent systems, hybrid and stochastic systems, and chaotic systems. He has published a number of papers in these areas.

Prof. Park serves as Editor of Int. J. Control, Automation and Systems. He is also an Subject Editor/Associate Editor/Editorial Board member for several international journals, including IET Control Theory and Applications, Applied Mathematics and Computation, Journal of The Franklin Institute, Nonlinear Dynamics, Journal of Applied Mathematics and Computing, Congent Engineering and so on.

He is a recipient of Highly Cited Researcher Award listed by Clarivate Analytics (formerly, Thomson Reuters) since 2015.

He is a fellow of the Korean Academy of Science and Technology (KAST).

Email: jessie@ynu.ac.kr

Ho-Youl Jung (정호열)

He is received the Ph.D. degree in Electronics Engineering from the Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA de Lyon), France, in 1988. He is currently a Professor in the Department of Information and Communications Engineering, Yeungnam University, Korea. Both teaching and research interests include digital signal/image processing, intelligent vehicles, and nonlinear systems.

Email: hoyoul@yu.ac.kr