

단일 차선표시선 기반 차선 이탈 경고 시스템

오 충 재*, 이 윤 영*,
 박 명 기**, 김 경 환†

Lane Departure Warning System with Single Lane Mark

Chungjae Oh*, Younyoung Lee*,
 Myungki Park**, Gyeonghwan Kim†

요 약

본 논문에서는 단일 차선표시선 검출 기반 차선 이탈 경고 시스템을 제안한다. 제안하는 방법은 어두운 조명이나 마모로 인하여 좌·우 차선표시선의 동시 검출이 불가능한 경우에도 단일 차선표시선의 검출 및 추적을 통해 강건한 차선이탈 감지를 목표로 한다. 실험을 통해 제안 방법이 한쪽 차선표시선만 검출된 경우에도 차선이탈을 감지하는 것을 확인하였다.

Key Words : Gradient Feature, Lane Detection, Lane Departure Warning System

ABSTRACT

A lane departure warning system based on single lane mark detection is presented in this paper. The proposed system is focused on the robust detection of lane departure, even when one of the left or the right lane mark cannot be detected because of poor illumination or abrasion. Experimental results show that the proposed system warns lane departure, even if only a single lane is detected.

I. 서 론

차선 이탈 경고 시스템은 차선 내에서의 자차의 위

치를 추정하여, 차선을 이탈할 위험을 운전자에게 경고하는 시스템이다. Yi^[1] 등은 차선표시선을 적은 연산량으로 검출하기 위해 소벨 에지(Sobel edge)를 추출한다. 그러나 차선표시선에서 추출된 에지와 다른 물체에서 추출된 에지를 구분하지 않아 잡음에 취약하다. Jeong과 Kim^[2]은 차선표시선 쌍을 구간선형모델로 근사함으로써 굴곡진 도로에서도 차선을 검출하는 방법을 제안하였다. Jeong과 Jeong^[3]은 차량의 사방에 탑재된 카메라를 사용하여 around view를 생성하고, [2]의 방법과 같이 차선표시선 쌍을 구간선형모델로 근사하였다. 하지만 두 방법은 좌·우 차선표시선이 동시에 검출되는 경우에만 차선표시선을 검출하며, 자차와 좌우 차선표시선 간의 거리 비율을 사용하여 차선이탈 여부를 판단하기 때문에 한 쪽 차선표시선만 검출이 가능한 경우 차선표시선 검출 및 차선 이탈 감지가 불가능하다.

본 논문에서는 한쪽 차선표시선만 검출되는 상황에서도 차선 이탈을 경고하는 방법을 제안한다. 밝기값 기울기(intensity gradient)와 허프 변환(Hough transform)을 이용하여 차선표시선 후보를 검출한다. 검출된 후보들로부터 좌·우 차선표시선을 개별적으로 검출하되, 반대쪽 차선표시선과 함께 한 쌍으로 묶일 수 있는 차선표시선을 우선적으로 검출한다. 이후 칼만 필터(Kalman filter)^[4]를 통해 좌·우 차선표시선 모델을 개별적으로 추적하고 개별 차선표시선 모델과 자차와의 거리로 차선 이탈 여부를 판단하여 한 쪽 차선표시선만 검출이 가능한 경우에도 차선 검출 및 이탈여부의 판단이 가능하다.

II. 제안하는 방법

2.1 차선표시선 후보 검출

그림 1과 같이 차선표시선 후보를 검출할 관심영역을 설정하고 차선표시선 후보를 이루는 에지들을 검출한다. 에지는 밝기값 기울기가 소실점으로 향하는 직선과 이루는 각도를 기준으로 네 종류로 구분된다. 영상 좌표(x,y)에서의 x, y방향 밝기값 기울기를 g_x , g_y 라 하고 소실점에서의 방향 벡터를 v_x , v_y 라고 할 때 식(1), (2)의 방향 임계값 T_{dir} 및 크기 임계값 T_{mag} 기준을 충족하는 영상 화소를 차선표시선 특징으로 정

* First Author : School of Electronic Engineering, Sogang University, ohhorse1@nate.com, 학생회원

o Corresponding Author : School of Electronic Engineering, Sogang University, gkim@sogang.ac.kr, 정회원

* School of Electronic Engineering, Sogang University, iuns@sogang.ac.kr

** School of Electronic Engineering, Sogang University, fundtm@daum.net

논문번호 : KICS2016-01-022, Received January 29, 2016; Revised February 17, 2016; Accepted March 23, 2016



그림 1. 관심영역, 소실점, 에지들.
Fig. 1. Region of interest, a vanishing point, and edges.

의한다. 그 후 차선표시선 특징에 허프 변환을 수행하여 에지를 검출하고, 실세계 좌표계에서 차선표시선 조건(에지의 종류, 평행성, 폭)에 부합하는 에지 쌍의 평균값을 차선표시선 후보로 검출한다.

$$|g_x v_x + g_y v_y| / \{(g_x^2 + g_y^2)(v_x^2 + v_y^2)\}^{1/2} < T_{dir} \quad (1)$$

$$g_x^2 + g_y^2 > T_{mag} \quad (2)$$

그림 2a와 같이 차선표시선이 마모되거나 조명에 의해 흐려진 경우, 영상 수평 방향의 밝기 변화만을 이용하는 LMS 방법은 그림 2b에서 보듯 잡음과 구분되는 특징을 충분히 추출할 수 없다. 그러나 제안하는 영상 밝기값 기울기 방법은 그림 2c와 같이 충분한 수의 차선표시선 특징을 추출하여 차선표시선 후보 추출을 가능하게 해준다(그림 2d).

2.2 차선표시선 검출 및 추적

검출한 차선표시선 후보들에서 차선표시선을 검출 하되, 하나의 차선을 구성할 수 있는 좌우 차선표시선을 우선 검출한다. 차선표시선을 구성하는 허프 파라미터는 시간 축으로 가우시안 잡음을 포함하며 선형적으로 변한다는 실험적 관찰 결과를 적용하여 예측한다. 좌우 차선표시선 동시 검출에 실패하여도 이전에 추적하던 차선표시선에 대한 정보를 근거로 단일 차선표시선을 검출한다. 차선표시선 후보들은 식 (3)으로 표현되는 고유 비용 C_{unary} 를 가진다. C_{unary} 는 k번째 차선표시선 후보(θ_k, ρ_k)와 칼만 필터 예측 위치(θ_p, ρ_p)의 차이, 허프 공간에서의 누적값 a_k 로 결정된다. w_a, v_θ, v_ρ 는 각각 누적값, θ 차이, ρ 차이에 대한 가중치이다. C_{pair} 는 식(4)와 같이 지표면 상에서 좌측



그림 2. (a) 마모된 차선표시선, (b) LMS 방법으로 추출한 차선표시선 특징(녹), (c) 밝기값 기울기 기반 방법으로 추출한 차선표시선 특징(청), (d) 차선표시선 후보들
Fig. 2. (a) Worn-out lane mark, (b) a lane mark feature point(green) extracted by LMS method, (c) lane mark feature points(cyan) extracted by our gradient based method, and (d) lane mark candidates

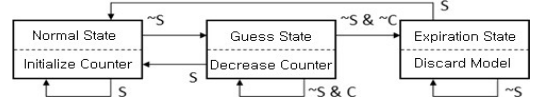


그림 3. 차선표시선 모델 상태 기계; ‘S’는 차선표시선 검출 신호, ‘C’는 카운터 유효 신호, ‘~’과 ‘&’는 각각 NOT과 AND를 의미.
Fig. 3. State machine for lane mark model; ‘S’, ‘C’, ‘~’, and ‘&’ represent “lane mark detection” signal, “valid counter” signal, logical NOT, and logical AND, respectively.

과 우측 차선표시선 후보가 평행에 가까운 정도, 좌우 차선표시선의 폭이 차선 기준간격 d 와 유사한 정도에 의해서 결정된다. L_m 과 L_n 은 각각 우측과 좌측 차선표시선 후보의 X_w 축 절편이며, θ_m 과 θ_n 은 우측과 좌측 차선표시선 후보가 Y_w 축과 이루는 각도이다. 실제 차선 폭은 주행 중인 도로 상황에 따라 다르므로, 칼만 필터를 사용하여 적응적으로 d 를 갱신한다. 차선을 구성할 수 있는 차선표시선 후보 쌍은 식(5)와 같이 C_{unary} 와 C_{pair} 의 합인 C_{total} 을 최소로 하는 쌍으로 결정한다. 차선표시선 후보 쌍의 폭과 각도가 실세계 차선조건에 부합하면 해당 쌍을 차선표시선 쌍으로 검출한다.

$$C_{unary}(k) = w_a \exp(-a_k) + v_\theta |\theta_k - \theta_p| + v_\rho |\rho_k - \rho_p| \quad (3)$$

$$C_{pair}(m,n) = w_\theta |\theta_n - \theta_m| + w_d |L_n - L_m - d| \quad (4)$$

$$C_{total}(m,n) = C_{unary}(m) + C_{unary}(n) + C_{pair}(m,n) \quad (5)$$

차선이 되기에 적합한 차선표시선 후보를 찾을 수 없을 경우, 차선표시선 후보들 중 C_{unary} 가 가장 낮고 임계값 이하인 후보를 단일 차선표시선으로 검출한다. 차선 혹은 단일 차선표시선이 검출되면 칼만 필터가 좌우 차선표시선 모델을 구성하는 허프 파라미터를 적응적으로 갱신한다. 차선표시선 모델의 유효성은 카운터와 그림 3의 상태 기계(state machine)를 이용하여 판단한다. 차선표시선 검출에 성공하면 카운터를 초기값으로 설정하고, 실패하면 차감한다. 차선표시선 검출에 지속적으로 실패하여 카운터가 소진되면 모델은 유효하지 않은 것으로 간주한다. 매 프레임마다 차선표시선 모델은 표준, 추측, 만료 중 하나의 상태로 결정된다. 표준 상태에서는 차선표시선 관측값을, 추측 상태에서는 칼만 필터 예측값을 통해 모델을 갱신한다. 만료 상태에서는 차선표시선이 존재하지 않는 것으로 간주한다.

2.3 차선 이탈 경보

추적 중인 차선 폭을 이용하여 그림 4a와 같이 좌

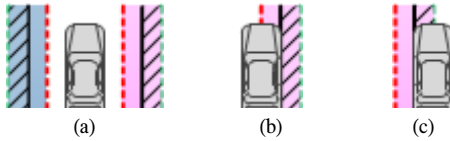


그림 4. 차선 이탈 경고 예시: (a) 차선 이탈 경고 영역, (b) 우측 차선 이탈, (c) 히스테리시스를 통한 차선 이탈 경고 방향 유지
 Fig. 4. Lane departure warning example: (a) departure warning region, (b) right warning region invasion, and (c) maintaining lane departure direction with hysteresis

측과 우측 경고 영역을 설정한다. 그 후 자차와 차선 표시선 사이의 거리를 계산하고, 그림 4b와 같이 자차가 차선표시선의 경고 영역에 위치하는 경우 시스템은 경고 상태로 돌입한다. 이 때 이탈 방향으로 그림 4c의 빗금 영역에 대하여 히스테리시스(hysteresis)를 적용, 차선 바깥쪽으로 경고 영역을 확장하여 차선 이탈 직전과 직후 동일한 방향으로 이탈 경고 발생이 가능하게 하였다.

III. 실험 결과

제안 방법의 성능을 검증하기 위해 좌·우 차선표시선이 동시에 검출되기 어려운 환경에서 취득한 영상을 사용하였다. [2]의 구간 선형 모델링 방법을 단순 선형 모델링 방법으로 수정 후 제안하는 방법의 이탈 경고 시스템에 적용한 결과와 제안하는 방법의 결과를 비교하였다. 그림 5a는 한 쪽 차선표시선만 검출이 가능한 프레임에 [2]의 방법을 적용한 예로 우측 차선표시선의 검출에 실패하여 결과적으로 차선표시선 검출 및 차선이탈 감지에 실패하였다. 제안 방법은 그림 5b와 같이 왼쪽 차선표시선을 개별적으로 검출하여 차선 이탈을 인식하였다. 제안하는 방법을 [2]의 방법과 정량적으로 비교한 결과는 표 1과 같다. 관심영역 내 실제 차선표시선의 수와 검출에 성공한 차선표시선 수의 비율로 차선표시선 검출 정확도를 평가하였다. 또한 식(6)과 같이, 전체 프레임 수 F_{total} 와 시스템이 이탈 여부를 올바르게 판단한 프레임 수($F_{TP}+F_{TN}$)의 비



그림 5. 차선표시선 검출 및 이탈 경고 결과 비교: (a) [2]의 결과, (b) 제안하는 방법의 결과
 Fig. 5. Comparison of lane mark detection and departure warning results: (a) [2]'s result, (c) the result of the proposed method

표 1. 차선표시선 검출률 및 차선 이탈 인식률
 Table 1. Lane mark detection rate and lane departure recognition rate

Dataset	Lane mark detection rate		Lane departure recognition rate	
	[2]'s result	Our result	[2]'s result	Our result
Night	57.2%	83.6%	73.1%	93.1%
Tunnel	72.2%	78.8%	92.1%	95.1%
Day	64.8%	68.5%	62.6%	73.7%

율로 차선 이탈 감지율 Rate를 평가하였다. F_{TP} 와 F_{TN} 는 각각 시스템이 차량의 차선 이탈 상황과 미이탈 상황을 올바르게 판단한 프레임의 수를 의미한다.

$$Rate = (F_{TP} + F_{TN}) / F_{total} \quad (6)$$

실험에 사용된 영상에는 한 쪽 차선표시선만 관측이 가능한 프레임이 많이 포함되어 있기 때문에 표 1과 같이 제안하는 방법이 [2]의 방법에 비해 차선표시선 검출률 및 차선 이탈 인식률이 더 높다.

IV. 결론

본 논문은 마모, 오염 등으로 좌·우 차선표시선 동시 검출이 불가능한 상황에서도 동작하는 차선 이탈 경고 시스템을 제안하였다. 제안하는 방법은 영상 밝기값 기울기를 사용하여 개별적으로 차선표시선을 검출, 추적함으로써 기존의 쌍 기반 차선 이탈 경고 시스템보다 차선표시선 검출률 및 차선이탈 인식률이 높다는 것을 실험을 통해 확인하였다.

References

- [1] S. Yi, J. Ryu, and C. Lee, "Development of embedded lane detection image processing algorithm for car black box," *J. KAIS*, vol. 11, no. 8, pp. 2942-2950, Aug. 2010.
- [2] M. Jeong and G. Kim, "Lane detection on non-flat road using piecewise linear model," *J. KICS*, vol. 39, no. 6, pp. 322-332, Jun. 2014.
- [3] H. Jeong and Y. Jeong, "A lane departure warning algorithm based on images surrounding the vehicle," *J. KIIT*, vol. 11, no. 5, pp. 121-130, May 2013.
- [4] R. J. Meinhold and N. D. Singpurwalla, "Understanding the Kalman filter," *The Am. Statistician*, vol. 37, no. 2, pp. 123-127, May 1983.