

EDF와 하프변환 기반의 차선관련 정보 검출

이 준 응^{*1)} · 이 기 용²⁾

전남대학교 산업공학과, 자동차연구소¹⁾ · 전남대학교 산업공학과²⁾

Extraction of Lane-Related Information Based on an EDF and Hough Transform

Joonwoong Lee^{*1)} · Kiyong Lee²⁾

^{1,2)}Department of Industrial Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
(Received 3 September 2004 / Accepted 3 February 2005)

Abstract : This paper presents a novel algorithm in order to extract lane-related information based on machine vision techniques. The algorithm makes up for the weak points of the former method, the Edge Distribution Function (EDF)-based approach, by introducing a Lane Boundary Pixel Extractor (LBPE) and the well-known Hough Transform (HT). The LBPE that serves as a filter to extract pixels expected to be on lane boundaries enhances the robustness of machine vision, and provides its results to the HT implementation and EDF construction. The HT forms the accumulator arrays and extracts the lane-related parameters composed of orientation and distance. Furthermore, as the histogram of edge magnitude with respect to edge orientation angle, the EDF has peaks at the orientations corresponding to lane slopes on the perspective image domain. Therefore, by fusing the results from the EDF and the HT the proposed algorithm improves the confidence of the extracted lane-related information. The system shows successful results under various degrees of illumination.

Key words : EDF, LBPE, Hough transform(하프변환), Machine vision(머신비전)

1. 서론

본 논문은 차선 표식으로 차선의 경계가 표시된 도로에서 촬영된 단안의 흑백영상에서 차선에 관한 정보를 찾는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 추출되어질 차선 경계의 방향과 위치와 같은 차선관련 정보는 선진안전 자동차의 차선이탈인식이나 차선유지¹⁻¹¹⁾ 기술에 활용될 수 있다. 한국의 대부분 포장도로의 차선표식은 하얀색, 노란색, 파란색으로 도색되어 있으므로 차선관련 정보의 검출은 잡음요인에 의해 신뢰성저하가 발생하여도 화상처리 기술

에 의존하지 않을 수 없다. 이런 잡음요인으로는 도색된 차선표식의 마모 등 훼손된 노면, 먼지나 흙으로 뒤덮인 표식, 예측할 수 없는 기상 상황, 조명변화, 그리고 좁은 도로, 넓은 도로, 직선로, 곡로, 경사로, 터널 등 여러 형태의 도로 등을 들 수 있다.

화상처리에 의한 도로의 차선인식에 많은 연구가 수행되었는데, 이러한 연구에는 특징에 기반을 둔 방법,^{4,7)} 신경망을 바탕으로 한 방법^{9,12)}과 확률론에 의한 방법¹³⁾들을 들 수 있다. 대부분의 연구는 이러한 방법들의 여러 원리를 서로 공유하거나 조합을 한다. 그러나 여전히 고려되어야 할 한 가지 공통적인 이슈는 대부분의 방법들이 잡음에 영향을 받기 때문에 어떻게 신뢰할만한 알고리즘을 제공하느냐

^{*}To whom correspondence should be addressed.
joonlee@chonnam.ac.kr

하는 것이다.

본 논문에서 제안한 차선경계픽셀 추출기(LBPE), 에지분포함수(EDF)와 하프변환(HT) 기법이 차량에 설치된 CCD 카메라로 획득한 흑백의 영상에서 차선관련 정보, 즉, Fig. 1에서 보인 $\theta_l, \theta_r, \rho_l$ 와 ρ_r 과 같은 차선 경계의 방향과 위치를 추출하는데에 활용된다. Fig. 1에서 하단의 원점은 영상을 좌우 영역으로 똑같이 나눈 점이고, ρ_l 와 ρ_r 은 이 원점으로부터 좌우의 차선경계까지의 거리이며, θ_l 과 θ_r 은 영상의 하단과 원점을 통과하는 좌우 법선 사이의 각도이다.

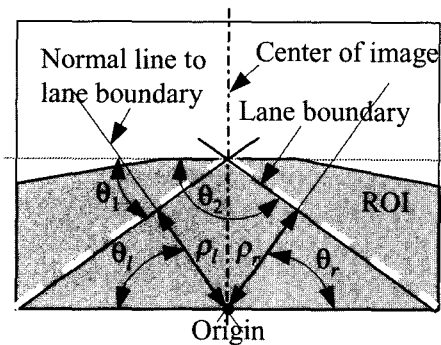


Fig. 1 Lane-related parameters and ROI

도로영상 입력 후 이러한 파라미터들을 얻는 과정은 다음과 같다. 먼저, Fig. 1에서 어둡게 표시된 관심영역(ROI) 내에서 차선경계상에 있을 것으로 기대되는 픽셀들을 LBPE¹⁰⁾에 의해 추출한다. ROI 설정에 대한 상세한 설명은 참고논문^{11,14)}에 나와 있다. 그리고 LBPE로부터 얻은 픽셀들을 대상으로 $\theta_l, \theta_r, \rho_l$ 와 ρ_r 를 추정하기 위해 HT¹⁵⁾과 EDF구축^{11,14)}이 수행된다.

HT로부터 얻게 될 파라미터들의 신뢰도는 LBPE에 의해 크게 영향을 받는데, LBPE는 3개의 색(흰색, 노란색, 파란색) 중에 하나로 도색된 차선표식은 포장도로의 다른 어떤 부분보다 밝다는 성질에 토대를 두고 있다. 이 성질은 타이어자국이나 중앙분리대의 그림자와 같은 잡음들로부터 차선표식을 구별하는 것을 돕는다. 비록 이러한 잡음들의 경계도 차선표식의 경계처럼 뚜렷하게 큰 에지값을 갖지만 차선표식만큼 밝은 밝기를 갖지는 않는다. 따라서

밝기정보와 에지정보의 융합은 노면으로부터 차선 경계를 분리하는 데에 필요하다.

본 논문에서 사용된 차선표식에 대한 가정은 다음과 같다. 첫째, 차선표식은 도로의 다른 부분보다 밝은 색으로 도색되어 있다. 둘째, 차선표식 방향은 차선을 따라 완만하게 변한다. 셋째, 차선표식은 도로의 중심에 대해 좌우로 평행한다. 이러한 가정을 토대로 LBPE가 설계되고, 1차원 함수인 EDF가 정의된다. 똑같은 에지방향을 가진 에지 픽셀들의 누적으로 수식화된 EDF는 다음과 같은 역할을 한다. 첫째, 동적인 도로환경의 잡음에 관한 효과를 줄인다. 둘째, 카메라 관련 파라미터 없이 차선방향의 측정을 가능케 한다. 셋째, 에지관련 정보와 차선관련 정보를 연결시킨다. 차선표식에 대한 처음 두 가정에 의거, EDF는 차선경계의 방향에 상응하는 위치에서 뚜렷한 피크값을 갖는다. 따라서 EDF의 국부 최대값은 차선경계의 방향에 대한 추정값이 될 수 있다.

비록 EDF구축과 HT가 그들의 실현방법에 있어서는 다르지만 차선방향 검출이라는 관점에서는 동일하다. 그러므로 이들의 결과는 차선관련 정보의 강인성을 높이기 위해 융합된다. 덧붙여, 이들은 도로영상의 차선표식의 가시도분석에 효율적으로 활용된다. 우리는 이미 장면이해지수¹¹⁾와 EDF에서 추출된 입력을 사용한 퍼지신경망(FNN)으로 도로영상의 차선표식의 가시도분석을 수행한 바 있다. FNN에 대한 상세한 기술은 참고문헌^{16,17)}에서 소개되었다.

제안한 알고리즘은 크게 3단계로 구성된다. Fig. 2는 총괄적인 과정을 나타낸다. 첫 단계는 영상획득과 에지추출이다. 두 번째 단계는 LBPE 실행이다.

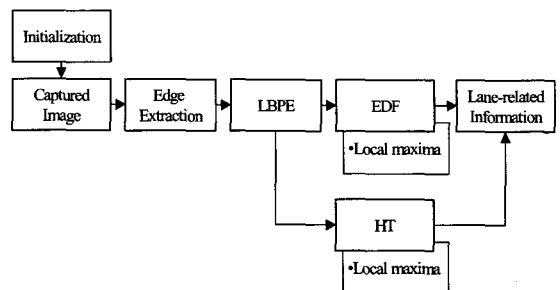


Fig. 2 Overall procedure of the proposed algorithm

마지막 단계는 EDF 구축과 HT로서 여기에서 차선에 관한 파라미터 $\theta_b, \theta_r, \rho_l$ 와 ρ_r 를 추정한다. 초기화에서는, 처리시간 단축을 위해 ROI와 소벨에지연산¹⁵⁾과 HT를 위한 룩업 테이블(Look-Up Table, LUT)을 설정하고, 기타 변수들을 초기화한다. 그리고 320×240 픽셀의 이미지가 공급된다.

2. LBPE

2.1 에지 추출

에지는 수학적으로 밝기함수의 그래디언트(gradient)로 정의된다. 영상 $f(x, y)$ 의 임의의 점 (x, y) 에서 그래디언트는 벡터 ∇f 로 표시한다.

$$\nabla f = [G_x \ G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \ \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

3×3 Sobel 마스크¹⁵⁾를 사용하게 되면, 벡터 ∇f 는 다음과 같이 표현된다.

$$G_x = f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x-1, y) - f(x-1, y+1) \quad (2)$$

$$G_y = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \quad (3)$$

벡터 ∇f 는 두가지 중요한 물리량인 크기 $\nabla f(x, y)$ 와 방향 $\alpha(x, y)$ 을 갖는데 이들은 다음과 같다.

$$\nabla f(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \approx |G_x| + |G_y| \quad (4)$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{G_x}{G_y} \right] \quad (5)$$

$\alpha(x, y)$ 의 계산시간을 줄이기 위해서 간단한 LUT를 Fig. 2의 초기화과정에서 만들어 놓는다. G_x, G_y 의 범위와 $\alpha(x, y)$ 의 양자화 레벨에 따라 LUT의 크기는 결정된다. 에지추출의 이유는 에지가 도로영상의 차선 표시의 성질을 나타내는 데에 잘 맞다는 점이다. 에지 연산에서 에지 크기에 관한 임계값 설정¹⁸⁾은 어려운 문제이다. 도로 영상의 차선경계상의 에지픽셀들은 크기는 큰 반면, 기타 픽셀들과 비교하여 볼 때 그들의 수는 적다. 그러므로 차선경계상의 픽셀들의 효과를 높이기 위해 임계값보다 적

은 크기를 갖는 에지픽셀들을 제거하는 것이 필요하다. 참고문헌¹⁴⁾에 소개된 적응형 방법이 임계값 결정에 사용되었다. 이 방법이 비록 발견적 방법이지만 임계값이 사람의 개입없이 결정된다. LBPE 실행, EDF 구축, HT 등이 임계값보다 적은 크기를 갖는 에지픽셀들이 제거된 후에 수행된다.

2.2 ROI의 분할

ROI는 Fig. 3에 보인 바와 같이 왼쪽과 오른쪽을 나타내는 L, R 그리고 상, 하를 나타내는 첨자 u, l 이 사용된 4개의 영역 L_u, R_u, L_l, R_l 로 분할된다. 비록 영역분할이 사소하고 발견적이어도, 그것은 차선경계에 놓여 있을 것으로 기대되는 픽셀을 찾는 데에 중요한 영향을 미친다.

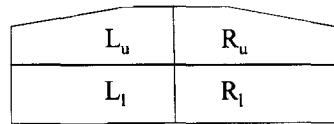


Fig. 3 Sub-division of ROI

어느 소영역내의 차선경계상의 한 픽셀이 그 소영역의 평균밝기보다 더 밝은 밝기를 가지고 있지만 ROI의 평균밝기보다 어두운 밝기를 가졌다고 가정하자. 이 상황에서 영상의 국지적인 특성을 간주하지 않고 ROI보다 밝은 밝기의 픽셀을 선택한다면 그 픽셀은 선택될 수 없다. 그러한 이유로 우리는 ROI를 소영역들로 나눈 것이다. 각 소영역에 대해 밝기와 에지크기의 평균값들이 계산되고, 이러한 평균값들은 LBPE에 의해서 차선경계상의 후보 픽셀들을 추출하는 데에 이용된다.

2.3 LBPE

도로환경은 화상처리의 관점에서 너무 복잡하고, 화상처리를 일관되게 적용하기 어렵게 하는 요인이 너무 많다. 그러므로 신뢰성있게 차선경계상의 픽셀들을 추출하기 위해서는 합리적인 가정과 적절한 제약들을 가할 필요가 있다. LBPE는 밝기값과 에지의 특징들과 같은 정보를 이용하는 5개의 제약으로 이루어졌다. LBPE는 Fig. 3에 묘사된 영역들 각각에 대해서 수행된다.

• 제약1

노면은 광원에 의해 포화되서는 안 된다. 만일 우리가 다이내믹 레인지 카메라¹⁹⁾ 또는 특별한 렌즈 메카니즘을 사용하지 않으면, 빛의 포화 조건하에 도로영상에서 차선표식을 확인하는 것은 어렵다.

• 제약2

차선허계상의 픽셀은 주어진 소영역의 평균 밝기보다 밝은 밝기를 가져야 하며, 평균 에지크기보다 큰 에지크기를 가져야 한다.

• 제약3

좌·우 차선허계의 방향을 Fig. 1에 보인 바와 같이 각각 θ_1 과 θ_2 라고 했을 때, 차선허계상의 픽셀이 되기 위해서는 식 (5)의 에지 방향은 특정 범위 내에 있어야 한다.

• 제약4

Fig. 4에 보인 바와 같이 차선표식은 내측과 외측 경계를 가지고 있다. 따라서 처음 3개의 제약들을 만족한 픽셀들을 차선표식의 내측 및 외측 경계로 분류하기 위하여 LB_{in} , LB_{out} , RB_{in} , RB_{out} 로 명명된 4개의 집합을 형성한다. 여기에서 대문자 LB 와 RB 는 왼쪽과 오른쪽 경계를 뜻하고, 아래 첨자 in , out 은 내측과 외측을 뜻한다.

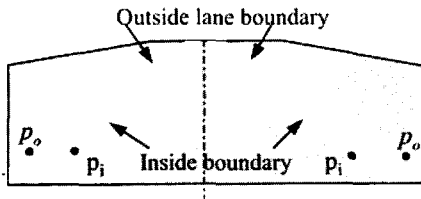


Fig. 4 Description of inside and outside lane boundaries

4번째 제약은 픽셀 p 가 처음 3개의 제약을 만족하고, 그것의 위치가 영상의 수평방향에서 k 라고 가정하고 규정한다. 먼저 다음과 같은 수식을 계산한다.

$$Q = \sum_{i=k+1}^{k+n} w_i f_i - \sum_{i=k-n}^{k-1} w_i f_i \quad (6)$$

여기에서 n 은 픽셀 p 주위에서 고려할 픽셀들의 수이고, w_i 는 가중치이며, f_i 는 픽셀 p 주위의 픽셀 p_i 의 밝기값이다. w_i 와 n 은 실험적으로 결정된다.

픽셀 p_i 의 가중치 w_i 는 픽셀 p 에 가까울수록 큰 값을 갖도록 한다. 차선허계상의 후보 픽셀이 되기 위해서는 Q 의 절대값이 실험적으로 결정된 값 C 와 같거나 커야한다.

분류는 다음 조건에 따라서 이루어진다.

(1) 소영역 L_u 또는 L_l 에서 처음 세 개의 제약을 만족하는 임의의 픽셀 p 에 대해

1) $Q \geq C$ 이고, $G_x > 0$, $G_y > 0$ 이면 $p \in LB_{out}$

2) $-Q \geq C$ 이고, $G_x < 0$, $G_y < 0$ 이면 $p \in LB_{in}$

(2) 소영역 R_u 또는 R_l 에서 처음 세 개의 제약을 만족하는 임의의 픽셀 p 에 대해

1) $Q \geq C$ 이고, $G_x > 0$, $G_y < 0$ 이면 $p \in RB_{in}$

2) $-Q \geq C$ 이고, $G_x < 0$, $G_y > 0$ 이면 $p \in RB_{out}$

이때, 주어진 조건하에서 G_x , G_y 는 수식 (2)와 (3)으로부터 얻어진 것이다.

• 제약5

제약4가 적용된 후에도 집합들에 속해 있는 거짓 픽셀들은 부가적인 제한에 의해서 제거되어야 한다. LB_{out} 에 있는 픽셀 p_0 를 참 픽셀로 가정한다. 그러면 픽셀 p_0 는 Fig. 4에 보인 바와 같이 차선표식의 폭만큼 떨어진 우측에 LB_{in} 내에 픽셀 p_i 를 가져야 한다. 또한 p_i 와 p_0 사이의 픽셀들은 균일하고 밝은 밝기분포를 가져야만 한다. RB_{in} , RB_{out} 에 속한 픽셀들에 대해서도 같은 제약이 적용된다. 도로상에서 차선표식이 두 개 또는 그 이상 겹칠 수 있기 때문에 차선표식의 폭은 실험적으로 결정된다.

3. EDF

우리가 제안한 이전의 알고리즘¹¹⁾에서 EDF는 다음과 같은 일차원함수로 정의된 바 있다.

$$F(d) = \sum_{n(d)} \nabla f(x, y) \quad (7)$$

여기에서 $n(d)$ 가 식 (5)의 방향 $d = \alpha(x, y)$ 를 갖는 픽셀들의 수이고, $\nabla f(x, y)$ 는 식 (4)의 에지 크기이다. $n(d)$ 를 얻기 위해, 우리는 0° 에서 180° 까지 범위를 설정하고, $\alpha(x, y)$ 를 1° 단위로 양자화한다. EDF는 방향의 함수로 에지픽셀의 크기의 히스토그램이라 할 수 있다.

도로영상에서 차선경계상에 있는 픽셀들은 대부분 다른 픽셀들보다 큰 에지크기를 가지고 있고, 유사한 방향을 갖지만, 그 외 부분에서 그런 특성을 가지고 있는 픽셀은 많지 않다. 그러므로 Fig. 5에서 보인 바와 같이 EDF는 차선 방향, θ_1 과 θ_2 근처에서 큰 값을 갖는다. 바로 이 점이 EDF를 차선경계의 좌우 방향 근처에서 국부최대값을 갖게 한다. 차선관련 파라미터를 추정하기 위해 우리는 EDF에서 국부최대값을 추출하는데, 이것이 차선경계의 방향이 된다. EDF의 이상적인 형태는 Fig. 5(b)에 묘사되어 있다.

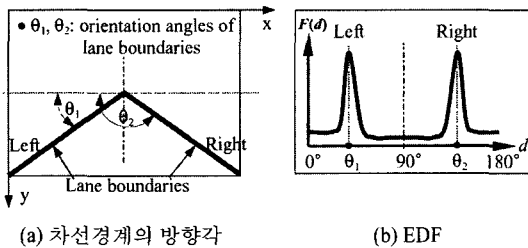


Fig. 5 EDF

식 (7)의 EDF는 다음과 같이 수정된다.

$$F(d) = \sum_{n(d)} w \nabla f(x, y) \quad (8)$$

여기에서 w 는 다음과 같이 정의되는 가중치다.

$$w = \begin{cases} w_1 & \text{if } (x, y) \in LB_{in}, LB_{out}, RB_{in}, \text{ or } RB_{out} \\ w_2 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$w_1 \gg w_2$$

w_1 과 w_2 는 실험적으로 결정된다.

식 (7)로 정의된 옛 EDF에서는 적응형 쓰레시홀딩(thresholding)¹⁴⁾후 남아 있는 픽셀들이 모두 동일한 효과를 가진 반면에 식 (8)의 새로운 EDF에서 이들은 동일한 영향을 미치지 않는다. 즉, LBPE에서 구축된 집합들에 포함된 픽셀들은 여기에 포함되지 않은 픽셀들에 비해 큰 영향을 갖는다. 따라서 새 EDF는 옛 EDF보다 더 뚜렷하고 더 매끄러운 피크들을 갖게 되고, 잡음의 존재에서도 옛 EDF보다 차선방향을 얻는 데에 훨씬 더 신뢰할 수 있다. 그러나 LBPE가 잘못된 픽셀들을 추출할 수 있고, 만약 그러한 픽셀들이 증가한다면 새로운 EDF의 형상은

무디고 울퉁불퉁할 수 있다.

한국의 고속도로는 280m의 최소곡률반경을 갖게 설계되었으므로 차선획의 영향은 Dickmanns⁷⁾에 의해 지적된 것처럼 약 40m의 거리에서는 무시할만하다. 그런 환경에서 EDF는 차선방향을 묘사하기에 충분하다.

4. 하프변환

ROI를 좌우 균등 분할하고 밀선 중심에 원점을 설정하여 Fig. 6에서처럼 두 개의 좌표계를 형성한다. 좌표계에서 y 축은 양 좌표계에 공유된다. 좌우 각 영역에 대해 HT는 다음 수식에 의해 수행된다.¹⁵⁾

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (9)$$

여기에서 (x, y) 는 어떤 픽셀의 좌표값이고, θ 는 x 축과 어떤 피팅라인 L 의 법선사이의 각이고, ρ 는 좌표계의 원점과 라인 L 사이의 거리이다. 좌우영역에서 파라미터 ρ, θ 는 Fig. 6에서와 같이 $\theta_l, \theta_r, \rho_l, \rho_r$ 로 표시된다.

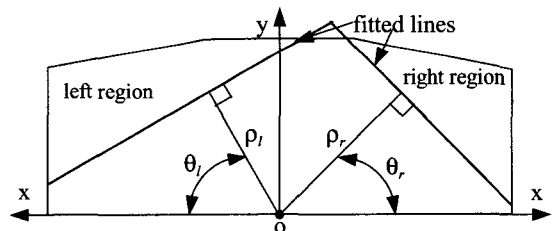


Fig. 6 Coordinate systems and parameters for HT

식 (9)는 LBPE로 얻어진 4개의 집합들 $LB_{in}, LB_{out}, RB_{in}, RB_{out}$ 에 있는 모든 픽셀들에 적용된다. 라인 $x \cos \theta_j + y \sin \theta_j = \rho_j$ 상에 존재하는 일직선상의 M 개의 점들은 (ρ, θ) 파라미터 공간에서 (ρ_i, θ_j) 에서 교차하는 정현파 곡선 M 개를 만든다. 우리는 4개의 집합들에 상응하는 4개의 누적배열(accumulator array)들 $H_{L_{in}}(\rho, \theta), H_{R_{in}}(\rho, \theta), H_{L_{out}}(\rho, \theta), H_{R_{out}}(\rho, \theta)$ 를 구성하고 모든 누적배열의 모든 셀들을 0으로 초기화한다. Fig. 6에 보인 바와 같이 θ 의 범위는 0° 에서 90° 이다. θ 와 ρ 의 증가분은 각각 1° 와 1로 설정하며, θ 의 범위 내에서 식 (9)가 계산될 때

다 선택된 θ 와 계산결과로 얻어진 ρ 에 의해 결정된 누적배열의 셀에 값을 1씩 더해준다. 이러한 처리를 보우팅(voting)이라 하며, 누적배열의 각 셀 값을 보우팅 값(voting value)이라 한다. HT 종료 후 다음 두 단계에 의하여 각 누적배열에서 국부최대값을 찾는다.

1) 각 누적배열에서 조사대상을 다음과 같이 제한한다.

$$\Theta_s = \{(\rho, \theta) \mid H_s(\rho, \theta) > v\} \quad (10)$$

$$s = L_{in}, R_{in}, L_{out}, R_{out}$$

여기에서 v 는 실험적으로 결정된 기준값이다. 따라서 누적배열내의 셀의 보우팅값이 v 이상인 셀들을 취해서 집합 Θ_s 을 구축하고 Θ_s 의 원소들은 누적배열의 보우팅 값에 기초하여 내림차순으로 정리한다. 하지만 집합 Θ_s 내에 여전히 많은 요소들이 존재하면 다음과 같이 한번 더 조사대상을 축소한다.

$$N_s = \min\{N_d, \#\{\Theta_s\}\}, s = L_{in}, R_{in}, L_{out}, R_{out} \quad (11)$$

여기에서 N_d 는 실험에 의해 선택하고, $\#\{\Theta_s\}$ 는 Θ_s 의 원소의 수량이다. N_d 는 $\#\{\Theta_s\}$ 가 최소한 이수를 초과하여야 하며, 국부최대값을 찾는 데 있어서 Θ_s 에서 이 정도의 원소들만 고려하는 것으로 충분하다는 두 가지 의미를 갖고 있다. 이후의 연산 과정에서는 Θ_s 에서 N_s 만큼의 원소들만 취급한다.

2) 각 Θ_s 안의 N_s 개의 요소들내에서 국부최대값들을 찾는다. 누적배열에서 단순히 전역최대를 찾는 것이 쉽고, 전역최대가 다른 국부최대보다 차선기하를 양호하게 묘사할 수 있지만 전역최대가 항상 잡음에 자유롭다는 보장은 없다. 이점이 누적배열내에서 국부최대를 찾고, 각 Θ_s 의 국부최대들

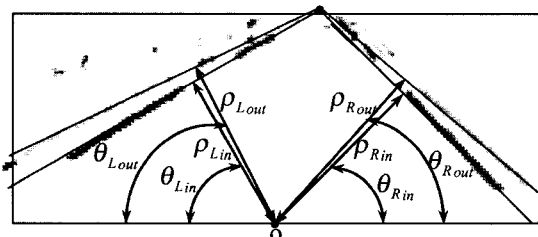


Fig. 7 Lane-related parameters

운데서 차선관련 정보를 가장 잘 묘사할 파라미터들을 선택하는 이유다. Fig. 7에 좌측 차선경계의 내·외측, 우측 차선경계의 내·외측을 나타내는 8개의 파라미터들 $(\theta_{L_{in}}, \rho_{L_{in}})$, $(\theta_{L_{out}}, \rho_{L_{out}})$, $(\theta_{R_{in}}, \rho_{R_{in}})$, $(\theta_{R_{out}}, \rho_{R_{out}})$ 을 추출한 예를 나타냈다.

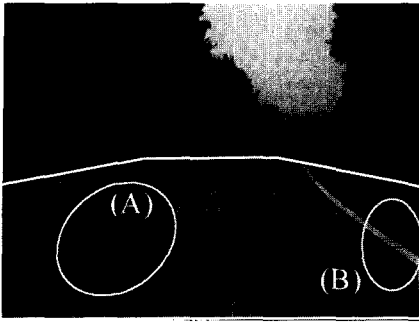
5. 실험결과

제안된 알고리즘은 차량에 설치된 CCD 카메라로 촬영된 영상으로 평가되었다. 아스팔트나 시멘트로 포장된 고속도로와 차선표식이 도색된 일반도로에서 차량을 주행시키면서 실외실험이 실시되었고, 연구실 테스트는 도로영상이 녹화된 비디오를 사용하여 수행되었다. 두 실험 모두 영상의 크기는 320×240(픽셀)이었다.

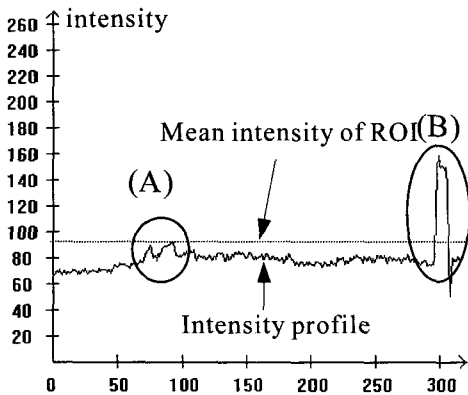
먼저, ROI의 소영역 분할문제를 다룬 예를 Fig. 8에 예시하였다. Fig. 8(a)의 타원(A)안에 있는 차선표식은 Fig. 8(b)에 보인 것처럼 ROI의 평균 밝기보다 어두운 반면, Fig. 8(a)의 타원(B)안에 있는 차선표식은 ROI의 평균 밝기보다 더 밝다. 덧붙여 Fig. 8(c)에 보인 것처럼 타원(A)안에 있는 차선경계의 픽셀은 ROI의 평균 에지크기보다 작은 에지크기를 가지고 있다. 그러나 타원(A)안에 있는 차선표식은 표식이 포함된 주위의 소영역의 평균 밝기보다는 더 밝다. 따라서 2.2절에서 설명한 바와 같이 ROI를 소영역으로 나누고, 소영역별로 LBPE를 적용하면 차선표식의 경계에 있을 것으로 기대되는 픽셀들을 신뢰성 있게 추출할 수 있는 것이다.

Fig. 9는 LBPE의 제약5의 중요성을 보이기 위한 실험결과이다. Fig. 9(b)의 타원들에 포함된 픽셀은 잘못 선택된 것들이다. 그것은 가드레일의 그림자나 노면마모에 의해 기인된 것이다. Fig. 9(c)에 나타난 바와 같이 제약5는 이런 픽셀들을 대부분 제거하였다.

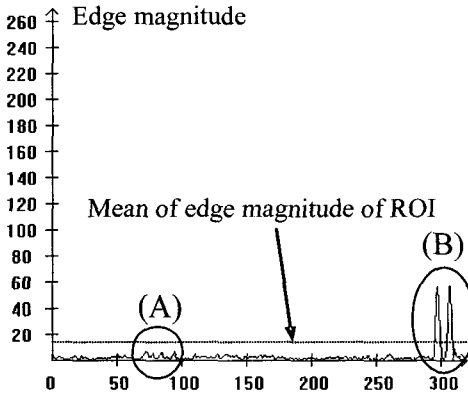
Fig. 10은 식 (7)과 (8)의 EDF의 차이를 보인 것이다. Fig. 10(a)에 보인 원시영상에 대해 Fig. 10(c)와 (e)에서처럼 2개의 다른 EDF를 얻었다. Fig. 10(e)에 보인 EDF는 차선경계에 대응된 각도에서 Fig. 10(c)에 보인 EDF보다 더 명확한 피크를 가지고 있음을



(a) 원시영상과 행 선택



(b) (a)에서 선택된 행의 밝기 프로파일

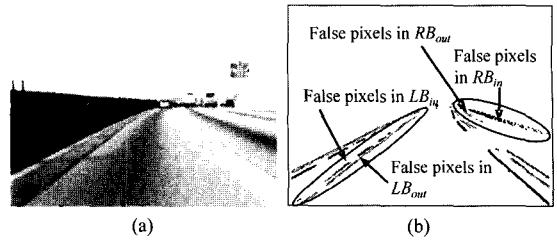


(c) (a)에서 선택된 행의 에지크기의 프로파일

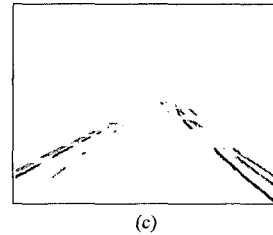
Fig. 8 Reason of ROI division

알 수 있다. LBPE는 Fig. 10(d)에서 나타난 바와 같이 LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} 의 4개의 집합을 형성했고, 여기에서 밝은 그레이 레벨을 가진 픽셀들이 차선경계상에 있을 것으로 기대되는 것들이다.

Fig. 11은 제안된 차선관련정보 추출 알고리즘의 실행결과이다. Fig. 11(a)의 원시영상에 대해 LBPE



(a) 원시영상, (b) 제약-5 이전의 LB_{in} , LB_{out} , RB_{in} , RB_{out}



(c) 제약-5 이후의 LB_{in} , LB_{out} , RB_{in} , RB_{out}

Fig. 9 Importance of constraint-5 of LBPE

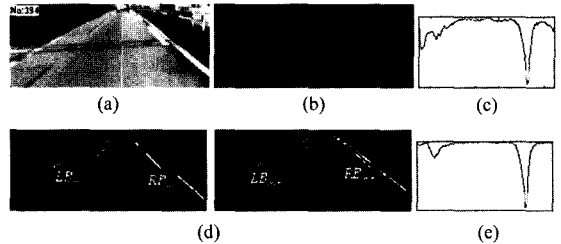
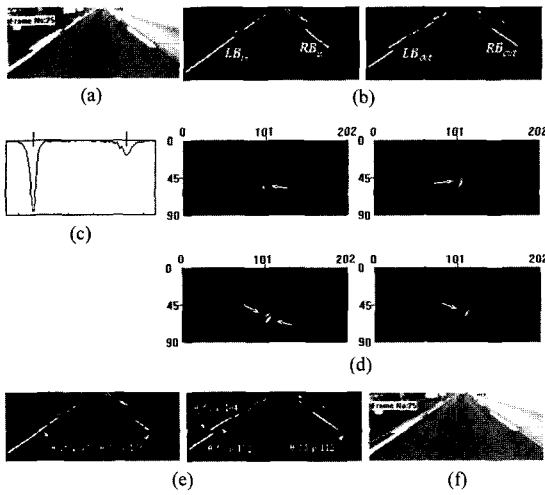


Fig. 10 Comparison of EDFs of Eq. (7) and (8)

는 Fig. 11(b)에 나타난 LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} 을 구축했다. Fig. 11(c)는 식 (8)의 EDF이다. Fig. 5의 θ_1 과 θ_2 에 대응된 EDF의 극부최대값은 32° 와 144° 인데, 이 값은 Fig. 1과 Fig. 6에서 보인 θ_1 과 θ_2 로 간단히 변환된다. θ_1 과 θ_2 에 대응되는 각도는 58° 와 54° 이다. LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} 에 포함된 픽셀들은 HT에 입력되어 Fig. 11(d)에서 보인 4개의 누적 배열들을 형성하였다. 수평축이 파라미터 ρ , 수직축이 파라미터 θ , 그리고 화살표는 각 누적 배열의 극부최대를 가리킨다. 누적 배열의 검정색은 (ρ, θ) 셀에 보우팅된 점이 없음을 뜻한다. Fig. 11(e)에 각각의 θ_i 에 대한 극부최대의 파라미터를 기반으로 핏팅된 라인들이 대응되는 LB_{in} , LB_{out} ,

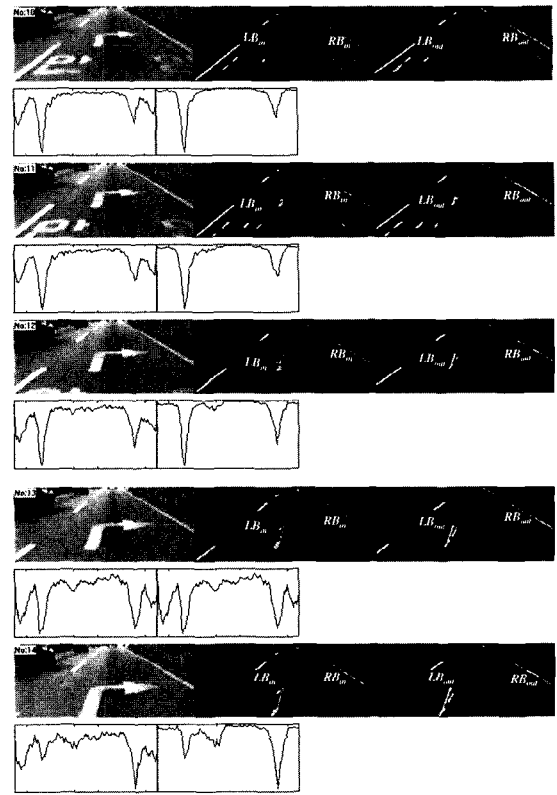


(a) 원시영상, (b) LBPE의 집합 : LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} , (c) EDF, (d) 누적배열 : $H_{L_{in}}(\rho, \theta)$, $H_{R_{in}}(\rho, \theta)$, $H_{L_{out}}(\rho, \theta)$, $H_{R_{out}}(\rho, \theta)$, (f) θ_s 의 국부최대에 대한 라인핏팅, (g) 원시영상과 차선관련정보
 Fig. 11 Extraction of lane-related parameters

RB_{in} , RB_{out} 위에 표시되었다. 각각의 θ_s 의 전역 최대에 대응되는 각도 θ -56, 50, 62, 55가 EDF의 국부최대와 일치한다는 판정에 따라 차선관련 정보로 각 θ_s 의 국부최대에 대응되는 셀의 좌표 (97, 56), (106, 50), (104, 62), (112, 55)를 추출하였다. 마지막으로 이 데이터를 가지고 핏팅한 라인을 Fig. 11(f)의 원시영상에 중첩하여 표시하였다.

Fig. 12는 노면에 문자와 화살표가 나타난 영상의 5개 연속된 프레임의 차선관련 정보추출 실험결과를 보인 것이다. Fig. 12(a)는 원시영상, LB_{in} , LB_{out} , RB_{in} , RB_{out} 그리고 수식 (7)과 (8)의 EDF로 이루어졌다. Fig. 12(b)는 이들 프레임에 대해 추출된 차선관련 정보를 나타낸 것이다.

다음 두 실험결과는 비가 오는 날(Fig. 13)과 야간(Fig. 14)에 제안된 알고리즘이 차선관련 정보를 정확하게 추출할 수 있음을 보인 예다. 실험결과에서 주목할 점은 인간의 눈에 차선표식이 보이기만 하면 LBPE가 비가 오거나 조명에 관계없이 차선경계 상에 있을 것으로 기대되는 픽셀을 강건하게 추출하고 있다는 점이다. EDF를 토대로 한 이전 연구^{11,14)}에서는 밤이나 비오는 날에 수행도가 떨어졌지만, 본 논문에서 제안된 알고리즘은 LBPE로 인하여

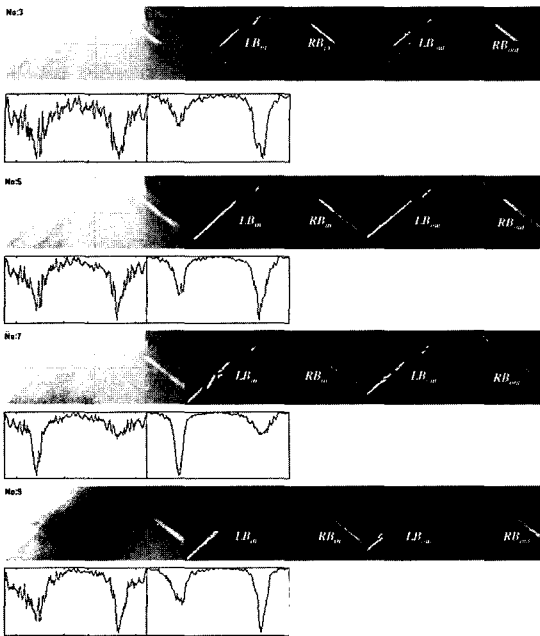


(a) 원시영상, LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} , 및 EDF

Frame no.	$\theta_{L_{in}}$	$\rho_{L_{in}}$	$\theta_{L_{out}}$	$\rho_{L_{out}}$	$\theta_{R_{in}}$	$\rho_{R_{in}}$	$\theta_{R_{out}}$	$\rho_{R_{out}}$
10	53	94	60	118	56	99	61	121
11	53	95	60	119	55	100	62	121
12	53	95	61	118	55	100	62	121
13	53	95	61	118	56	100	62	121
14	53	95	61	117	56	100	62	120

(b) 5개의 연속된 프레임 차선관련 정보
 Fig. 12 Extraction of lane-related parameters for the images with letters and arrows on road surface

좋은 성능을 보이고 있다. 밤이나 비오는 날 모두 알고리즘의 성능에는 차이가 없었다. Fig. 13(a)에 우리는 4개의 원시영상에 대해 제안된 알고리즘의 화상처리 결과를 나타냈다. 원시영상 각각에 대해 2개의 행으로 실험결과를 표현하였는데, 첫 번째 행에는 원시영상, 주어진 원시영상에 대한 LBPE의 결과인 LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} , 그리고 두 번째 행에는 수식 (7), (8)의 EDF를 나타냈다. 그림에 보인 것처럼 잡음효과가 LBPE에 의해 사라지기 때문에 식



(a) 원시영상, LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} , 및 EDF

Frame no.	$\theta_{L_{in}}$	$\rho_{L_{in}}$	$\theta_{L_{out}}$	$\rho_{L_{out}}$	$\theta_{R_{in}}$	$\rho_{R_{in}}$	$\theta_{R_{out}}$	$\rho_{R_{out}}$
3	51	107	52	113	51	113	56	117
5	49	106	52	112	52	114	56	117
7	47	107	51	111	52	115	54	120
9	48	105	52	110	52	117	54	121

(b) (a)에서 주어진 영상에 대한 차선관련 정보

Fig. 13 Extraction of lane-related parameters for the images on a rainy day

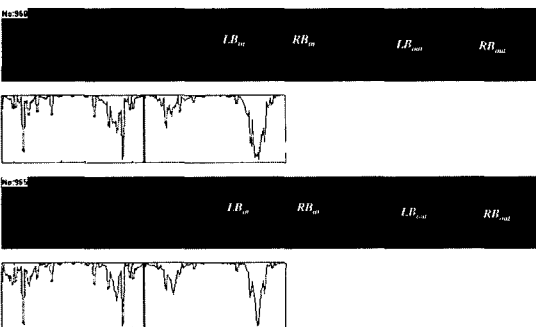


Fig. 14 Experimental results for the images in a nighttime

(8)의 EDF는 식 (7)의 EDF보다 매우 부드럽다. Fig. 13(b)는 Fig. 13(a)에서 주어진 영상에 대해 추출한 차선관련 정보를 나타낸 것이다.

Fig. 14는 야간에 촬영한 도로영상에 적용된 실험 결과를 보이고 있다. 첫 번째 행에는 원시영상과 주어진 원시영상에 적용된 LBPE로부터 얻은 LB_{in} , RB_{in} , LB_{out} , RB_{out} 가 있고, 두 번째 행은 수식 (7), (8)의 EDF들을 표시하였다. 그림에 보인 바와 같이 LBPE는 야간에도 차선경계상의 픽셀들을 아주 강인하게 추출함을 알 수 있다.

6. 결론

제안된 알고리즘의 주 목적은 다양한 조건하에서 차선관련 정보를 추출하는 것이다. LBPE, EDF, 그리고 HT는 이런 목적을 실현하는 데에 적절한 역할을 했다. LBPE가 발견적 접근방법을 토대로 했지만 자연의 도로영상에서 차선경계상의 후보픽셀을 강인하게 추출하였고, 차선표식의 내외측 픽셀들을 분류함으로써 차선관련정보의 다양성을 제고하는데에 크게 공헌하였다. HT의 경우 누적배열의 활용이 HT의 종래의 활용의 관점에서 보았을 때 증대한 공헌이 된다. 국부최대의 추출과 영상내에서 차선표식이 명백히 보이는지의 여부를 판단하는 데에 있어서의 활용이 좋은 예이다. EDF와 HT가 차선경계의 방향을 추출하는 공통의 목적이 있음에 따라 이들이 차선관련 정보 추출과 관련하여 신뢰성을 강화하기 위해 융합될 수 있음을 보였다.

제안된 알고리즘은 펜티엄4 3.2GHz 컴퓨터로 초당 15프레임의 처리속도를 보였고, 실험결과를 통해 입증하였듯이 다양한 도로조건하에서 성공적으로 수행될 수 있음을 또한 보였다.

후 기

이 논문은 2003년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) K. Sato, T. Goto and Y. Kubota, "A Study on a Lane Departure Warning System using a Steering Torque as a Warning Signal," Proc. AVEC'98, pp.479-484, 1998.
- 2) M. Brattoli, R. Tasca, A. Tomasini, E. Chioffi,

- D. Gerna and M. Pasotti, "A Vision-Based Alert System," Proc. IEEE Intelligent Vehicles 96, pp.195-200, 1996.
- 3) J. W. Lee, K. S. Kim, S. S. Jeong and Y. W. Jeon, "Lane Departure Warning System: Its Logic and On-board Equipment (20005331)," Proc. JSAE, Japan, pp.9-11, 2000.
 - 4) M. Bertozzi and A. Broggi, "Real-Time Lane and Obstacle Detection on the GOLD System," Proc. IEEE Intelligent Vehicles 96, pp.213-218, 1996.
 - 5) D. A. Pomerleau and T. Jochem, "Rapidly Adapting Machine Vision for Automated Vehicle Steering," IEEE Expert Intelligent Systems and Their App., April, pp.19-27, 1996.
 - 6) U. Hofmann, A. Rieder and E. D. Dickmanns, "EMS-Vision: Application to Hybrid Adaptive Cruise Control," Proc. IEEE Intelligent Vehicles 2000, pp.468-473, 2000.
 - 7) E. D. Dickmanns and A. Zapp, "Autonomous High Speed Road Vehicle Guidance by Computer Vision," Proc. IFAC 10th Triennial World Congress, pp.221-226, 1987.
 - 8) A. Broggi, "A Massively Parallel Approach to Real-Time Vision Based Road Marking Detection," Proc. IEEE Intelligent Vehicles 95, pp.84-89, 1995.
 - 9) D. A. Pomerleau, Neural Network Perception for Mobile Robot Guidance, Kluwer Academic, Boston, 1994.
 - 10) J. W. Lee, C. D. Kee and U. K. Yi, "A New Approach for Lane Departure Identification," Proc. IEEE Intelligent Vehicles 03, pp.100-105, 2003.
 - 11) J. W. Lee, "A Machine Vision System for Lane-Departure Detection," CVIU, Vol.86, pp.52-78, 2002.
 - 12) A. D. Bimbo, L. Landi and S. Santini, "Determination of Road Directions using Feedback Neural Nets," Signal Process. Vol.32, pp.147-160, 1993.
 - 13) J. D. Crisman and C. E. Thorpe, "SCARF: A Color Vision System that Tracks Roads and Intersections," IEEE Trans. Robotics Automat., Vol.9, No.1, pp.49-58, 1993.
 - 14) J. W. Lee, U. K. Lee, and K. R. Baek, "A Cumulative Distribution Function of Edge Direction for Road Lane Detection," IEICE, Vol.E84-D, No.9, pp.1206-1216, 2001.
 - 15) R. G. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1992.
 - 16) U. K. Yi, R. B. Baek and J. W. Lee, "Determination of Road Quality Using Fuzzy Neural Network," ICASE, Vol.8, No.6, pp.468-476, 2002.
 - 17) J. W. Lee, "A Fuzzy Neural-Network Algorithm for Noisiness Recognition of Road Images," Transactions of KSAE, Vol.10, No.5, pp.147-159, 2002.
 - 18) O. Faugeras, Three-Dimensional Computer Vision A Geometric Viewpoint, The MIT Press, 1993.
 - 19) K. Yamada, T. Nakano and S. Yamamoto, "A Vision Sensor Having an Expanded Dynamic Range for Autonomous Vehicles," IEEE Trans. On Vehicular Tech., Vol.47, No.1, pp.332-341, 1998.