

센서 구성을 고려한 비전 기반 차선 감지 시스템 개발

박재학¹⁾ · 홍대건¹⁾ · 허건수^{*2)} · 박장현²⁾ · 조동일³⁾

한양대학교 정밀기계공학과¹⁾ · 한양대학교 기계공학부²⁾ · 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부³⁾

Development of A Vision-based Lane Detection System with Considering Sensor Configuration Aspects

Jaehak Park¹⁾ · Daegun Hong¹⁾ · Kunsoo Huh^{*2)} · Jahngnyon Park²⁾ · Dongil Cho³⁾

¹⁾Department of Precision Mech. Eng., Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

³⁾School of Electrical Eng. and Computer Sci. Seoul National Univirsity, Seoul 151-742, Korea

(Received 11 November 2004 / Accepted 20 April 2005)

Abstract : Vision-based lane sensing systems require accurate and robust sensing performance in lane detection. Besides, there exists trade-off between the computational burden and processor cost, which should be considered for implementing the systems in passenger cars. In this paper, a stereo vision-based lane detection system is developed with considering sensor configuration aspects. An inverse perspective mapping method is formulated based on the relative correspondence between the left and right cameras so that the 3-dimensional road geometry can be reconstructed in a robust manner. A new monitoring model for estimating the road geometry parameters is constructed to reduce the number of the measured signals. The selection of the sensor configuration and specifications is investigated by utilizing the characteristics of standard highways. Based on the sensor configurations, it is shown that appropriate sensing region on the camera image coordinate can be determined. The proposed system is implemented on a passenger car and verified experimentally.

Key words : Lane sensing(차선 감지), Inverse perspective mapping(역원근 변환), Sensor configuration(센서구성), FOV(Field of View), Resolution(해상도), Span pixel(스팬픽셀)

1. 서론

차선감지 시스템은 운전자에게 차선 이탈의 가능성을 경고하거나, 필요하다면 운전자의 조향 입력에 추가적인 조향 입력을 부가하여 차선 이탈 방지를 가능하게 해주는 차선 이탈 경고/방지 시스템(Lane departure warning/avoidance system)의 필수적인 부분이다. 비전센서를 기반으로 한 차선감지 시스템은 도로상의 차선 마커를 제외한 어떠한 추가

적인 인프라도 필요하지 않는다는 장점이 있으나 보다 정확하고 강인한 감지 성능이 요구되며 실시간 이미지 처리를 위하여 연산시간 및 프로세서의 비용도 고려되어야 한다. 이러한 비전센서를 이용한 차선 감지 연구에서 다양한 이미지 처리 기법 및 차선 감지 알고리즘이 개발되어 왔다.¹⁻⁸⁾

예로, 단지 비전 이미지만을 바탕으로 차선을 검출한 연구가 있었는데 이는 복잡한 이미지 처리 과정이 필요하다.^{1,2)} 그리고 이미지 처리의 연산시간을 줄이고, 고속도로 주행에서 적용하기 위하여 차

*To whom correspondence should be addressed.
khuh2@hanyang.ac.kr

선 모델을 제안하고 그 모델의 파라미터를 추정하여 차선을 감지하는 방법이 연구되었다.³⁻⁷⁾ 도로가 평면이라 가정하고 싱글 카메라를 사용하여 차선을 감지하는 방법이 연구되었는데,^{3,4)} 이는 일반적인 비평면 도로에서는 한계를 가진다. 따라서 비평면 도로에 대한 3차원 차선감지를 위하여 싱글 카메라를 이용한 연구⁵⁾와 스테레오 카메라를 이용한 연구⁷⁾가 수행되었고 이를 통하여 3차원 도로 형상이 재구성 되었다. 이 경우에 차선감지 알고리즘의 강인성과 이미지 처리 연산 시간은 중요한 요소이다.

비전기반 차선감지 시스템의 성능은 카메라의 스펙, 장착위치, 캘리브레이션 데이터 및 차선 모니터링 알고리즘 등에 의존한다. 카메라의 스펙 및 장착 위치는 FOV (Field Of View), 카메라의 해상도 등의 카메라 특성과 곡률의 범위 및 차선 마커의 형태 등과 같은 차선의 특성을 기반으로 결정되어 질 수 있다. 그리고 캘리브레이션 데이터는 크기를 이미 알고있는 사물의 촬상된 이미지로부터 구할 수가 있다.⁹⁾ 차선 모니터링 알고리즘은 칼만필터(Kalman filter)와 같은 추정기법을 사용하여 비평면 도로, 차량 속도 변화 및 날씨 조건 등에 강한 성능을 갖도록 설계할 수 있다. 그런데 기존의 연구에서 카메라의 스펙 및 장착위치에 대한 영향의 연구는 드문 형편이다.

본 논문에서는 카메라의 스펙 및 장착위치를 고려한 비전 기반 차선감지 시스템이 개발되었다. 스테레오 카메라를 사용하였으며, 좌측 카메라 및 우측 카메라의 상대적인 위치를 기반으로 두개의 2차원 이미지로부터 3차원 공간으로의 역원근 변환 방법이 개발되었다. 그리고 감지 되어질 차선의 특성으로부터 카메라의 스펙 및 장착위치를 결정하는 방법을 제안하였으며, FOV 및 차선 마커 형태를 바탕으로 이미지 평면에서 적절한 센싱 영역을 결정하였다. 제안된 차선감지 시스템을 실제 차량에 구성하였고, 수평곡률의 정보를 알고있는 고속도로 상에서 주행하는 경우 그 성능을 실험적으로 검증하였다.

2. 차선감지 시스템

본 논문에서 제안하는 차선감지 시스템의 구성은

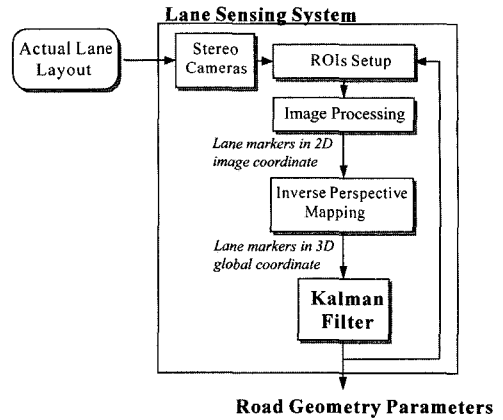


Fig. 1 The Structure for lane recognition

Fig. 1과 같으며, 스테레오 카메라, ROI(Region Of Interest) 결정, 이미지 처리, 역원근 변환, 및 칼만필터로 구성되어 있다. 수평으로 설치된 스테레오 카메라가 일련의 차선 이미지를 획득하고, 설정된 ROI 내에서 차선 마커들을 검출하며, 이들을 역원근 변환을 통해 글로벌 좌표계로 변환한다. 변환된 3차원 좌표값을 바탕으로 3차원 차선 모델을 구성하고 칼만필터를 사용하여 차선 모델의 파라미터를 추정한다. 그리고 추정된 차선 형상은 다시 ROI를 설정하는데 사용된다.

2.1 역원근 변환

차선 감지 시스템에서 감지되는 차선 파라미터 값들은 글로벌 상태에서의 절대값들이 필요하므로 이를 위해 이미지 상의 차선 마커를 3차원 글로벌 좌표계로의 변환이 수행되어야 한다. 역원근 변환은 2차원 이미지 평면의 차선 마커에서 원근효과를 제거하여 3차원 글로벌 좌표계로 변환하는 것으로, 본 논문에서 사용한 좌표계는 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 (X_g, Y_g, Z_g) 는 차량의 질량 중심을 지면에 투영시킨 글로벌 좌표계로서 지표면에 부착되어 있다. 이미지 상에서 차선마커 탐색은 edge detection 과 template matching 기법을 사용하였으며 스테레오 이미지의 역원근 변환시 중요한 좌/우 이미지에서 동일점 탐색(correspondence detection)은 왼쪽 카메라와 오른쪽 카메라의 상대적인 위치벡터(T_r)와 회전행렬(R_r)을 바탕으로 epipolar constraint 방법 사용하여 수행하였다.

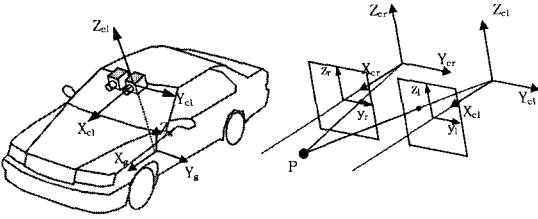


Fig. 2 Coordinate systems

Fig. 2에서 한 점 P는 식 (1)과 식 (2)와 같이 핀홀 모델을 사용하여 정규화된 왼쪽 및 오른쪽 이미지 좌표계로 변환된다.

$$\begin{bmatrix} y_l \\ z_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{cl} / X_{cl} \\ Z_{cl} / X_{cl} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{cr} / X_{cr} \\ Z_{cr} / X_{cr} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, (X_{cl}, Y_{cl}, Z_{cl}) 과 (X_{cr}, Y_{cr}, Z_{cr}) 은 각각 왼쪽 및 오른쪽 카메라 좌표계를 나타내고, (y_l, z_l) 및 (y_r, z_r) 은 각각 왼쪽과 오른쪽의 정규화된 이미지 좌표계이다. 정규화된 이미지 좌표계는 카메라의 내부 파라미터(intrinsic parameter)를 사용하여 식 (3), (4)와 같이 픽셀 좌표계로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{pl} &= f_{cl} (y_l + \alpha_{cl} z_l) + c_{1l} \\ z_{pl} &= f_{c2l} z_l + c_{2l} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y_{pr} &= f_{clr} (y_r + \alpha_{cr} z_r) + c_{1r} \\ z_{pr} &= f_{c2r} z_r + c_{2r} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, (y_p, z_p) 는 픽셀 좌표계를 나타내고, f_c 는 초점거리를 나타낸다 그리고 α_c 는 CCD 센서 축의 각도를 나타내며 (c_1, c_2) 는 센서축의 중심점 좌표계이다. 첨자 l 및 r 는 각각 왼쪽 및 오른쪽 카메라를 의미한다. 식 (1)에서 식 (4)를 바탕으로 픽셀 좌표계는 식 (5), (6)과 같이 카메라 좌표계로 변환된다.

$$X_{cl} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{bmatrix} = X_{cl} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_{1l} & f_{cl} & \alpha_{cl} f_{cl} \\ c_{2l} & 0 & f_{c2l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Y_{cl} / X_{cl} \\ Z_{cl} / X_{cl} \end{bmatrix} = K_l \begin{bmatrix} X_{cl} \\ Y_{cl} \\ Z_{cl} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$X_{cr} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pr} \\ z_{pr} \end{bmatrix} = X_{cr} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_{1r} & f_{clr} & \alpha_{cr} f_{clr} \\ c_{2r} & 0 & f_{c2r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Y_{cr} / X_{cr} \\ Z_{cr} / X_{cr} \end{bmatrix} = K_r \begin{bmatrix} X_{cr} \\ Y_{cr} \\ Z_{cr} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, K_l 과 K_r 은 카메라의 내부 파라미터로 구성된 변환행렬이다. 글로벌 좌표계로부터 카메라 좌표계로의 변환은 카메라의 위치를 나타내는 카메라의 외부 파라미터(extrinsic parameter)를 사용하여 식 (7), (8)과 같이 표현된다. 기존의 연구에서는 스테레오 카메라가 정확히 평행하다는 가정을 하였으나 본 논문에서는 정확한 좌표변환을 이러한 가정 없이 왼쪽 및 오른쪽 카메라 사이의 위치벡터와 회전행렬을 구하여 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{cl} \\ Y_{cl} \\ Z_{cl} \end{bmatrix} = R_{gl} \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} - T_{gl} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} X_{cr} \\ Y_{cr} \\ Z_{cr} \end{bmatrix} = R_{br} \begin{bmatrix} X_{cl} \\ Y_{cl} \\ Z_{cl} \end{bmatrix} - T_{br} = R_{br} \left(R_{gl} \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} - T_{gl} \right) - T_{br} \quad (8)$$

여기서, T_{gl} 과 R_{gl} 는 각각 글로벌 좌표계로부터 왼쪽 카메라 좌표계의 위치벡터 및 회전행렬이며, T_{br} 과 R_{br} 는 각각 왼쪽 및 오른쪽 카메라 좌표계사이의 위치벡터 및 회전행렬을 나타낸다. 식 (5)에서 식 (8)을 바탕으로 글로벌 좌표계로부터 픽셀 좌표계로의 변환은 다음식과 같이 표현될 수 있다.

$$X_{cl} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{bmatrix} = K_l R_{gl} \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} - T_{gl} \quad (9)$$

$$X_{cr} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pr} \\ z_{pr} \end{bmatrix} = K_r R_{br} \left(R_{gl} \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} - T_{gl} \right) - T_{br} \quad (10)$$

위 식들을 바탕으로 2차원 픽셀 좌표계에서 3차원 글로벌 좌표계로의 최종 역원근 변환은 식 (11)과 같이 표현되며, 이 식으로부터 X_{cr} 값 및 X_{cl} 값을 구하고, 글로벌 좌표값을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = R_{gl}^{-1} K_l^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pl} \\ z_{pl} \end{bmatrix} + T_{gl} = R_{gl}^{-1} \left(R_{br}^{-1} K_r^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ y_{pr} \\ z_{pr} \end{bmatrix} + T_{br} \right) + T_{gl} \quad (11)$$

역원근 변환 및 좌/우 이미지에서의 동일점 탐색에 필요한 카메라의 내부/외부 파라미터는 카메라 캘리브레이션을 통하여 얻을 수 있다.

2.2 모델기반 차선 감지

차선의 형상은 일반적으로 다항식들의 조합으로 표현할 수 있으며 그 다항식의 계수들은 차선의 곡률, 차량중심과 차선과의 거리, 차량과 차선이 이루는 각 등의 파라미터를 나타낸다.³⁻⁷⁾ 일정한 곡률을 가지는 차선의 경우 2차 다항식으로 표현할 수 있으며,⁶⁾ 3차원 차선 형상은 수평 차선 모델과 수직 차선 모델의 선형 조합으로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 수평/수직 차선 모델을 곡률이 천천히 변한다는 가정 하에 다음과 같이 2차 다항식을 사용하였다.

$$Y_g(X_g) = c_{h0} + c_{h1}X_g + c_{h2}X_g^2/2 \quad (12)$$

$$Z_g(X_g) = c_{v0} + c_{v1}X_g + c_{v2}X_g^2/2 \quad (13)$$

여기서, c_{h0} 는 차량과 차선간의 횡방향 거리, c_{h1} 는 차량과 차선이 이루는 각 그리고 c_{h2} 는 수평곡률을 나타낸다. 그리고, c_{v0} 는 카메라 높이, c_{v1} 는 차량의 피칭각의 *tangent* 값 그리고 c_{v2} 는 수직곡률을 나타낸다. 식 (12), (13)에서 차선 파라미터들의 동적 변화는 차속을 등속도로 가정하여 미분방정식을 유도할 수 있다.⁹⁾ 이 경우 차량의 직진속도 및 요속도의 측정값이 요구된다. 본 논문에서는 차선의 수평곡률 및 수직곡률을 주 감지 요소로 선정하고, 이들이 고속도로에서는 천천히 변한다고 가정하여, 식 (14)와 같은 간략화된 모델을 구성하였다.

$$\begin{bmatrix} c_{h0}(k+1) \\ c_{h1}(k+1) \\ c_{h2}(k+1) \\ c_{v0}(k+1) \\ c_{v1}(k+1) \\ c_{v2}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{h0}(k) \\ c_{h1}(k) \\ c_{h2}(k) \\ c_{v0}(k) \\ c_{v1}(k) \\ c_{v2}(k) \end{bmatrix} \quad (14)$$

위 모델은 이미지 데이터를 제외한 어떠한 차량 운동의 데이터가 필요하지 않으며, 실시간 연산에서도 장점이 있다. 식 (14)는 식 (15)와 같이 상태 방정식으로 표현 될 수 있으며 출력 방정식은 식 (16)과 같이 설정한다.

$$C_{k+1} = \Phi C_k + \Gamma u_k + w_k \quad (15)$$

$$Y_k = H C_k + v_k \quad (16)$$

여기서 w_k 와 v_k 는 각각 시스템 노이즈와 측정 노이즈를 나타낸다. 식 (16)의 출력 방정식에서 각 Y_k 와 H 는 식 (17)과 같다.

$$Y_k = \begin{bmatrix} Y_{1g} \\ \vdots \\ Y_{ng} \\ Z_{1g} \\ \vdots \\ Z_{ng} \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 1 & X_{1g} & X_{1g}^2/2 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{ng} & X_{ng}^2/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_{1g} & X_{1g}^2/2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_{ng} & X_{ng}^2/2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

여기서 n 은 ROI의 개수를 나타낸다. 식 (15) 및 식 (16)을 바탕으로 칼만필터를 설계하여 상태변수를 추정하면 차선의 파라미터를 추정할 수 있다.

3. 비전센서 구성(Configuration)

비전센서의 구성(vision sensor configuration)은 카메라의 초점거리, 해상도 및 픽셀크기 등과 같은 카메라의 스펙과 차량에 장착된 카메라의 높이 및 틸팅각 등과 같은 카메라 배치의 두 부분으로 특징지어질 수 있다. 이러한 비전센서의 구성은 Table 1에 나타난 한국 고속도로의 차선 특성을 바탕으로 결정되어야 한다.

Table 1 Highway characteristics (speed limit: 100 kph)

Maximum curvature (1/m)	Horizontal	1/460	
	Vertical	4/100	
Minimum lane width : L_{wl} (m)		3.5	
Lane maker shape	Solid	Thickness: L_{th} (m)	0.1~0.15
		Length: L_l (m)	10
	Dashed	Gap: L_g (m)	10
		Thickness: L_{th} (m)	0.1~0.15

3.1 FOV(Field of View)

일반적으로 비전센서의 FOV는 카메라의 장착 위치 및 스펙에 따라 Fig. 3과 같이 결정되며 수평 FOV는 w_1 과 w_2 의 너비 파라미터에 의해서 표현되고, 수직 FOV는 d_1 과 d_2 의 거리 파라미터로 표현될 수 있다. Fig.3에서의 기하학적 관계를 통하여 비전센서의 FOV의 너비와 거리 파라미터는 다음 식과 같다.

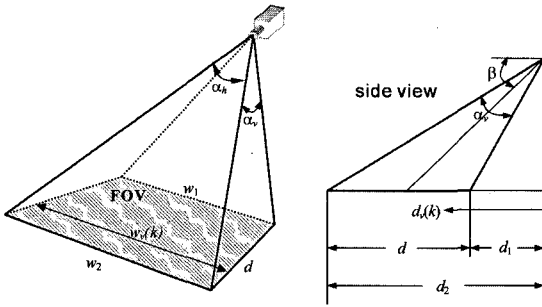


Fig. 3 FOV defined from camera geometry

$$d_v(k) = h_c \cdot \tan\left[\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) - \left(\frac{\alpha_v}{2} - k \cdot \frac{\alpha_v}{n_v}\right)\right]$$

$$w_v(k) = 2 \cdot \sqrt{d^2(k) + h_c^2} \cdot \tan\left(\frac{\alpha_h}{2}\right), \text{ where } k = 1 \sim n_v$$

$$\Rightarrow \begin{cases} d_v(k) = d_1, & w_v(k) = w_1, & \text{when } k = 0 \\ d_v(k) = d_2, & w_v(k) = w_2, & \text{when } k = n_v \end{cases} \quad (18)$$

여기서, h_c 와 b 는 각각 카메라의 높이 및 틸팅각을 나타낸다. 카메라의 수평 및 수직 입사각, α_h 와 α_v 는 카메라 스펙으로부터 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha_h = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{hCCD \times n_h}{2} \cdot \frac{1}{f}\right)$$

$$\alpha_v = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{vCCD \times n_v}{2} \cdot \frac{1}{f}\right) \quad (19)$$

여기서 $hCCD$ 와 $vCCD$ 는 각각 카메라의 수평 및 수직 픽셀 크기를 나타내고, n_h 와 n_v 는 각각 수평 및 수직 픽셀 개수를 나타낸다. 그리고 f 는 카메라 제조사에서 제공되는 초점거리이다.

비전기반 차선감지 시스템에서 요구되는 FOV는 Table 1에 나타난 차선의 특성값을 기준으로 결정되어진다. 요구되는 수평 FOV의 최대값은 차선의 폭, L_{wi} ,과 관계되며, 수평 여유값, h_{offset} ,은 곡선도로의 차선의 곡률과 관계된다. 그리고 요구되는 수직 FOV의 최대값은 점선 차선의 길이 및 차선 간의 간격에 의해서 계산되어진다.

$$w_{max} = (2 \cdot L_{wi} + h_{offset}) \cdot (1 + \epsilon_h)$$

$$d_{max} = (L_l + L_g) \cdot (1 + \epsilon_v) \quad (20)$$

여기서, w_{max} 와 d_{max} 는 효과적인 차선 감지를 위한

요구되는 FOV의 너비 및 거리를 나타내며, ϵ_h 와 ϵ_v 는 각각 수평 및 수직에 대하여 감지 오차에 대한 보정값이다.

3.2 해상도(Resolution)

차선감지 성능에 대한 비전센서의 수평 및 수직 해상도의 영향을 분석하였다. 비전센서의 이미지 해상도(image resolution)는 카메라의 수평 및 수직 픽셀의 개수로 정의되며, 공간 해상도(spatial resolution)는 이미지에서 단위 픽셀당 실제 물리적인 길이로 정의되는데, 수평 FOV가 식 (18)에 나타낸 것과 같이 이미지의 수직 위치에 따라 변하기 때문에 수평 공간 해상도는 다음 식과 같이 표현된다.

$$Rh_s(k) = w_v(k) / Rh_l \quad (21)$$

여기서, Rh_l 는 비전센서의 수평 이미지 해상도이고 $Rh_s(k)$ 는 이미지에서 수직위치 k 에 따른 수평 공간 해상도이다. 해상도와 관련된 중요한 변수로 스패 픽셀(span pixel)이 있는데 이는 이미지에서 측정하고자 하는 가장 작은 대상물에 걸치는 픽셀 개수를 나타내는 값으로 식 (22)와 같이 수평 공간 해상도에 대해서 계산되어진다.

$$F_p(k) = R_f / Rh_s(k) \quad (22)$$

여기서 R_f 는 비전센서로부터 감지하고자 하는 가장 작은 대상물을 나타내는 특징 해상도 (feature resolution)를 나타낸다. 그리고 일반적으로 스패 픽셀 F_p 는 이미지 필터링을 고려하여 5 픽셀 이상의 값을 가져야 한다.

3.3 비전센서 구성 결정

위 절에서 검토된 내용을 바탕으로 차선감지를 위한 비전센서의 스펙 및 배치를 결정하였다. 카메라는 640×480의 이미지 해상도를 가지는 Sony XC-55 CCD 카메라를 선정하고 16mm의 초점거리를 가진 렌즈를 장착시켰다. 그리고 약 1.2m 높이에 5°의 틸팅각으로 스테레오 카메라를 차량에 장착하였다. 이 경우 FOV의 너비 및 거리는 이미지의 수직 위치(픽셀)에 따라 식 (15)를 사용하여 계산하였으며, 그 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다. 그리고

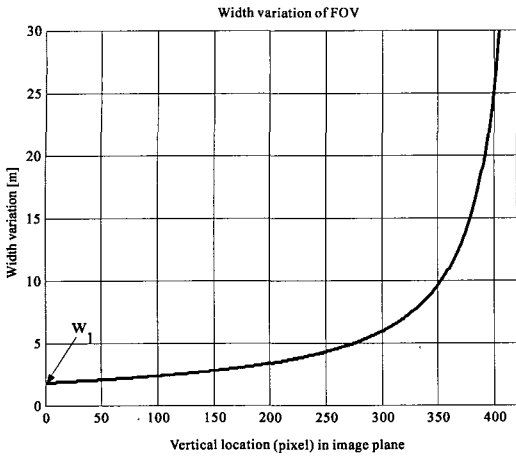


Fig. 4 Width of horizontal FOV

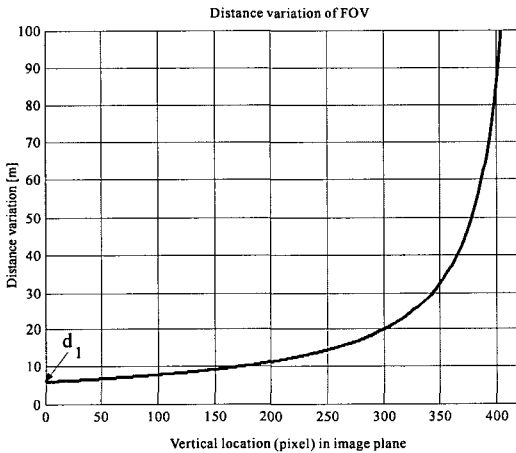


Fig. 5 Distance of vertical FOV

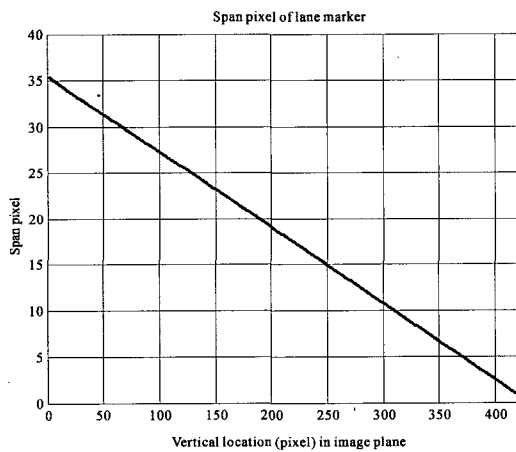


Fig. 6 Span pixel for detecting lane markers

식 (17)을 바탕으로, 측정오차를 10%로 가정하면 요구되는 최대 수평 및 수직 FOV는 각각 9m와 22m로 계산되어진다. 요구되는 최소 수평 FOV는 차선의 폭(3.5m) 보다는 커야 하기 때문에 이미지 평면에서 적절한 센싱 영역이 Fig. 4로부터 결정될 수 있으며, 그 영역은 이미지에서 수직 픽셀이 200th~350th 픽셀의 범위가 되어야 함을 알 수 있다. Fig. 5의 수직 FOV를 살펴보면 이미지의 수직 350th 픽셀 근처에서 약 26m(=32m-6m)의 수직 FOV 값을 가지며 따라서 수직 FOV 측면에서도 결정되어진 영역이 적절함을 확인할 수 있다. 그리고 식 (19)에서 특징 해상도를 Table 1에 나타난 차선의 두께로 고려하면, 스펠 픽셀값을 계산할 수 있고, 그 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 그럼에서 보듯이 본 논문에서 결정한 센싱 영역에서 스펠 픽셀값은 약 7~19 픽셀값을 가지므로 이미지 필터링을 고려하여도 차선 감지에 충분함을 확인할 수 있다.

3.4 카메라 캘리브레이션

카메라 캘리브레이션은 내부 파라미터 캘리브레이션(intrinsic parameter calibration)과 외부 파라미터 캘리브레이션(extrinsic parameter calibration)의 두 부분으로 나누어진다.

내부 캘리브레이션은 식 (5)와 (6)에 있는 K_f 과 K_r , 즉 카메라 내부의 초점거리(focal length)와 이미지 중심(principal point)등을 구하는 것이다. 본 논문에서는 카메라 캘리브레이션을 수행하기 위해서 정해진 크기의 격자무늬 판을 이용하였다. 각각의 모서리에 해당하는 지점의 픽셀 좌표계와 이미지 좌표계의 값을 구해서 내부 파라미터를 추정한다.⁹⁾ 내부 파라미터 캘리브레이션은 스테레오 카메라 두개의 각각에 대해서 수행하여야 한다.

외부 캘리브레이션은 글로벌 좌표계와 왼쪽 카메라 좌표계, 왼쪽 카메라 좌표계와 오른쪽 카메라 좌표계사이 각각의 위치벡터와 회전행렬(T_{gl} , R_{gl})과 (T_{lr} , R_{lr})을 구하는 것으로 두 단계로 나누어진다. 첫째는 글로벌 좌표계를 기준으로 한 왼쪽 카메라의 위치를 정하는 것으로 격자판을 도로 노면에 두고 이미지를 얻어 구할 수 있다.⁹⁾ 이 경우 캘리브레이션의 환경과 도로 영상을 획득한 환경의 차이가 발

생할 수 있는데 고속도로로 주행의 경우로 가정해서 필요한 변수들을 구하였다. 다음으로 왼쪽 카메라를 기준으로 한 오른쪽 카메라의 위치를 정하게 된다. 이것을 위해 왼쪽 카메라와 오른쪽 카메라의 스테레오 대응점을 이용한다. 식 (9)를 이용하며 격자판의 다수의 대응점에 대하여 최소자승법을 이용해서 위치벡터와 회전행렬을 구할 수 있다. 이 경우 그 결과는 차량의 움직임 및 캘리브레이션 환경에 영향을 받지 않는 장점이 있다.

4. 실시간 차선감지 실험

본 논문에서 제안한 차선 감지 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 차량에 스테레오 카메라를 수평으로 설치하고, 초당 30 프레임으로 이미지를 획득하도록 구성하였다.

실험은 경부고속도로의 상행선 청주에서 서울 사이의 차선의 곡률이 알려져 있는 구간에서 수행되었다. 실험에 사용된 구간은 오른쪽 회전, 직진 그리고 왼쪽 회전으로 순차적으로 구성되어 있으며 차속은 약 90~100km/h의 속도로 주행하였다. Fig. 7은 스테레오 카메라의 이미지에서 역원근 변환 및 차선 파라미터 추정을 통해 얻어진 결과로부터 차선을 3차원으로 재구성한 그림을 나타낸다. 그리고 Fig. 8은 실제 이미지에 다시 fitting 한 결과이다.

차량과 차선간의 거리, 수평곡률 및 수직곡률의 추정 결과는 Fig. 9~ Fig. 11에 각각 나타내었다. Fig. 9의 차량과 차선간의 거리 추정 결과의 경우 운전자가 최대한 차선의 중앙을 따라 주행했으므로 실제 값은 알 수 없으나 타당한 추정결과를 보여주고 있으며 Fig. 10의 수평곡률은 어느 정도 노이즈는 있지

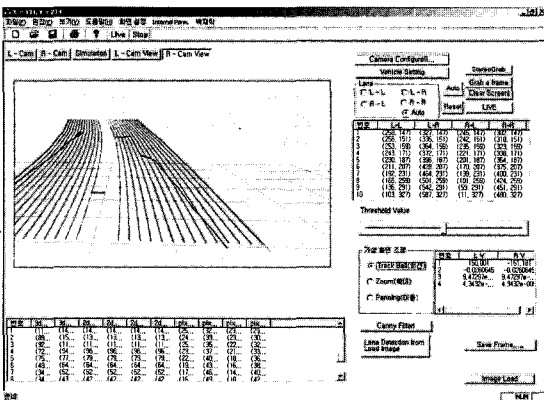


Fig. 7 Re-constructed view

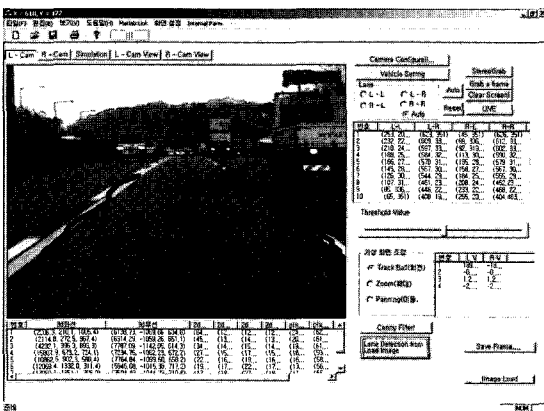


Fig. 8 Real lane image with fitted lane

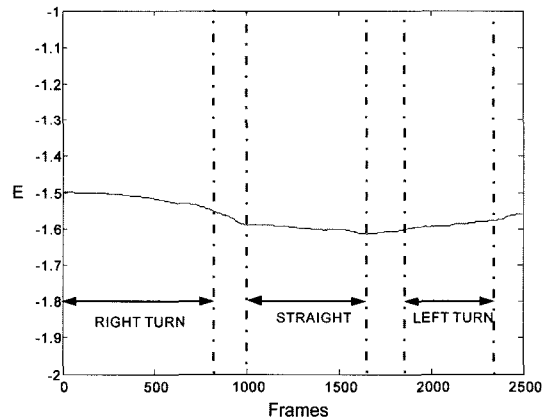


Fig. 9 Lateral offset

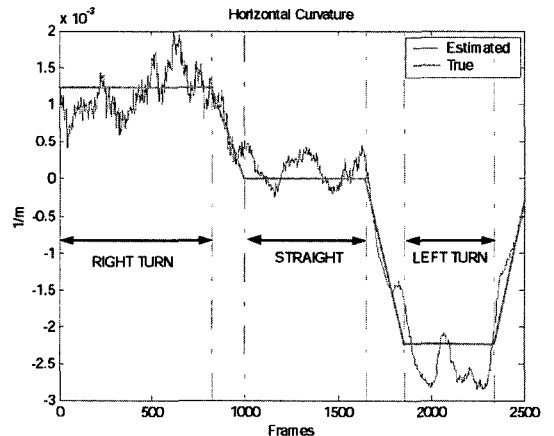


Fig. 10 Horizontal curvature from experiments

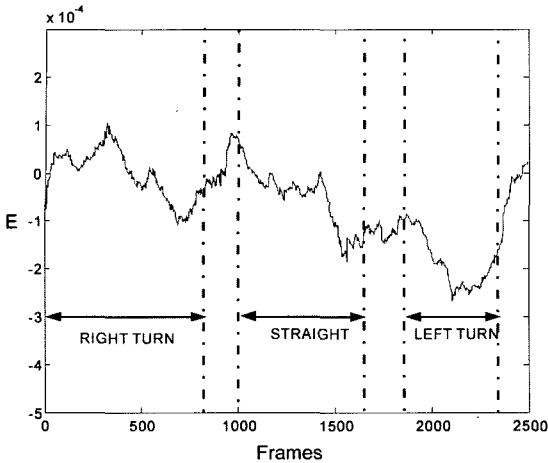


Fig. 11 Vertical curvature from experiments

만 실제값을 잘 추정함을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 11의 수직 곡률의 경우 실제값은 알 수 없으나 실험 구간이 거의 평평한 구간이므로, 추정값이 거의 0에 가까운 값을 추정함을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 카메라 스펙 및 배치의 센서구성을 고려한 스테레오 카메라 기반의 차선감지 시스템을 제안하였다. 좌측 및 우측 카메라의 상대적인 위치를 캘리브레이션하여 이를 역원근 변환에 적용하였으며 차선 감지에서 측정변수를 줄이기 위하여 간략화된 모니터링 모델을 구성하였다. 그리고 카메라의 구성에 따른 FOV의 변화특성을 분석하였고, 이를 이용하여 카메라의 해상도 및 스펙 픽셀 등의 요소와의 상관관계를 도출하였으며, 감지되어질 차선의 특성을 바탕으로 차선 감지에 요구되는 FOV를 계산하였다. 분석된 카메라 구성 요소들 사이의 관계를 통하여 획득된 이미지에서 적절한 센싱 영역을 결정하였다. 제안된 차선 감지 시스템을 실차에 적용하여 실험을 수행하였고 수평곡률 등의 차선 감지 성능은 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음(과제번호: R01-2003-000-10109-0).

References

- 1) M. Bertozzi and A. Broggi, "GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.7, No.1, pp.62-81, 1998.
- 2) D. Pomerleau, "RALPH: Rapidly Adapting Lateral Position Handler," *Proc. IEEE IVS*, pp.506-511, 1995.
- 3) A. Takahashi and Y. Ninomiya, "Model-Based Lane Recognition," *Proc. IEEE IVS*, pp.162-166, 1996.
- 4) J. Goldbeck and B. Huertgen, "Lane Detection and Tracking by Video Sensors," *IEEE International Conference on ITS*, pp.74-79, 1999.
- 5) E. D. Dickmanns and B. D. Mysliwetz, "Recursive 3-D Road and Relative Ego-state Recognition," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.14, No.2, pp.199-213, 1992.
- 6) C. F. Lin and A. G. Ulsoy, "Lane Geometry Reconstruction: Least Square Curve Fit Versus Kalman Filter," *ASME Advanced Automotive Technologies, DSC-Vol.56/DE-Vol.86*, pp.63-70, 1995.
- 7) K. Huh and Y. Park, "Development of a Robust Lane Sensing System using Vision Sensors," *Proc. of AVEC*, pp.769-774, 2002.
- 8) J. Park, J. Lee, K. Jhang, J. Jung and K. Ko, "The Detection of the Lane Curve using the Lane Model on the Image Coordinate Systems," *Transactions of KSAE*, Vol.11, No.1, pp.193-200, 2003.
- 9) S. Ernst, C. Stiller, J. Goldbeck and C. Roessig, "Camera Calibration for Lane and Obstacle Detection," *IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp.356-361, 1999.
- 10) Z. Zhang, "Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations," *7th IEEE Int. Conf. on Computer Vision*, pp.666-673, 1999.
- 11) J. Heikkilä, O. Silvén, "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction," *IEEE Computer Society Computer Vision and Pattern Recognition Conf.*, pp.1106-1112, 1997.