

스테레오 비전센서를 이용한 차선감지 시스템 연구

허건수[†] · 박재식* · 이광운** · 박재학***

(2002년 12월 20일 접수, 2004년 1월 17일 심사완료)

A Study on Lane Sensing System Using Stereo Vision Sensors

Kunsoo Huh, Jaesik Park, Kwangwoon Rhee and Jaehak Park

Key Words : Lane Sensing(차선 감지), Robustness(강인성), Kalman Filter(칼만 필터), Stereo Vision Sensor (스테레오 비전 센서), Inverse Perspective Mapping(역원근 변환)

Abstract

Lane Sensing techniques based on vision sensors are regarded promising because they require little infrastructure on the highway except clear lane markers. However, they require more intelligent processing algorithms in vehicles to generate the previewed roadway from the vision images. In this paper, a lane sensing algorithm using vision sensors is developed to improve the sensing robustness. The parallel stereo-camera is utilized to regenerate the 3-dimensional road geometry. The lane geometry models are derived such that their parameters represent the road curvature, lateral offset and heading angle, respectively. The parameters of the lane geometry models are estimated by the Kalman filter and utilized to reconstruct the lane geometry in the global coordinate. The inverse perspective mapping from the image plane to the global coordinate considers roll and pitch motions of a vehicle so that the mapping error is minimized during acceleration, braking or steering. The proposed sensing system has been built and implemented on a 1/10-scale model car.

1. 서 론

현재 진행되고 있는 ITS 연구는 운전자의 운전 부담을 경감시켜 운행의 편의성을 제공하고, 차량 자동 제어 서비스를 통한 자동 운전 서비스를 실현함으로써 안정성을 극대화시키고 도로 용량의 증대도 도모할 수 있는 첨단 고속도로 교통관리 시스템, 차량 항법 시스템, 지능형 자율 주행 차량, 그리고 자동 도로 시스템 개발등에 이르기까지 여러 분야에서 연구가 수행중이다. 이러한 연구에서 차선감지 부분은 기본적으로 필요하며 미리 도로를 예측하고 그에 대한 차선 마커의 측정을 위한 감지 기술이 중요시 되고있다. 다양한 차선감지

기술들 중 도로에 자석을 매설하여 자기장의 변화를 감지하는 방법이 있는데, 이는 신뢰성은 높은 반면 기존의 고속도로 인프라를 사용할 수 없어 비용이 많이 드는 단점이 있다.

최근에 차선 감지 방법으로 컴퓨터 비전을 이용하는 방법이 많이 연구되어 오고 있는데, 이는 환경적인 요인에 의해 성능이 크게 좌우되어 신뢰성이 확보되지 못하는 단점이 있지만 기존의 인프라를 사용하여 비용이 자석을 매설하여 차선을 인식하는 방법보다 훨씬 저렴하다는 장점이 있다. 따라서 최근에는 컴퓨터 비전을 이용한 방법의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구에 초점이 맞추어지고 있다. 이러한 연구방법중에 고속도로에서 비전센서의 강인성(robustness)을 향상시키기 위한 모델 기반의 차선 감지 방법이 있다. Takahashi^(1,2)는 싱글 카메라를 사용하여 일반적인 도로에도 적용가능한 비선형 차선모델을 제시하였고, 확장된 칼만 필터를 이용하여 차선 파라미터를 추정하였다. 그러나 싱글 카메라를 이용하여 차선모델을 구성하는데 한계가 있어 이미지의 특정 영역만 설정하였

[†] 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부
Email : khuh2@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2290-0437 FAX : (02)2295-4584
^{*} 다이모스㈜ 기술연구소
^{**} ㈜우영 생산기술센터
^{***} 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

고 3차원 차선 설정을 위한 파라미터 추정에는 많은 어려움이 있었다. Dickmanns⁽³⁾은 3차원 차선 모델을 재구성하여 차선의 곡률(curvature)과 그 변화율을 이용한 차선 모델을 제시하였고, 근거리, 원거리 스테레오 카메라를 이용하였다. 또한 Lin⁽⁴⁾ 등은 고속도로에 적합한 2차 다항식의 단순화된 차선 모델을 제시하였고, 칼만 필터와 최소자승법을 이용하여 그 성능을 비교하였다. 그러나 차량의 운동에 의한 영향은 보상하지 않은 단점이 있다. 따라서 선행된 연구에서는 고속도로 주행에 적합한 간단한 2차 다항식의 차선 모델과 차량의 동역학적 특성을 고려한 방식을 제안하고 싱글 카메라를 이용한 차선 감지 알고리즘을 개발하였다.⁽⁵⁾ 그러나 지면을 평면이라고 가정하여, 경사면이 있는 3차원 도로에서는 적합하지 않았다.

이에 본 연구에서는 Dickmanns⁽³⁾에서처럼 다른 FOV (Field Of View)를 가지는 것이 아니라, 같은 FOV를 갖는 스테레오 비전에 의해 이미지의 깊이 정보를 계산하고 이를 이용해 3차원 도로의 차선 모델을 구성하였고, 왼쪽과 오른쪽 영상에 대해 각각 칼만 필터를 사용하여 차선 모델의 파라미터를 추정하였으며, 추정된 파라미터에 의해 ROI (Region of Interest)를 설정하여 영상 처리 시간을 단축시키도록 하였다. 2개의 영상 평면에서 검출된 차선 마커는 역원근 변환에 의해 글로벌 좌표계로 변환되고 이때 차량의 롤, 피치 운동을 고려하여 차선 감지 오차를 최소화하도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 역원근 변환과 칼만 필터를 이용한 차선 감지 시스템에 대해서 설명하였고 3장에서는 스테레오 이미지의 직선 경사면 및 평면 곡선도로의 시물레이션을 수행하였으며, 4장에서는 모델차를 통해 스테레오 비전 센서의 차선 감지 시스템의 성능을 검토하였다. 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

2. 차선 감지 시스템

2.1 차선 감지 시스템의 구조

본 논문에서는 칼만 필터를 이용한 차선 감지 시스템을 설계하였다. Fig. 1은 본 논문에서 제안하고 있는 스테레오 비전센서를 이용한 차선 감지 시스템의 블록 다이어그램이다. 블록 다이어그램은 비전 시스템, ROI설정, 역원근 변환, 칼만 필터 등으로 나눌 수 있다.

비전 시스템은 2대의 CCD 카메라를 평행하게 장착하여 도로의 왼쪽과 오른쪽의 이미지를 획득하였다. ROI설정은 영상 처리 시간을 단축시키기

위하여 가능한 작게 설정되도록 한다. 2대의 CCD 카메라로부터 도로의 영상을 획득한 후, 왼쪽과 오른쪽의 이미지에 대하여 각각 설정된 ROI 영역 내에서 영상 처리를 통해 구분된 차선 마커를 검출한다. 영상 평면에서 검출된 차선 마커는 역원근 변환을 통해 카메라 및 차량 좌표계의 단계를 거쳐 글로벌 좌표계로 변환된다. 차량이 곡선 또는 경사면 도로를 주행할 때에는 차량의 롤, 피치 운동에 의해 입력되는 도로의 영상이 실제 차선과 차이가 나므로 역원근 변환 시 롤과 피치를 보정한다.

칼만 필터는 차량에서 출력되는 횡 속도와 요우잉 속도 그리고 비전 시스템의 역원근 변환을 통해서 출력되는 3차원 차선마커를 입력으로 하여 차선을 표현하는 파라미터를 추정한다. 추정된 파라미터는 또한 ROI를 설정하는데 이용된다.

2.2 역원근 변환

원근 효과를 가진 입력 영상에서 역원근 변환을 이용하여 원근 효과를 제거하고 영상 평면의 위치 정보를 글로벌 좌표계의 위치 정보로 변환하면 글로벌 좌표계로 표현된 차선으로부터 차량의 상대 위치와 차선에 대한 차량의 방향 등을 쉽게 나타낼 수 있는 장점이 있다.

좌표계 설정은 Fig. 2와 같으며 (X_g, Y_g, Z_g) 는 차량의 질량 중심을 지면에 투영시킨 글로벌 좌표계로서 지표면에 부착되어 있다. (X_v, Y_v, Z_v) 는 차량 좌표계로 원점은 차량의 질량 중심에 있으며, 차량과 같이 움직이게 된다. 그리고 이 차량 좌표계는 글로벌 좌표계에 대해서 h_{cg} 높이에 있고 차량의 롤, 피치 운동에 의해 차량 좌표계의 X축, Y축을 중심으로 각각 ϕ, θ 만큼 기울어져 있다. (X_{c1}, Y_{c1}, Z_{c1}) 과 (X_{c2}, Y_{c2}, Z_{c2}) 는 각각 왼쪽, 오른쪽 카메라 좌표계로서 카메라에 고정되어 있는 좌표계이다. 이는 차량 좌표계에 대해서 $(l, B/2, h)$ 와 $(l, -B/2, h)$ 만큼 떨어져 있고, 카메라 좌표계의 Y축을 중심으로 β 만큼 기울어져 있다. (y_1, z_1) 과 (y_2, z_2) 는 왼쪽, 오른쪽 영상 좌표계이다.

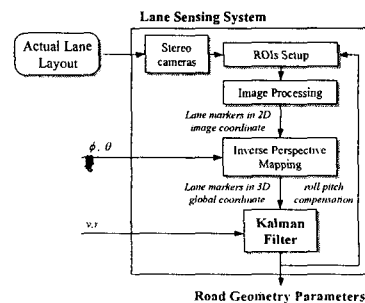


Fig. 1 The structure for lane recognition

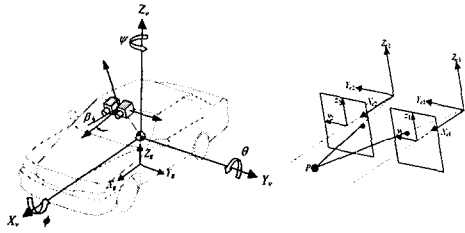


Fig. 2 Coordinate systems

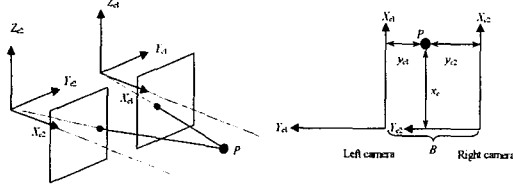


Fig. 3 Stereo camera

따라서 이차원의 이미지는 핀 홀 카메라 모델에 의해서 카메라 좌 표계로 변환이 되고 다시 차량 좌표계로 바뀌게 된다.

스테레오 카메라의 경우 본 논문에서는 Fig. 3과 같이 두 대의 카메라가 Y축 방향으로 B만큼 떨어져 있고 X축 및 Z축으로 평행하게 설치되어 있다. 이 경우 Fig. 3의 한 점 P의 좌,우측 영상 평면의 좌표는 카메라 핀홀(pin hole) 모델에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$y_1 = \lambda Y_{c1} / X_{c1} \tag{1}$$

$$z_1 = \lambda Z_{c1} / X_{c1}$$

$$y_2 = \lambda Y_{c2} / X_{c2} \tag{2}$$

$$z_2 = \lambda Z_{c2} / X_{c2}$$

여기서 λ 는 초점 거리이다. 그리고 Fig. 3에서처럼 왼쪽 영상 평면과 오른쪽 영상 평면이 yz평면에 수평이고 같은 높이에 있으며 두 카메라가 서로 B만큼 떨어져 있으므로 다음의 관계가 성립한다.

$$X_{c1} = X_{c2} = X_c$$

$$Z_{c1} = Z_{c2} = Z_c$$

$$Y_{c2} - Y_{c1} = B$$

두 개의 카메라에 의한 스테레오 이미지의 매칭은 기본적으로 epipolar constraint를 사용하였으며, parallel 타입의 스테레오 카메라를 사용하였기 때문에 이미지 좌표계에서 y축에 평행하게 스캔 라인을 형성하여서 그 구간에서 동일한 지점의 차선 마커를 검출하여 매칭시켰다.

식 (1), (2)로부터,

$$Y_{c2} - Y_{c1} = y_2 x_c / \lambda - y_1 x_c / \lambda = B$$

이며, 다음의 관계식이 성립한다.

$$X_c = \frac{\lambda B}{y_2 - y_1}, Y_{c1} = \frac{y_1}{\lambda} X_c, Z_c = \frac{z_1}{\lambda} X_c \tag{3}$$

왼쪽 카메라 좌표계에서 차량 좌표계로, 그리고 차량 좌표계에서 글로벌 좌표계로의 변환은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \\ B/2 \\ h \end{bmatrix} + R_c \begin{bmatrix} X_{c1} \\ Y_{c1} \\ Z_{c1} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_{cg} \end{bmatrix} + R_v \begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{bmatrix} \tag{5}$$

여기서 R_c 는 카메라 틸트 각(tilt angle)에 의한 카메라의 회전 행렬(rotation matrix)이고 R_v 는 차량의 롤, 피치 운동에 의한 차량 회전 행렬이다.

2.3 칼만 필터를 이용한 차선 모델

일반적으로 차선모델의 곡률, 차량중심과 차선과의 거리, 차량과 차선이 이루는 각 등과 같은 도로의 정보는 다항식들의 조합으로 표현할 수 있다. 직선 도로는 1차식으로 나타낼 수 있고, 수평 차선 모델에 대해서 곡률이 일정한 도로는 2차식을 사용하여 표현할 수 있다.

3차원 도로는 수평 및 수직차선의 곡률이 모두 존재한다. 따라서, 3차원 도로 모델을 단순화 하기 위해 수평 및 수직차선의 곡률을 각각 분리할 수 있다고 가정하면, 좌표계에 대하여 고속도로의 차선은 다항식을 사용하여 근사화 할 수 있다. [4]에서 제시된 차선 모델은 싱글 카메라를 이용해서 수평 곡률만을 나타낸다. 그래서 스테레오 카메라에 적용할 수 있도록 확장해서 수직 곡률을 나타내는 c_{v2} 를 도입하여 식 6을 만들고 이에 따라서 나머지 식을 전개하면 수평 차선과 수직 차선을 각각 2차식으로 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_g(x) = c_{h0} + c_{h1} X_g + c_{h2} X_g^2 / 2 \tag{6}$$

$$Z_g(x) = c_{v2} X_g^2 / 2$$

c_{h0} : 차량 중심과 차선과의 거리(lateral offset)

c_{h1} : 차량과 차선이 이루는 각(heading angle)

c_{h2} : 수평차선 곡률(horizontal curvature)

c_{v2} : 수직차선 곡률(vertical curvature)

차량 운동과 도로 형상의 변화에 따라 다항식의 파라미터들이 동적으로 변하게 되며, 수평 및 수직 곡률이 일정하면 다음과 같이 2차 다항식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{c}_{h0} \\ \dot{c}_{h1} \\ \dot{c}_{h2} \\ \dot{c}_{v2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{h0} \\ c_{h1} \\ c_{h2} \\ c_{v2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} \tag{7}$$

여기서 u 는 직진 속도, v 는 횡 속도, r 은 요우잉 속도이다. 식 (7)를 이산화하여 칼만 필터를 구성 하면 다음과 같다.¹⁷⁾

System dynamics:

$$C_{k+1} = \Phi C_k + \Gamma u_k + w_k \quad (8)$$

$$w_k \sim N(0, Q_k)$$

Measurement:

$$Y_k = H C_k + v_k \quad (9)$$

$$v_k \sim N(0, R_k)$$

Time update:

$$\hat{C}_k(-) = \Phi \hat{C}_{k-1}(+) + \Gamma u_{k-1} \quad (10)$$

Measurement update:

$$\hat{C}_k(+) = \hat{C}_k(-) + K_k(Y_k - H\hat{C}_k(-)) \quad (11)$$

Error covariance and Kalman gain:

$$P_k(-) = \Phi P_{k-1}(+) \Phi^T + Q_k \quad (12)$$

$$K_k = P_k(-) H^T [H P_k(-) H^T + R_k]^{-1}$$

$$P_k(+) = [I - K_k H] P_k(-)$$

여기서 측정값은 글로벌 좌표계의 차선 마커의 배열로 Y_k 와 H 는 다음과 같다.

$$Y_k = \begin{bmatrix} Y_{lg} \\ \vdots \\ Y_{ng} \\ Z_{lg} \\ \vdots \\ Z_{ng} \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & X_{lg} & X_{lg}^2/2 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{ng} & X_{ng}^2/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_{lg}^2/2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & X_{ng}^2/2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

칼만 필터는 식 (10)~(12)를 순차적으로 계산하여 칼만 필터 이득을 구하고 상태 변수를 추정한다. 측정 데이터가 없거나 신뢰할 수 없는 경우 칼만 필터는 식 (11)의 측정 업데이트(measurement update)는 수행하지 않고 식 (10)의 시간 업데이트(time update)만을 수행하여 상태 변수를 추정한다. 따라서 카메라의 시야 제한이나 그림자 등으로 인해 차선 마커를 감지하지 못하는 경우에도 효과적으로 차선 파라미터를 추정할 수 있다.

비전 시스템의 실시간 적용을 위해서는 영상 처리 시간이 중요한 문제가 된다. 차선 마커를 검출하기 위한 영상 처리 과정에서 입력 영상 전체영역을 처리할 경우 차선이 물리적으로 존재할 수 없는 불필요한 영역까지 처리함으로써 영상 처리 시간이 크게 증가한다. 특히 스테레오 카메라의 경우 싱글 카메라에 비해 2배 이상의 시간이 필요하다. 실제로 영상에서 차선이 존재하는 부분은 한정되어있고 특히 도로의 형상이 급격하게 변하지 않는다면 영상에 나타나는 도로의 형태는 거의 일정하게 된

다. 따라서 본 논문에서는 이러한 도로의 기하학적 특성과 칼만 필터에 의해 추정된 차선 파라미터를 이용하여 좌측 카메라의 이미지와 우측 카메라의 이미지의 각각 영상에 ROI(region of interest)를

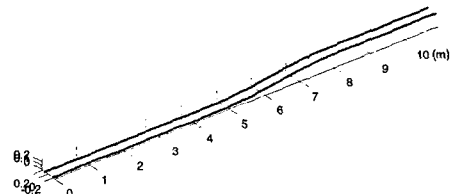
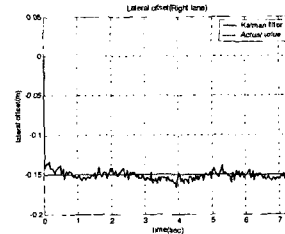
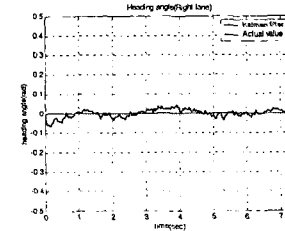


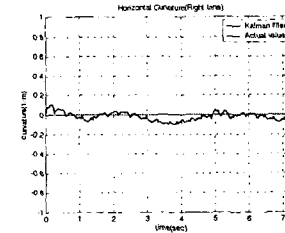
Fig. 4 Straight and Sloped road geometry



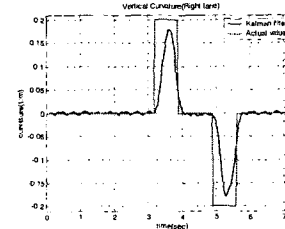
(a) Lateral offset (c_{h0})



(b) Heading angle (c_{h1})



(c) Horizontal curvature (c_{h2})



(d) Vertical curvature (c_{v2})

Fig. 5 Simulation results in the straight road

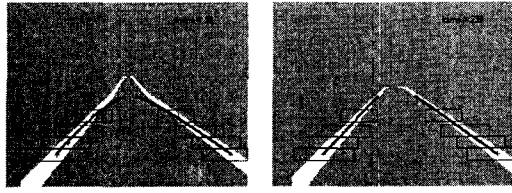


Fig. 6 Mapping of the lane on the image plane

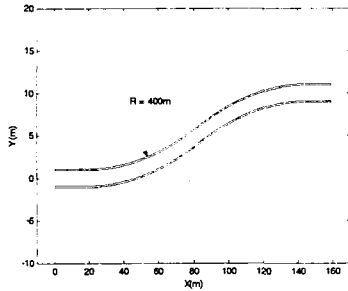


Fig. 7 Flat and Curved road geometry

설정하였으며 이 영역을 영상 처리하여 흑백 이미지의 색 강도(intensity)의 경계값을 설정하여 차선 마커를 검출하였다.

3. 시뮬레이션

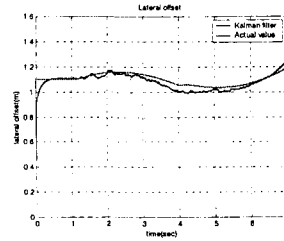
직선 경사 도로와 평면 곡선 도로 형상에 대해서 각각 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 직선 경사 도로

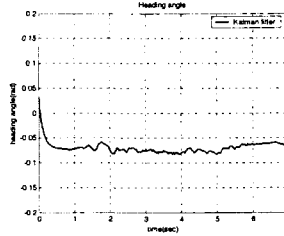
직선 경사 도로는 Fig. 4 에서 보여지고 있듯이 총 길이는 10.96m 이고, 경사구간은 경사도 5.5°, 곡률은 $0.2m^{-1}$ 이다. Fig. 5 는 칼만 필터를 이용하여 식 (6)의 차선 파라미터를 추정한 결과로서 과도 구간에서는 어느정도의 시간 지연이 있으나 정상 상태에서는 실제 값을 잘 추정하고 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 6 는 칼만 필터로 추정된 차선 파라미터를 영상 평면으로 다시 사상(mapping) 시킨 결과로 직선 구간과 경사 구간에서 추정된 차선이 실제 차선과 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다.

3.2 평면 곡선 도로

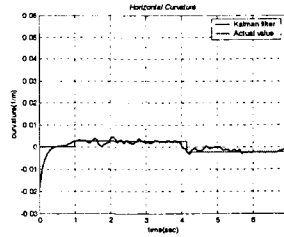
평면 곡선 도로는 직선구간과 곡선구간이 S 자형으로 이어진 차선으로 Fig. 7 에서 보여지고 있으며, 곡선구간의 반경이 400m 로서 곡률은 각각 $0.0025m^{-1}$, $-0.0025m^{-1}$ 이다. 또한 Fig. 8 은 평면 곡선도로에서 직선구간과 곡선 부분의 차선 파라미터 추정결과를 보여주고 있다. 칼만 필터에 의해 추정된 차선 파라미터들이 실제 값을 비교적 잘 추정하고 있다. 그러나 차선이 직선에서 곡선으로 바뀌는 부분, 즉 곡률이 변하는 구간에서는 잡음의 영향이 커지는 것을 볼 수 있었다.



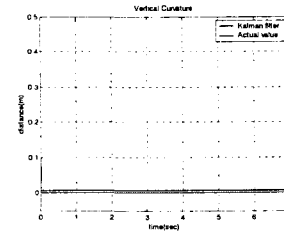
(a) Lateral offset (c_{h0})



(b) Heading angle (c_{h1})



(c) Horizontal curvature(c_{h2})



(d) Vertical curvature(c_{v2})

Fig. 8 Simulation results in the curved road

4. 실험 결과

본 논문에서 연구 하고있는 차선 감지 시스템을 검증하기 위하여 Fig. 9와 같이 모델차를 제작 하였다. 차체는 R/C차를 이용하였으며 크기는 실차의 1/10 스케일로 너비는 180mm이고 윤거는 257mm이다. 2대의 CCD 카메라는 Fig. 8과 같이 모델차 상단 앞부분에 평행으로 설치하였고, 속도를 측정하기 위해 모델차 후미에 5th wheel을 부착하여 엔코더와 연결하였다. 차량의 조향각은 포텐서미터를 이용하여 측정하였다. 전체 시스템 구성은 Fig. 10과 같다. AMD 900MHz CPU와 Memory 512M 를 탑재한 PC를 사용하였으며 비전보드와 데이터

보드는 Matrox사의 METEOR II/MC와 Data Translation사의 DT2821 보드를 사용하였다. PC와 모델차는 유선으로 연결하였다. CCD 카메라의 해상도는 640×480이며 초당 30프레임의 영상을 저장하였다. 그리고 실험에서 영상을 획득할 동안 모델 카의 차속은 1.3m/sec 정도를 유지하고 있도록 하였다.

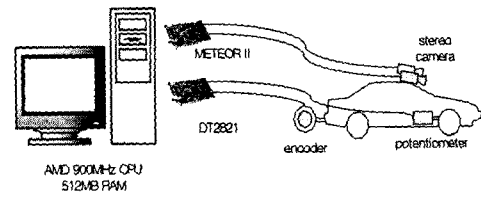


Fig. 10 System configuration

4.1 직선 경사 도로

실험 도로 I는 Fig. 11(a)와 같이 3차원 직선 경사도로를 평지 구간, 오르막 경사 구간, 평지 구간으로 구성하여 각 구간에서의 차선 감지 성능을 검토할 수 있도록 하였다. 평지구간의 거리는 전, 후반부 각각 4.4m이고, 경사도가 시작되는 부분의 수직 곡률은 $0.2 m^{-1}$ 이다. Fig. 12는 실험도로 I에서 칼만 필터를 통해 추정된 차선 파라미터를 실제 값과 비교해서 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 실험 결과에서는 어느 정도 실제값의 추정 양상을 보여주고는 있으나, 많은 잡음의 영향으로 수직곡률의 경우 최대 약 40%의 추정오차가 발생하였다. 이는 실험에서 제작된 도로의 연결부분을 주행할 때 차량의 흔들림 및 주행시 모델차 자체의 과도한 서스펜션의 움직임에 의한 영향으로 판단된다. Fig. 13은 본 논문에서 제안된 차선 감지 시스템을 이용하여 추정된 차선 파라미터를 다시 영상 평면으로 사상 시킨 결과이다.



(a) Straight/Sloped road (b) Flat/Curved road

Fig. 11 Experiment road geometry

4.2 평면 곡선 도로

실험 도로 II는 Fig. 11(b)와 같이 평면 곡선 도로를 직선 구간과 곡선 구간으로 구성하였다. 직선 구간 거리는 2.9m이고 곡선 구간의 반경은 20m, 즉 곡률은 $0.05m^{-1}$ 이다. 차선의 폭은 0.3m로 실험 도로 I과 같다. Fig. 14는 평면 곡선 도로에서의 칼만 필터의 추정결과를 나타내고 있다. 곡선 도로에서의 결과 또한 직선 구간에서의 실험과 마찬가지로 어느 정도 실제값을 추정해 가는 양상을 보여주고는 있으나 도로로부터 들어오는 잡음의 영향과 곡선주행을 위한 조향 입력이 실차에서처럼 일정하게 들어가기 힘들기 때문에 추정 값이 많이 흔들리는 현상을 보여주고 있다. 이에 따라 수평 곡률의 경우 최대 약 75%의 추정 오차를 보여주고 있다.

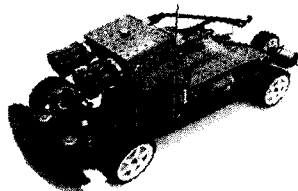
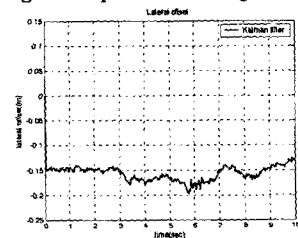
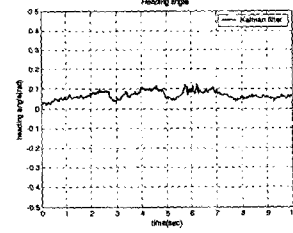


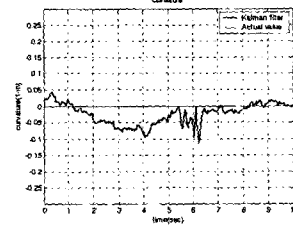
Fig. 9 Model car



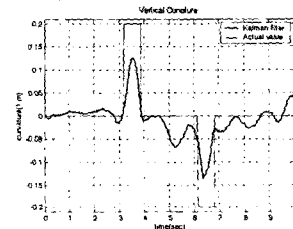
(a) Lateral offset (c_{n0})



(b) Heading angle (c_{n1})

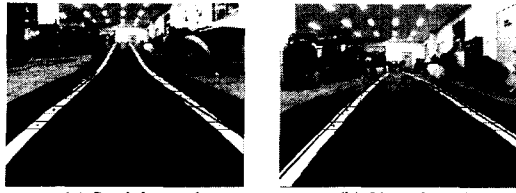


(c) Horizontal curvature (c_{n2})



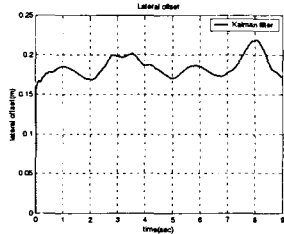
(d) Vertical curvature (c_{n3})

Fig. 12 Experiment results I

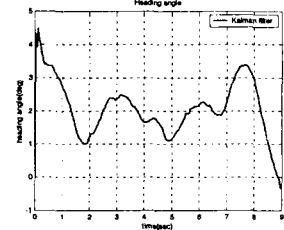


(a) Straight road (b) Sloped road

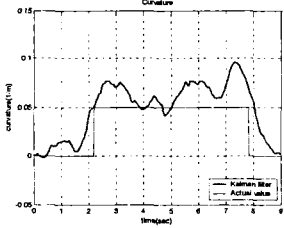
Fig. 13 Lane sensing Image



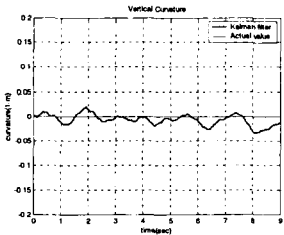
(a) Lateral offset (c_{h0})



(b) Heading angle (c_{h1})



(c) Horizontal curvature(c_{h2})



(d) Vertical curvature(c_{v2})

Fig. 14 Experiment results II

5. 결론

선행된 연구에서 싱글 비전센서만을 사용하여 차선을 감지하는 데는 많은 제약이 따른다. 특히 싱글 비전으로는 무리한 가정 없이 3차원의 차선

정보를 정확히 추정하는 것은 어려움이 따른다. 이에 본 논문에서는 스테레오 비전 센서를 사용하여 차선을 감지하는 시스템을 제안하여 연구하였다. 비전 시스템의 신뢰도 향상을 위해 고속도로 주행에 적합한 2차 다항식의 차선 모델을 수평과 수직 차선모델로 각각 분리하여 사용하였다. 수평 차선모델에서의 파라미터는 수평 차선곡률, 차량 중심과 차선까지의 거리, 차량과 차선이 이루는 각을 나타내고, 수직 차선모델에서의 파라미터는 수직 차선곡률을 나타낸다. 또한 이 파라미터들을 칼만 필터를 사용하여 추정하였다. 추정된 파라미터들은 다시 ROI를 설정하는데 이용함으로써 영상처리 시간을 크게 단축할 수 있었다. 차량의 롤, 피치 운동에 의한 입력 영상의 왜곡은 역원근 변환 시 이를 보정해줌으로써 차선 감지 오차를 줄일 수 있는 알고리즘을 제시하였고 시뮬레이션을 통해서 이의 성능을 입증하였다. 실험결과에서는 모델 차량의 과도한 서스펜션 움직임 및 급격한 조향입력 등의 실차와는 다른 차량특성 및 주행 환경에 의하여 실차에 비해 많이 흔들림에 따라 추정오차가 크게 발생하였다. 앞으로 이러한 추정 오차를 줄이고 실차에 이를 적용하기 위한 시도가 이루어질 것이다. 실제 차량이 주행하는 환경에서는 다양한 원인의 노이즈 때문에 이미지 프로세싱을 통한 차선 마커 검출이 어려울 수가 있다. 이를 극복하고 노이즈에 강인한 성능을 가지기 위해서 모서리 검출기를 이용하거나, 템플릿 매칭, 혹은 히스토그램 등을 이용한 방법이나 주파수 영역의 해석등을 시도해야 할 것이다. 또한 실차 적용에서는 실시간 계산성능을 고려한 알고리즘 설계가 병행되어야 할 것이며, 추정된 정보의 사용 목적에 따른 요구되는 추정 정확도에 대한 오차 분석 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음(과제번호: 2000-2-30400-007-3).

참고문헌

- (1) Takahashi, A., Ninomiya, Y., Ohta, M. and Tange, K., 1999, "A Robust Lane Detection using Real-time Voting Processor," *Proc. of the IEEE Intelligent Transportation Systems*, pp. 577~580.
- (2) Takahashi, A. and Ninomiya, Y., 1996, "Model-Based lane recognition," *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles 96*, pp. 162~166.
- (3) Dickmanns, E. D. and Mysliwetz, B. D., 1992,

- "Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 14, No. 2, pp. 199~213.
- (4) Lin, C. F., Ulsoy, A. G. and LeBlanc D. J., 1995, "Lane Geometry Reconstruction: Least Square Curve Fit Versus Kalman Filter," *ASME Advanced Automotive Technologies*, DSC-Vol. 56/DE-Vol. 86, pp. 63~70.
- (5) Park, Y. J., Huh, K. S., 2002, "Development of a lane sensing algorithm using vision sensors," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 26, No. 8, pp. 1666~1671.
- (6) Bertozzi, M. and Broggi, A., 1998, "GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, No. 1, pp. 62~81.
- (7) Jhang, K. Y., Song, J. Y. and Park, J. W., 1997, "Detection of Lane and Distance to the Forward Vehicle by using Machine Vision," *The KSAE Academic lecture of I.T.S.*, pp. 10~17.
- (8) Jeong, S. G., Kim, I. S., Kim, S. H., Lee, D. H., Yun, K. S. and Lee, M. H., 2001, "Real-Time Lane Detection Based on Inverse Perspective Transform and Search Range Prediction," *Journal of the KSPE*, Vol. 18, No. 3, pp. 68~74.
- (9) Grewal, M. S. and Andrews, A. P., 1993, *Kalman Filtering Theory and Practice*, Prentice Hall, pp. 112~119.
- (10) Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G. 1995, *Machine Vision*, McGraw-Hill.