

## 비전 센서를 이용한 차선 감지 알고리즘 개발

박 용 준\* · 허 건 수†

(2002년 1월 18일 접수, 2002년 5월 4일 심사완료)

### Development of a Lane Sensing Algorithm Using Vision Sensors

Yongjun Park and Kunsoo Huh

**Key Words :** Kalman Filter(칼만 필터), Vision Sensor(비전 센서), Inverse Perspective Mapping(역원근 변환), Lane Detection(차선 감지), Lane Model(차선 모델)

#### Abstract

A lane sensing algorithm using vision sensors is developed based on lane geometry models. The parameters of the lane geometry models are estimated by a Kalman filter and utilized to reconstruct the lane geometry in the global coordinate. The inverse perspective mapping from image plane to global coordinate assumes earth to be flat, but roll and pitch motions of a vehicle are considered from the perspective of the lane sensing. The proposed algorithm shows robust lane sensing performance compared to the conventional algorithms.

#### 1. 서 론

현재 진행되고 있는 ITS 연구에는 차선이탈이나 추돌 사고를 방지하는 운전자 보조 시스템에서 향후 완전 자율 주행 차량까지 연구 범위가 매우 다양하다. 이러한 연구는 기본적으로 차선 감지라는 동일한 과정을 필요로 하며 이를 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. 차선 감지 방법으로는 도로에 자석을 매설하여 자기장의 변화를 감지하는 방법과 컴퓨터 비전을 사용하는 방법이 있다. 신뢰도가 높은 반면 인프라를 구축하는데 많은 비용이 드는 전자보다는 후자의 경우에서 많은 연구가 이루어지고 있는데, 그 이유로는 인간은 운전에서 필요한 대부분의 정보를 시각을 통해 얻고 있으며, 기존의 인프라를 사용하므로 비용이 저렴하고, 최근 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어의 급격한 발전도 하나의 요인이 될 수 있다. 컴퓨터 비전을 이용한 차선 감지 방법의 문제점은 환경적인 요인에 의해 성능이 크게 좌우되며 신뢰성이 확보되지 못하는 점이다. 즉 기상조건, 조명, 건물과 가로수의 그림

자, 도로의 재질, 차선의 상태 등에 의해 성능이 크게 좌우되며 최근의 연구들은 신뢰도를 향상시키는 데 초점을 맞추고 있다.

컴퓨터 비전을 이용한 차선 감지 방법으로는 역원근 투영법,<sup>(1)</sup> 저장된 패턴을 이용한 매칭 방법,<sup>(2)</sup> Hough 변환을 이용한 직선 근사화 방법<sup>(3)</sup> 등이 있다. 이 방법들은 입력되는 영상의 각 프레임에 대하여 독립적으로 영상을 처리, 차선을 감지하는 방식으로 입력 영상간의 연속적인 상관성은 고려하지 않았다. 따라서 독립된 입력 영상으로만 차선을 감지하므로 입력 영상의 질에 따라 차선 감지 성능이 크게 저하될 수 있다. 한편 비전 시스템의 강인성(robustness)을 향상시키기 위한 방법으로 모델 기반의 차선 감지 방법이 있다. Dickmanns<sup>(4)</sup>은 차선의 곡률(curvature)과 그 변화율을 이용한 차선 모델을 제시하였고, 칼만 필터를 이용하여 이를 추정하였다. 그러나 이 차선 모델은 제한적인 도로에서만 적용 가능하고 차량의 동역학적 영향은 고려하지 않은 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자 Takahashi<sup>(5)</sup>는 좀더 일반적인 도로에 적용 가능한 비선형 차량 모델을 제시하였고, 확장된 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 이용하여 차선의 파라미터를 추정하였으며, 차량의 롤, 피치 운동에 의한 영향을 보정하였다. 그러

\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : khuh2@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2290-0437 FAX : (02)2295-4584

나 확장된 칼만 필터가 이용됨으로써 파라미터 추정시간이 길어지는 단점이 있다. 또한 Lin<sup>(6)</sup> 등은 고속도로에 적합한 2차 다항식의 단순화된 차선 모델을 제시하였고, 칼만 필터와 최소자승법을 이용하여 그 성능을 비교하였다. 그러나 차량의 운동에 의한 영향은 보상하지않은 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 고속도로 주행에 적합한 간단한 2차 다항식의 차선 모델과 차량의 동역학적 특성을 고려한 방식을 제안하였다. 칼만 필터를 사용하여 차선 모델의 파라미터를 추정하였고, 또한 추정된 파라미터에 의해 ROI(Region of Interest)를 설정하여 영상 처리 시간을 단축시키도록 하였다. 영상 평면에서 검출된 차선 마커는 역원근 변환에 의해 글로벌 좌표계로 변환하였으며 이때 차량의 롤, 피치 운동을 고려하여 차선 감지 오차를 최소화하도록 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 역원근 변환과 칼만 필터를 이용한 차선 감지 모델에 대해서 설명하였고 3장에서는 시뮬레이션을 통해, 4장에서는 실험을 통해 차선 감지 알고리즘의 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 차선 감지 시스템의 블록 다이어그램이다. 블록 다이어그램은 차량, 비전 시스템, 칼만 필터 등 3부분으로 나눌 수 있다.

차량은 운전자의 조향 명령을 입력으로 하여 횡 속도, 요우잉 속도, 롤, 피치 각을 출력한다. 실제 차량의 운동을 묘사하기 위해 14자유도의 차량 모델과 마찰계수를 고려할 수 있는 Magic Formula 타이어 모델을 사용하였다. 14자유도 차량 모델은 1개의 스프링 질량(sprung mass)과 4개의 언스프링 질량(unsprung mass)으로 이루어져 있으며 전, 후륜 모두 독립 현가 장치를 사용하고 있다. 14자유도 운동은 스프링 질량의 병진 운동과 회전 운동의 6 자유도, 언스프링 질량의 수직 운동 4자유도 그리고 휠(wheel)의 회전운동 4자유도로 구성되어 있다. 타이어 모델은 Pacejka가 제안한 Magic Formula Tire 모델을 사용하였으며 이 모델은 실제 실험에 의한 데이터를 커브 피팅(curve fitting)하여 만든 수치적 모델이다.

비전 시스템에서는 CCD 카메라를 이용하여 도로의 영상을 획득한 후, 설정된 ROI에 대하여 영

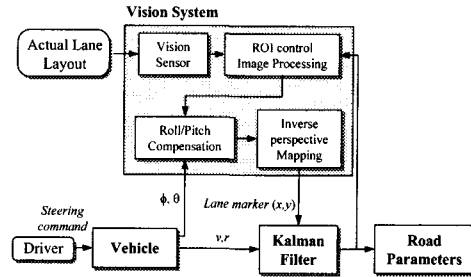


Fig. 1 The structure for lane recognition

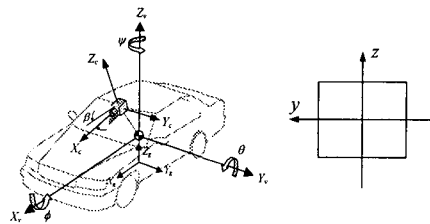


Fig. 2 Coordinate systems

상 처리를 통해 차선 마커를 검출한다. 영상 평면에서 검출된 차선 마커는 역원근 변환을 통해 글로벌 좌표계로 변환된다. 차량이 곡률이 큰 곡선 도로를 주행할 때에는 차량의 롤, 피치 운동에 의해 입력되는 도로의 영상이 실제 차선과 차이가 나므로 역원근 변환 시 롤과 피치를 보정하였다.

칼만 필터는 차량에서 출력되는 횡 속도와 요우잉 속도 그리고 비전 시스템에서 출력되는 차선마커를 입력으로 하여 차선을 표현하는 파라미터를 추정한다. 추정된 파라미터는 또한 ROI를 설정하는데 이용된다.

좌표계 설정은 Fig. 2와 같으며  $(X_g, Y_g, Z_g)$ 는 차량의 질량 중심을 지면에 투영시킨 글로벌 좌표계이다.  $(X_v, Y_v, Z_v)$ 는 차량 좌표계로 원점은 차량의 질량 중심에 있으며, 글로벌 좌표계에 대해서  $h_{cg}$  높이에 있고 차량의 롤, 피치 운동에 의해  $x$ 축,  $y$ 축을 중심으로  $\phi, \theta$  만큼 기울어져 있다.  $(X_c, Y_c, Z_c)$ 는 카메라 좌표계로서 차량 좌표계에 대해서  $(l, w, h)$  만큼 떨어져 있고,  $y$ 축을 중심으로  $\beta$  만큼 기울어져 있다.  $(y, z)$ 는 영상 좌표계이다.

### 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.<sup>(7)</sup> 먼저 카메라 좌표

계에서 영상 좌표계로 변환은 카메라 핀 홀(pin hole) 모델에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} z &= \lambda Z_c / X_c \\ y &= \lambda Y_c / X_c \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 초점 거리이다. 따라서 역 변환은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c \\ yX_c / \lambda \\ zX_c / \lambda \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

$$\begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \\ w \\ h \end{bmatrix} + R_c \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

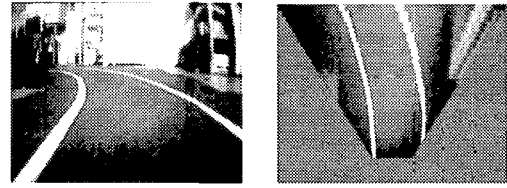
$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_{cg} \end{bmatrix} + R_v \begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{bmatrix} \quad (4)$$

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. 역원근 변환은 1대 1 대응 함수가 아니므로 지면이 평면이라는 가정에 의해서 다음과 같이  $X_c$ 를 구할 수 있다.

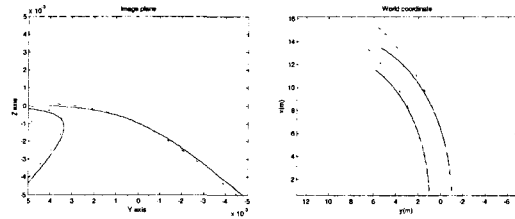
$$\begin{aligned} Z_g &= h_{cg} + R_v(3,1)l + R_v(3,2)w + R_v(3,3)h \\ &+ \{ R(3,1) + yR(3,2) / \lambda + zR(3,3) / \lambda \} X_c = 0 \\ X_c &= \frac{-h_{cg} - R_v(3,1)l - R_v(3,2)w - R_v(3,3)h}{R(3,1) + yR(3,2) / \lambda + zR(3,3) / \lambda} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $R=R_cR_v$ 이다. 따라서 여기서 구한  $X_c$ 를 이용하여 영상 평면으로부터 얻은 차선 좌표를 글로벌 좌표계로 역원근 변환을 할 수 있다. Fig. 3은 실험 도로 영상을 역원근 변환을 이용하여 글로벌 좌표계로 변환한 결과이며 카메라의 시야 범위(field of view)가 잘 나타나 있다.

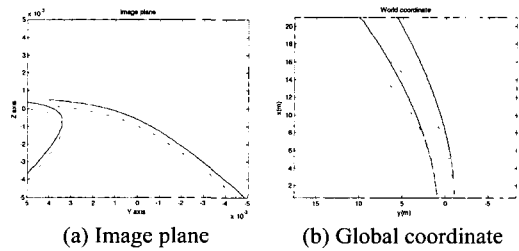
차량의 롤, 피치 운동은 입력 영상에도 영향을 주어 역원근 변환시 오차를 유발하므로 이를 검토하여 보정할 필요가 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 차량이 각각 롤 축과 피치 축을 중심으로 2° 회전했을 때 영상 평면에 나타나는 차선과 이를 역원근 변환을 통해 글로벌 좌표계로 변환하였을 때의 결과이다. 점선은 실제 차선이고, 실선은 롤, 피치 운동에 의해 나타나는 차선이다. 영상 평면에서는 롤, 피치 운동에 의해 나타나는 차선과 실제 차선이 크게



(a) Image plane (b) Global coordinate  
Fig. 3 Original and remapped road images



(a) Image plane (b) Global coordinate  
Fig. 4 Roll angle = 2° (solid line: roll effect, dashed line: actual lane)



(a) Image plane (b) Global coordinate  
Fig. 5 Pitch angle = 2° (solid line: pitch effect, dashed line: actual lane)

다르지 않지만 이를 역원근 변환 한 결과에서는 오차가 발생하며 거리가 멀어질수록 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 롤 운동 보다는 피치 운동에 의한 오차가 더 크게 발생하고 있다. 따라서 원거리의 차선 마커를 활용할 경우 역원근 변환시 차량의 롤, 피치 운동을 보정해 줄 필요가 있음을 알 수 있다.

### 2.3 칼만 필터를 이용한 차선 감지 모델

글로벌 좌표계에 대하여 고속도로의 차선은 다항식을 사용하여 근사화 할 수 있다. 직선 도로는 1차식으로 나타낼 수 있고, 곡률이 일정한 도로는 2차식을 사용하여 표현할 수 있다. 차선을 2차식으로 표현하면 다음과 같다.<sup>(6)</sup>

$$y(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 / 2 \quad (6)$$

- $c_0$ : 차량 중심과 차선과의 거리(lateral offset)
- $c_1$ : 차량과 차선이 이루는 각(heading angle)
- $c_2$ : 차선 곡률(curvature)

차량 운동과 도로 형상의 변화에 따라 다항식

의 파라미터들이 동적으로 변하게 되며 다음과 같이 비선형식으로 나타낼 수 있다.

$$\dot{c}_0 = \frac{uc_0}{\cos c_1} - v \quad (7)$$

$$\dot{c}_1 = \frac{uc_2}{\cos c_1} - r \quad (8)$$

여기서  $u$ 는 직진 속도,  $v$ 는 횡 속도,  $r$ 은 요우잉 속도이다. 차선의 곡률이 일정하고 차선과 차량의 진행 방향이 이루는 각(heading angle)이 15° 미만인 경우  $\cos c_1 \approx 1$ 이므로 식 (7)과 식 (8)을 다음과 같이 선형식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{c}_0 \\ \dot{c}_1 \\ \dot{c}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & u & 0 \\ 0 & 0 & u \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (9)를 이산화하여 칼만 필터를 구성하면 다음과 같다.

System dynamics:

$$\begin{aligned} C_{k+1} &= \Phi C_k + \Gamma u_k + w_k \\ w_k &\sim N(0, Q_k) \end{aligned} \quad (10)$$

Measurement:

$$\begin{aligned} Y_k &= H C_k + v_k \\ v_k &\sim N(0, R_k) \end{aligned} \quad (11)$$

Time update:

$$\hat{C}_k(-) = \Phi \hat{C}_{k-1}(+) + \Gamma u_{k-1} \quad (12)$$

Measurement update:

$$\hat{C}_k(+) = \hat{C}_k(-) + K_k(Y_k - H\hat{C}_k(-)) \quad (13)$$

Error covariance and Kalman gain:

$$\begin{aligned} P_k(-) &= \Phi P_{k-1}(+) \Phi^T + Q_k \\ K_k &= P_k(-) H^T [H P_k(-) H^T + R_k]^{-1} \\ P_k(+) &= [I - K_k H] P_k(-) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 측정값은 글로벌 좌표계의 차선 마커의 배열  $(x_1, y_1) \sim (x_4, y_4)$ 이다.  $Y_k$ 와  $H$ 는 다음과 같다.

$$Y_k = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2/2 \\ 1 & x_2 & x_2^2/2 \\ 1 & x_3 & x_3^2/2 \\ 1 & x_4 & x_4^2/2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

칼만 필터는 식 (12) ~ 식 (14)을 순차적으로 계산하여 칼만 필터 이득을 구하고 상태 변수를 추정한다. 측정 데이터가 없거나 신뢰할 수 없는 경우 칼만 필터는 식 (13)의 측정 업데이트(measurement update)는 수행하지 않고 식 (12)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 전체 영역을 처리할 경우 차선이 물리적으로 존재할 수 없는 불필요한 영역까지 처리함으로써 영상 처리 시간이 크게 증가한다. 실제 도로 영상에서 차선이 존재하는 부분은 한정되어있고 특히 도로의 형상이 급격하게 변하지 않는다면 영상에 나타나는 도로의 형태는 거의 일정하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 도로의 기하학적 특성과 칼만 필터에 의해 추정된 차선 파라미터를 이용하여 각각의 영상에 ROI(region of interest)를 설정하였으며 이 영역을 영상 처리하여 차선 마커를 검출하였다. Fig. 6은 추정된 차선 파라미터를 이용하여 설정된 ROI와 ROI에서 영상 처리를 통해 차선 마커를 검출한 결과를 보여 주고 있다.

### 3. 시뮬레이션

Fig. 7과 같이 S자형 곡선 도로 형상에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 곡선 구간의 곡률은 각각  $0.02m^{-1}$ ,  $-0.02m^{-1}$ 이다. Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10은 칼만 필터를 이용하여 식 (6)의 차선 파라미터를 추정한 결과로서 최소자승법을 이용하여 계산한 결과와 비교해서 나타내었다. 최소자승법에 의한 결과는 영상 처리 및 역원근 변환 시 발생하는 오차에 민감한 반응을 보이고 있으나 칼만 필터를 이용하여 추정한 결과는 노이즈에 대해 강인한 성능을 보이고 있다. 그러나 도로 형상이 변하는 구간에서는 칼만 필터에 시간 지연이 있음을 볼 수 있다. 5~6초 사이에 최소자승법의 잡음 강도가 특히 큰 것을 볼 수 있는데 이는 곡선 구간에서 카

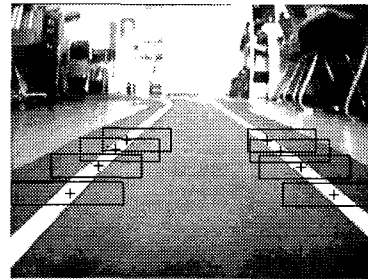


Fig. 6 ROIs and lane markers

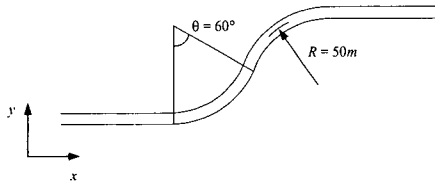


Fig. 7 Simulation road geometry

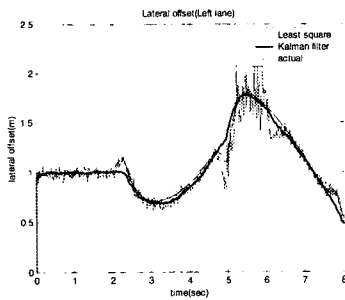


Fig. 8 Lateral offset ( $c_0$ )

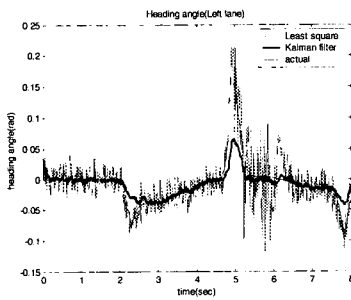


Fig. 9 Heading angle ( $c_1$ )

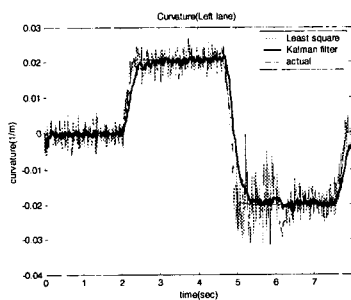


Fig. 10 Curvature ( $c_2$ )

메라의 시야 제한 때문에 일부 차선 마커를 감지하지 못했기 때문이다. 최소자승법은 부족한 차선 마커 때문에 잡음 강도가 커지는 반면 칼만 필터는 이와 같이 데이터가 부족한 경우 시간 업데이트(time update)를 통해 차선 파라미터를 추정한다. Fig. 11과 Fig. 12는 칼만 필터로 추정된 차선 파라미터를 영상 평면으로 사상(mapping) 시킨 결과로 직선 구간과 곡선 구간에서 실제 차선과 정확하게

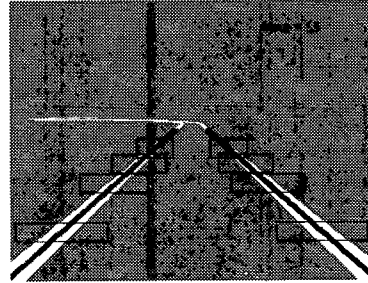


Fig. 11 Straight road

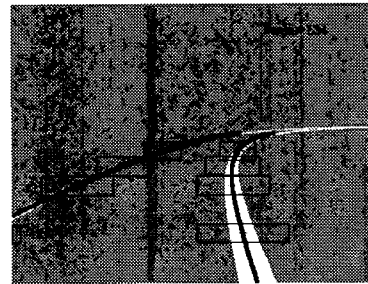


Fig. 12 Curved road

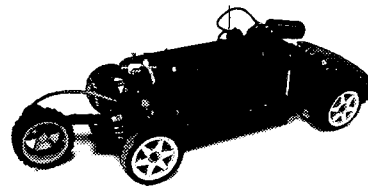


Fig. 13 Model car

일치하고 있다.

#### 4. 실험 방법 및 결과

본 논문에서 제안하고 있는 차선 감지 알고리즘을 검증하기 위해 Fig. 13 과 같이 모델차를 제작하였다. 차체는 R/C 차를 이용하였으며 크기는 실차의 1/10 스케일로 너비는 180mm 이고 윤거는 257mm 이다. CCD 카메라는 Fig. 13 과 같이 모델차 상단에 설치하였고, 속도를 측정하기 위해 모델차 후미에 5th wheel 을 부착하여 엔코더와 연결하였다. 차량의 조향각은 포텐셔미터를 이용하여 측정하였다. 전체 시스템 구성은 Fig. 14 와 같다. AMD 900M Hz CPU 를 탑재한 PC 를 사용하였고 비전 보드와 데이터 보드는 각각 Data Translation 사의 DT3120 과 DT2821 보드를 사용하였다. PC 와 모델차는 유선으로 연결하였다. CCD 카메라의 해상도는 320×240 이며 초당 20 프레임의 영상을 저장하였다. 실험 도로는 직선 구간과 곡선 구간으로 구

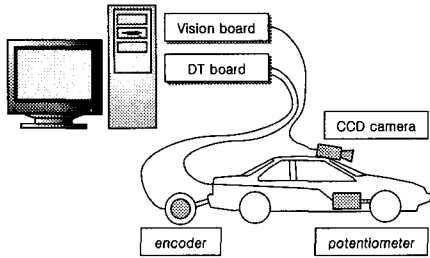


Fig. 14 System configuration

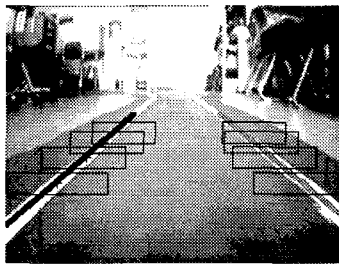


Fig. 15 Straight road

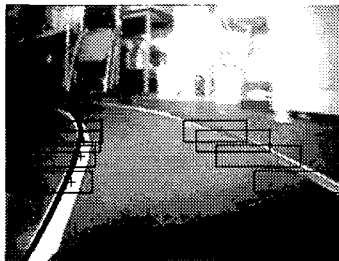


Fig. 16 Curved road

성해서 각 구간에서 차선 감지 성능을 검토할 수 있도록하였다. 곡선 구간의 곡률은  $0.5m^{-1}$ 이고 차선의 폭은 0.3m이다. Fig. 15와 Fig. 16은 실험 결과로서 직선 구간과 곡선 구간에서 차선 감지 결과를 보여 주고 있으며 정확하게 차선을 감지하고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 비전 센서를 사용한 차선 감지 알고리즘을 제안하였으며 기존의 차선 감지 알고리즘의 문제점인 신뢰도 향상을 위해 차선 모델과 칼만 필터를 사용하였다. 칼만 필터에 의해 추정되는 차선 파라미터는 차선이탈 경고/방지 시스템에 있어 필수적인 정보(차량의 위치, 진행 방향, 차선의 곡률)를 제공하며 ROI 설정에 이용하여

영상 처리 시간을 크게 단축시킬 수 있었다. 영상 처리를 통해 검출한 차선 마커는 역원근 변환을 통해 글로벌 좌표계로 변환하였으며 이때 차량의 롤, 피치 운동을 고려하여 차선 감지 오차를 최소화하도록 하였다. 칼만 필터를 사용한 방법은 최소자승법에 비해 영상 처리 시 발생하는 노이즈를 효과적으로 처리하여 차선 파라미터를 추정하며 카메라의 시야 제한으로 일부 차선 마커가 감지되지 못하는 경우에도 차선 파라미터를 잘 추정할 수 있었다. 본 연구에서는 지면이 평면인 경우에 국한하였으며 지면이 평면이 아닌 3차원 형상의 경우는 추후 연구 결과를 발표할 예정이다.

### 후 기

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

### 참고문헌

- (1) Bertozzi, M. and Broggi, A., 1998, "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.
- (2) 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.
- (3) Jhang, K. Y., Song, J. Y. and Park, J. W., 1997, "Detection of Lane and Distance to the Forward Vehicle by using Machine Vision," *KSAE Academic lecture of I.T.S.*, pp. 10~17.
- (4) 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.
- (5) Takahashi, A. and Ninomiya, Y., 1996, "Model-Based Lane Recognition," *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 162~166.
- (6) 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.
- (7) 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.
- (8) Grewal, M. S. and Andrews, A. P., 1993, *Kalman Filtering Theory and Practice*, Prentice Hall, pp. 112~119.