

## Hough Transform 을 이용한 지식 기반 차선 검출

이상영<sup>\*,\*\*</sup>, 박래홍<sup>\*</sup>

\*서강대학교 전자공학과

\*\*4DHomeNet

## Knowledge-Based Lane Detection using Hough Transform

Sang-Young Lee<sup>\*,\*\*</sup>, Rae-Hong Park<sup>\*</sup>

\*Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

\*\* 4DHomeNet

E-mail: sangylee@eevision1.sogang.ac.kr, sangylee@4dhome.net

### Abstract

본 논문에서는 도로 주변의 나무와 건물, 그리고 옆 차선의 차량 등에 의한 그림자의 영향을 최소화하며 차선을 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 우선 Hough transform 을 수행하는 데 있어서 계산 시간을 줄이기 위하여 에지 영상에서 수평 투영을 통하여 vanishing line 을 검출하였으며, vanishing line 아래 부분에서만 Hough transform 을 수행하였다. 그리고 차선 검출을 위하여 Hough 평면에서  $\theta$ 을 16 등분하여 rough 한 차선을 검출하였으며, 도로 형태에 대한 사전 지식을 이용하여 차선 검출을 시도하였다. 도로 주변 상황이 다른 두 종류의 연속 영상들에 의한 실험 결과, 도로 형태에 대하여 가정한 사전 지식과 유사한 영상들에 대하여 차선을 정확하게 검출하였다.

### I. 서론

차선 검출 방법 및 전방 차량 검출 등에 관한 연구는 1980 년 대 초 시작하여 많은 부분에서 연구가 진행되고 있다. 유럽에서는 1986 년 PROMETHEUS Project (PROgram for Europe Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety)가 시작되었으며, 이 Project는 13 개 이상의 자동차 회사, 정부 연구소, 그리고 19 개의 유럽 내 대학에서 실행되었다. 미국에서는 많은 대학과 연구소, 그리고 많은 자동차 회사에서 개별적으로 실행하였으며, 1995 년에 정부 주

도로 NAHSC (National Automated Highway System Consortium)을 발족하였다. 또한, 일본에서는 몇몇 자동차 회사에서 직접 프로토타입을 개발하였고, 1996 년에 여러 자동차 회사와 연구소에서 AHSRA (Advanced cruise-assist Highway System Research Association)을 발족하였다 [1]. 이와 같은 지난 십 수년간의 연구는 도로 주변의 나무, 건물, 그리고 차량 등에 의한 그림자의 영향을 최소화하면서 도로상의 여러 모양 (노란/흰 실선, 노란/흰 점선, 도로 가장자리, 그리고 곡률이 큰 도로 등)의 차선을 실시간으로 검출하는 데 중점을 두었으며, 이러한 제약 조건들을 해결하기 위하여 차선의 color model 을 이용하거나 [2], 도로 모델을 이용하여 에지 영상에서 iteration 을 통한 실시간 차선 검출을 시도하였다 [3]. 이 이외에도 Yu 와 Jain [4]은 multiresolutional Hough transform 을 이용하여 차선 검출을 시도하였으며, Wang 등 [5]은 Spline 모델을 이용하여 차선 검출을 시도하였다.

본 논문에서는 도로 주변의 나무, 건물, 그리고 차량 등에 의한 그림자의 영향을 최소화하여 차선을 검출할 수 있는 방법을 제안하였으며, 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 정확한 차선 검출을 위한 전처리에 대하여 기술하였고, III 장에서는 Hough transform 을 이용한 차선 검출에 대하여 서술하였다. IV 장에서는 실험결과 및 분석에 대하여 서술하였으며, 마지막 V 장에서 결론을 맺었다.

## II. 전처리

본 절에서는 보다 정확한 차선 검출을 위하여 다음과 같은 전처리 과정에 대하여 다루었다.

Spot 잡음을 제거하기 위하여  $3 \times 3$  중앙값 필터를 사용하였으며, 에지 검출을 위하여 대각선 방향의 에지 성분들도 잘 검출할 수 있는 네 방향 Sobel 에지 연산자를 사용하였다. 이 때, threshold 값은 Robinson 이 제안한 LAT (Locally Adaptive Threshold) [6] 값을 사용하여 자동으로 결정하였으며, 수평 방향의 에지 성분을 제거하기 위하여 Sobel 에지 연산 결과값에서 최대값이 "0도"일 경우 에지에서 제외하였다. 이렇게 구한 에지 영상에서 morphological dilation 과 erosion 을 수행하여 끊어진 에지를 연결하였으며, 이에 대한 실험결과를 그림 1 에 보였다.

Hough transform 에서의 계산 시간을 줄이기 위하여, 이렇게 검출된 에지 영상에서 도로의 끝 부분을 의미하는 vanishing line 을 검출하였으며, vanishing line 은 에지의 세션화 영상에서 수평 방향으로 투영하여 가장 큰 값을 가지는 부분으로 결정하였다. 이에 대한 실험 결과를 그림 2 에 보였다.



그림 1. 에지 검출 결과 (50 번째 영상)

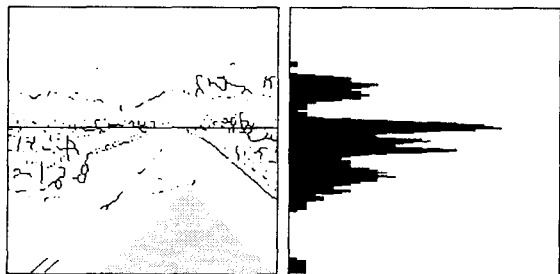


그림 2. Vanishing line 검출 결과 (50 번째 영상)

그림 2 의 왼쪽 영상은 세션화 영상이며, 아래 부분의 삼각형 영역은 object free 영역으로 설정하였다. Object free 영역은 이 영역에 에지 성분이 없음에도 불구하고 Hough transform 의 결과로 라인이 지나가는 것을 막기 위하여 설정한 영역이다.

## III. 차선 검출

본 절에서는 앞 절에서 검출한 세션화 영상과 vanishing line 정보 및 Hough transform 을 이용한 차선 검출에 대하여 다루었다.

### 3.1 Hough Transform

Hough transform 을 수행하는 데 있어서 다음과 같은 제약 조건 및 사전 지식을 이용하였다.

- 도로의 곡률이 거의 없다.
- -10도 ~ 10도 영역에는 유효한 차선이 존재하지 않는다.
- 취득된 영상의 % column 부분이 도로축이다.
- 도로축 왼쪽 부분의 에지점들은 양의 기울기 값을 갖는다.
- 도로축 오른쪽 부분의 에지점들은 음의 기울기 값을 갖는다.

이와 같은 제약 조건 및 사전 지식을 이용하여 vanishing line 아래 부분에 대한 Hough transform 결과 및 rough 한 라인 검출을 위하여 Hough 평면에서  $\theta$ 를 16 등분 (11.25도) 한 후, 수평 방향으로 투영한 결과를 그림 3 에 보였다.

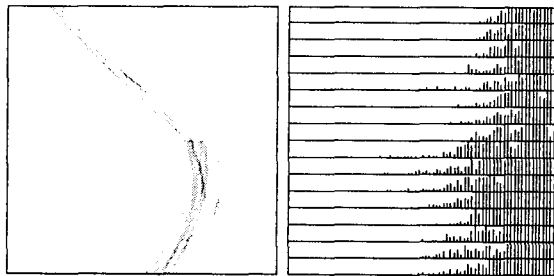


그림 3. Hough transform 결과 (50 번째 영상)

### 3.2 차선 검출

그림 3의 오른쪽 부분 영상에서 각 부분별 가장 많은 교차점을 의미하는 최소값을 후보 차선으로 결정하였으며, 이에 대한 결과를 그림 4의 왼쪽 부분에 보였다. 이 때, 에지 성분이 없는 object free 영역을 지나가는 line은 후보 차선에서 제외하였다. 이러한 후보 차선들 중에서 vanishing line과 만나는 점의 위치에 따른 가중치를 식 (1)과 같이 두었으며, 각도에 따른 가중치를 식 (2)와 같이 두었다.

$$p(k) = \exp\left(-\frac{(k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$t(q) = \exp\left(-\frac{(q - \mu_1)^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(-\frac{(q - \mu_2)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

여기서,  $k$ 와  $q$ 는 각각 Hough 평면에서의 각도와 크기 값이다. 그리고 실험하는 데 있어서  $\mu$ 는 도로축으로 가정한 “% × COL” 값으로 설정하였으며,  $\mu_1$ 과  $\mu_2$ 는 각각 -45도와 45도로 설정하였다. 또한  $\sigma$ 는 10으로 설정하여 실험하였다. 이를 그림으로 표현하면 그림 5와 같다.

모든 후보 차선들 중에서 식 (1)과 (2)의 가중치를 두어, 음의 기울기를 갖는 후보 차선들 중에서 최대값을 갖는 차선을 오른쪽 차선으로 결정하였으며, 양의 기울기를 갖는 후보 차선들 중에서 최대값을 갖는 차선을 왼쪽 차선으로 결정하였다. 이에 대한 결과를 그림 4의 오른쪽 부분에 보였다.



그림 4. 차선 검출 결과 (50 번째 영상)

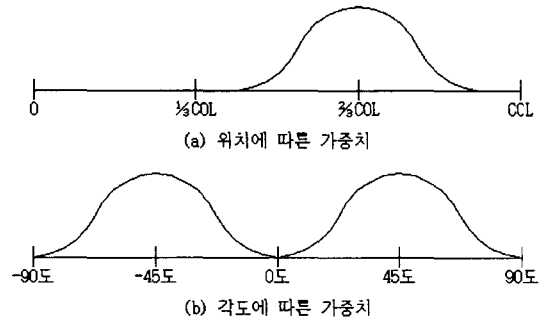


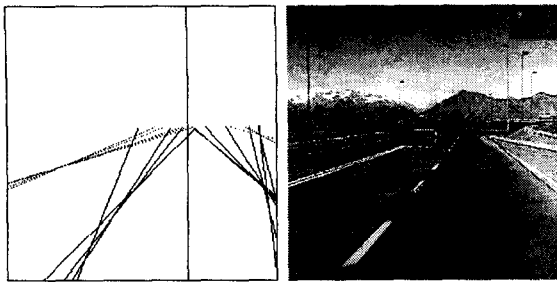
그림 5. 위치 및 각도에 따른 가중치

## IV. 실험 결과 및 분석

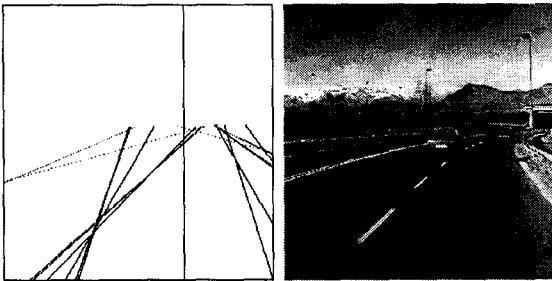
실험에 사용한 영상은 Italia의 Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN)에서 취득 및 사용한 연속 영상들을 사용하였다. 이 영상들은 일반적인 B/W CCIR TV 카메라에 의하여 728 × 576 크기의 8bits gray 영상으로 초당 25 프레임 씩 획득한 영상이며, 영상처리를 위하여 x-offset은 108, y-offset은 32을 행한 후, sub-sampling하여 256 × 256 크기로 구성된 연속 영상들이다.

전처리 단계에서 중앙값 필터를 이용하여 잡음을 제거하였으며, 네 방향 Sobel 연산자를 사용하여 에지를 검출하였다. 그리고 vanishing line을 정확하게 검출하기 위하여 에지 영상의 세선화를 수행하였으며, vanishing line 아래 부분에서 Hough transform을 수행하였다.

정확한 차선을 검출하기에 앞서 Hough 평면에서  $\theta$ 을 16등분하여 각 영역에서 가장 많은 cross point를 찾아 후보 차선으로 결정하였다. 후보 차선들 중에서 도로축의 위치에 대한 가중치와 각도에 대한 가중치를 두어 정확한 차선을 검출하였다. 이에 대한 고속화 도로 및 지방 도로에서의 실험 결과를 각각 그림 6과 그림 7에 보였다. 그림 6(a)와 그림 7(b)의 경우와 같이 도로의 축이 가정한 부분에 있는 경우에는 정확하게 차선을 검출함을 알 수 있으나, 그림 6(b)와 그림 7(a)와 같이 도로의 축이 가정한 부분과 다른 경우에는 올바르게 못하게 차선을 검출하였다. 이를 해결하기 위하여 위치에 대한 가중치 및 각도에 대한 가중치를 이전 프레임 영상의 결과값을 기초로 하여 가변적으로 사용할 필요가 있다.

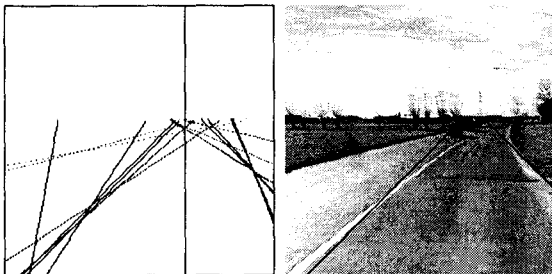


(a) 100번째 영상

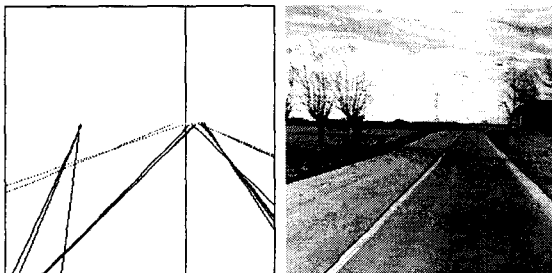


(b) 200번째 영상

그림 6. 고속화 도로 실험 결과



(a) 100번째 영상



(b) 200번째 영상

그림 7. 지방 도로 실험 결과

## V. 결론

본 논문에서는 도로 주변의 나무, 건물, 그리고 차량 등에 의한 그림자 영향을 최소화하여 차선을 검출할 수 있는

방법에 대하여 Hough 평면상에서 rough 한 후보 차선들을 선 검출한 후, 도로의 형태에 대한 가중치를 주어 정확한 차선을 검출하는 방법에 대하여 연구하였다. 실험 결과 도로 형태에 대한 제약 조건 및 사전 지식과 유사할 경우에는 정확하게 검출할 수 있었다. 향후 과제로는 도로의 곡률이 큰 경우 및 국내 고속도로 및 국도에서의 실차 장착 실험이 필요할 것이다.

## 참고문헌

- [1] M. Bertozzi, A. Broggi, and A. Fascioli, "Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 1-16, July 2000.
- [2] J. D. Crisman and C. E. Thorpe, "SCARF: A color vision system that tracks roads and interactions," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 49-58, Feb. 1993.
- [3] A. Broggi and S. Bert, "Vision-based road detection in automotive systems: A real-time expectation-driven approach," *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 3, pp. 325-348, Dec. 1995.
- [4] B. Yu and A. K. Jain, "Lane boundary detection using a multiresolution Hough transform," in *Proc. 1997 IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp. 748-751, 26-29, Los Alamitos, CA, USA, Oct. 1997.
- [5] Y. Wang, D. Shen, and E. K. Teoh, "Lane detection using spline model," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, no. 8, pp. 677-689, July 2000.
- [6] G. S. Robinson, "Edge detection by compass gradient masks," *Computer Graphics Image Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 492-501, Oct. 1977.