

중방향 충돌 경보 및 회피 시스템을 위한 비전 알고리즘

* 엄재원, °배재욱, °송병석, * 최태영
* 아주대학교 전자공학과
°고등기술연구원

Vision Algorithm for Forward Collision Warning and Avoidance System

* Jae Won Eom, °Jae Wook Bae, °Byung Suk Song, * Tae Young Choi
* Division of Electronics Engineering, Ajou University.
°Institute for Advanced Engineering.
E-mail : jaewon@madang.ajou.ac.kr

요 약

본 논문에서는 중방향 충돌경보 및 회피시스템(FCWA ; forward collision warning and avoidance)의 일환으로 가변적인 경사도를 가지는 고속도로상의 차선, 차량, 그리고 도로의 곡률을 효과적으로 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 2D 영상좌표계에 나타나는 투영효과를 제거하기 위한 역투영(IPM; inverse perspective mapping)기법을 소개하였다. 또한 IPM과 필터로부터 차선과 차량을 효과적으로 검출할 수 있는 알고리즘을 소개하였다. 마지막으로 경사가 있는 실제도로영상에 대한 IPM의 수정된 파라미터 보정에 대한 개념 및 실제도로의 곡률 검출을 위한 기하학적 함수 추정 기법을 설명하였다. 실험결과 제안한 알고리즘이 실제도로영상에서 차선, 차량, 그리고 곡률의 검출에 효과적임을 확인할 수 있었다.

I. 서론

자동차 보유량의 급격한 증가로 운송수단으로서의 중요성이 날로 부각되고 있으며 운전자 계층이나 그 용도 또한 다양해지고 있다. 이러한 상황에서 가장 중요하게 고려해야 할 요인중의 하나는 운전자와 차량의 안전성이다. 지금까지 운전자의 안전을 위한 여러 가지 방법이 모색되어 왔으나 대부분이 수동적인 것으로 주행 중 발

생할 수 있는 불의의 사고로부터 운전자를 보호해 줄 수 있는 시스템의 요구가 절실하다. 최근 들어 중 방향 충돌 경보 및 자동 회피 시스템[2-3]은 위험상황을 자동으로 인식하고 차량을 제어함으로써 위험을 사전에 회피하는 것으로 기존의 안전벨트, 에어백 등의 안전장치가 지니고 있던 성능의 한계를 극복할 수 있는 새로운 가능성을 제시하고 있다. 충돌 방지 시스템을 위해 기존의 radar나 laser 등의 센서를 사용하는 방법만으로는 효과적으로 도로상황을 판단하는 것이 어렵기 때문에 최근 들어 세계의 자동차 선진국들을 중심으로 radar와 함께 CCD을 이용한 지능형 차량 시스템[5-6]의 개발이 진행되고 있는 실정이다. 특히, 비전시스템은 차량에 탑재된 하나 이상의 CCD 카메라로부터 입력되는 영상신호를 분석·처리하는 것으로 도로 상의 장애물, 차선 등을 검출하여 차량의 갑작스러운 차선이탈이나 중 방향, 측 방향 충돌을 사전에 방지할 수 있는 유용한 정보를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 주행중인 차량의 중 방향 충돌을 방지하기 위한 방법으로 고속도로상의 차선, 차량, 그리고 도로의 곡률을 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 2D 영상평면상의 투영효과를 제거하기 위한 역투영기법과 차선의 효과적인 검출을 위한 에지검출 필터를 소개한다. 또한, 평행하지 않은 도로의 역투영결과 발생하는 차선의 비평행 상태를 수정할 수 있는 기법을 제시하였다.

II. 역투영(Inverse Perspective Mapping)

그림 1은 차량에 탑재된 CCD카메라와 위치에 따른 좌표평면을 나타낸 것이다. 식 (1)은 3-D 좌표계와 2-D 영상좌표계를 나타낸 것이며 투영효과를 제거하기 위한 역투영은 식 (2)와 같이 정의된다[5].

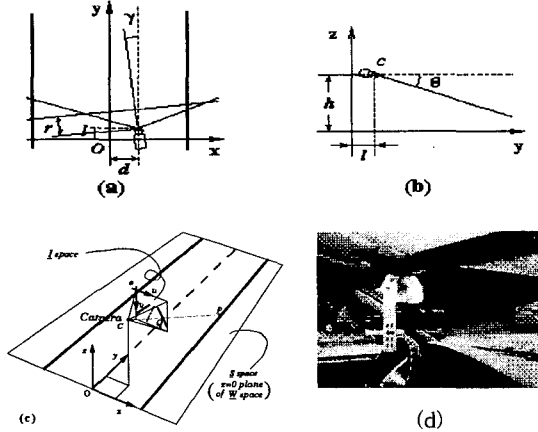


그림 1. 카메라 좌표 (a) xy평면(z=0), (b) zy평면, (c) 두 좌표계의 관계, (d) 차량에 탑재된 CCD카메라.

그림1.(d)의 카메라의 위치는 $P = (d, l, h) \in W$ 이며 두 영상좌표계는 W . I 는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$W = \{(x, y, z) \in E^3, I = \{(u, v) \in E^2. \quad (1)$$

2D영상평면 I 내의 화소들은 투영효과에 의해 위치에 따른 거리정보가 영상의 윗 부분으로 갈수록 커지며 이러한 투영효과를 제거를 위한 사상 $f: I \rightarrow W(x, y, z)$ 과 역투영 $f: W \rightarrow I$ 는 각각 다음의 식(2), (3)과 같이 정의된다.

$$- f: I \rightarrow W$$

$$x(u, v) = h \times \text{ctg}[(\theta - \alpha) + u \frac{2\alpha}{n-1}] \times \cos[(\gamma - \alpha) + v \frac{2\alpha}{n-1}] + l,$$

$$y(u, v) = h \times \text{ctg}[(\theta - \alpha) + u \frac{2\alpha}{n-1}] \times \sin[(\gamma - \alpha) + v \frac{2\alpha}{n-1}] + d,$$

$$z = 0. \quad (2)$$

$$- f: W \rightarrow I$$

$$u(x, y, 0) = \left[\arctg \left[\frac{h \sin \gamma (x, y, 0)}{y - d} \right] - (\theta - \alpha) \right] / \frac{2\alpha}{n-1},$$

$$v(x, y, 0) = \left[\arctg \left[\frac{y - d}{x - l} \right] - (\gamma - \alpha) \right] / \frac{2\alpha}{n-1}. \quad (3)$$

그림 5는 경사도에 따른 도로영상의 역투영결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 평행한 도로가 아닌 경우의 역투영결과는 좁아지거나 넓어지는 특징이 있으며 기울어진 각도에 따라서 도로의 경사도가 결정된다. 결

국 도로의 경사도는 차선의 평행사상을 위해 사용된다.

III 차선 및 차량검출 알고리즘

차선의 경우 투영효과에 의해 삼각형 모양으로 나타나며 차선이 사라지는 부근의 소멸점(vanishing point)은 삼각형상의 꼭지점인 준 소멸점(QVP; quasi-vanishing point)으로 추정될 수 있다. 그림 2는 실제 도로영상에 대한 직선정합을 위한 QVP를 나타낸 것이다. 좌, 우측 양 차선의 중심선으로부터 떨어진 카메라의 수평거리에 따라 QVP의 수평위치가 달라지며 도로의 경사도에 의해 QVP의 수직위치가 결정된다. QVP는 차선에 대한 좌, 우측의 직선 정합에 이용되며 식 (4)과 같이 표현된다. 그림 3은 도로의 오르막경사에 따른 QVP의 위치변화와 차선의 역투영결과를 나타낸 것이다.

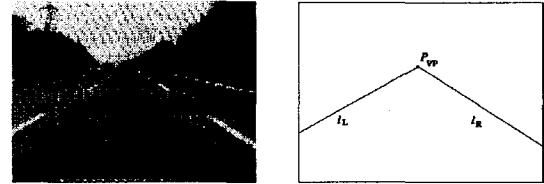


그림 2. 실제 도로차선에 대한 직선정합

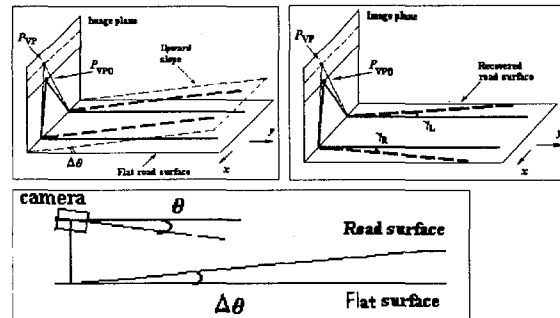


그림 3. 오르막경사가 있는 도로의 QVP, IPM, $\Delta\theta$.

$$l_L: x = t_L y + x_{L0}, \quad l_R: x = t_R y + x_{R0}, \quad (4)$$

여기서 x_{L0} 와 x_{R0} 는 각각 2D영상에서 차선과 수직축과 만나는 좌측과 우측 위치를 나타내며 차선에 대한 직선 정합은 식 (5)와 같이 정의된다.

$$u = kv + x_0, \quad (5)$$

여기서 계수 k 와 x_0 는 다음과 같이 구해진다.

$$k = \frac{n \sum v_j u_j - \sum v_j \sum u_j}{n \sum v_j^2 - (\sum v_j)^2}, \quad x_0 = \frac{\sum u_j - k \sum v_j}{n}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

실제 도로영상에서 차선, 차량을 검출하기 위한 전체

과정이 그림 4에 나타나 있다.

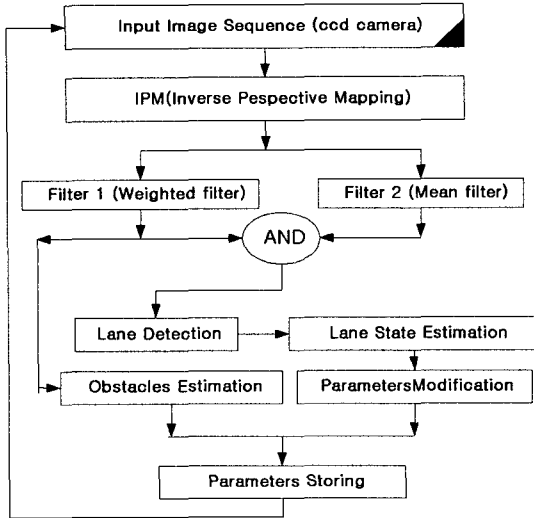


그림 4. 차선 및 차량검출을 위한 개략도

한편, 차량검출은 에지필터와 IPM으로부터 수행될 수 있으며 그림 6은 이론적인 차량에 대한 IPM결과와 에지 검출결과를 나타낸 것이다. 또한, 그림 7은 실제 도로영상에서 차량을 검출하는 과정을 나타낸 것이며 그림 8은 야간도로상에서 전방차량의 후미등을 이용한 차량검출 결과를 나타낸 것이다.

IV. 곡률검출

역 투영에 의한 차선검출결과는 도로의 곡률을 추정하기 위해 영상평면상의 차선의 위치를 근사할 수 있는 기하학적 함수로서 표현된다. 본 논문에서 사용한 근사함수는 $y=f(x)=ax^2+bx+c$ 이며 계수 a , b , 그리고 c 는 차선으로 검출된 화소들의 위치로부터 결정될 수 있으며 다음과 같다. 주어진 (x, y) 좌표의 N 개의 집합은 차선으로 검출된 영상내의 전체 화소의 집합이며 위의 2차 함수의 계수들은 식 (2)의 계수 근사의 오차가 최소가 되게 하는 화소들로부터 추정된다.

$$E = \sum_{j=1}^N (f(x_j) - y_j)^2, \quad (6)$$

따라서 계수 근사 오차 E 는 다음을 만족한다.

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial c} = 0. \quad (7)$$

식 (7)의 결과는 각각 식(8), (9), 그리고 (10)과 같다.

$$\sum_{j=1}^N 2x_j^2(ax_j^2 + bx_j + c - y_j) = 0, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N 2x_j(ax_j^2 + bx_j + c - y_j) = 0, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N 2(ax_j^2 + bx_j + c - y_j) = 0, \quad (10)$$

또한, 위 식들을 연립한 결과는 식(11)과 같다.

$$a \sum_{j=1}^N x_j^2 + b \sum_{j=1}^N x_j + cN = \sum_{j=1}^N y_j, \quad (11)$$

위 식을 만족하는 계수 a , b , c 는 각각 식(12)~(14)로 주어진다.

$$a = \frac{t_{23}t_{12} - t_{13}t_{22}}{t_{21}t_{12} - t_{11}t_{22}}, \quad (12)$$

$$b = \frac{t_{13}t_{21} - t_{23}t_{11}}{t_{21}t_{12} - t_{11}t_{22}}, \quad (13)$$

$$c = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^N y_j - a \sum_{j=1}^N x_j^2 - b \sum_{j=1}^N x_j \right). \quad (14)$$

만약 계수 a 가 $a=0$ 또는 $a \approx 0$ 이면 추정된 2차 포물선은 곡률반경은 무한대인 직선으로 평가된다. 그림 9와 그림 10은 실제도로영상에 대한 곡률검출 과정과 입력 신호열에 대한 계수 a 의 추정결과를 나타낸 것이다.

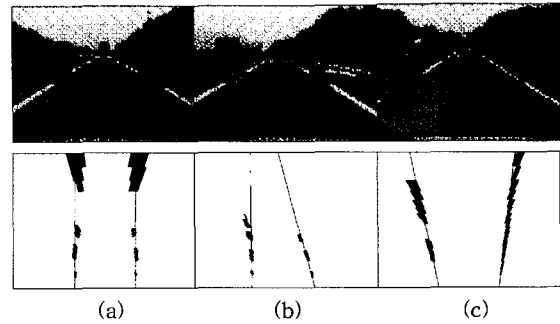
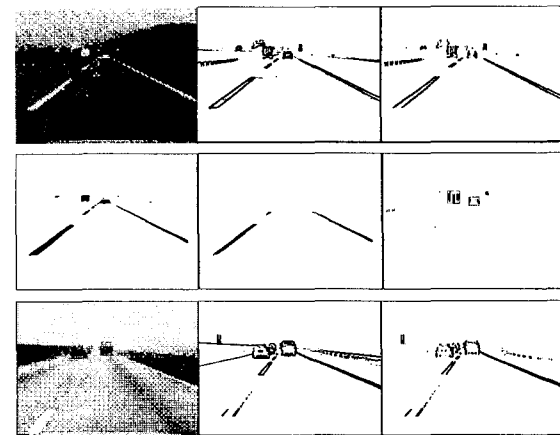


그림 5. 도로면의 경사도에 따른 역투영결과.

(a) 평형도로 (b) 오르막도로 (c) 내리막도로



그림 6. 이론적인 차량의 IPM과 에지검출



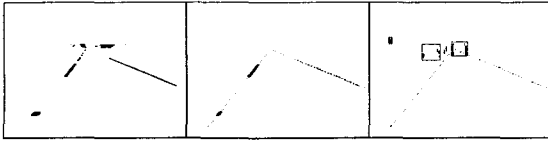


그림 7. 이론적인 차량과 실제차량 검출과정



그림 8. 후미등을 이용한 야간도로에서의 차량검출

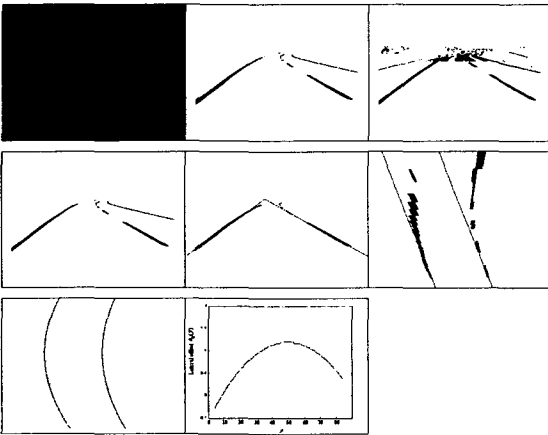


그림 9. 곡률이 있는 도로에서의 직선정합 및 IPM결과

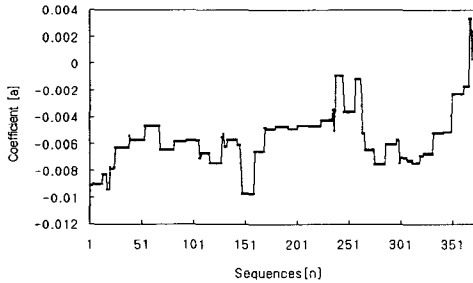
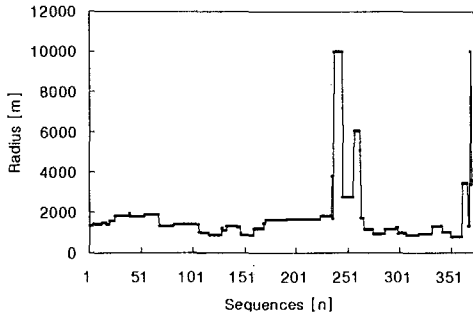


그림 10. 입력신호열에 대한 곡률반경과 계수 a

VI 실험결과 및 결론

제안한 알고리즘은 80-120km/h의 차량속도로 고속도로를 주행하는 환경에서 실험하였으며 알고리즘은 프레임당 5Hz의 처리속도를 나타내었다. IPM을 이용한 입력영상의 처리는 그림 5에서 보듯이 도로면의 경사도에 따라 다르며 오르막과 내리막이 있는 도로의 경우, 기준 수직선에 대한 편각으로부터 초기 θ 값에 대한 수정각도를 계산할 수 있다. 주행중인 차량의 수평방향으로의 위치변화는 IPM에 있어 검출된 차선과 기준 수직선에 대한 각도차이로 나타내며 그림 7의 경우 카메라의 수평위치와 각도는 각각 $d_0 = 0.175m, \gamma = -3.52^\circ$ 이다.

한편, IPM영상의 에지로부터 차량을 검출할 수 있으며 그림 7에 이러한 결과가 나타나 있다. 그림 8은 계수 $a = 0.001766$ 인 실제도로영상에 대한 곡률검출 과정을 나타낸 것이다. 그림 10은 각각 실제 입력신호열에 대한 곡률반경과 계수 a 를 나타낸 것이다. 그림에서 곡률이 없는 직선로의 반경은 편의상 10000[m]로 표시하였다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 고속도로를 주행하는 차량에 탑재된 1개의 CCD입력영상으로부터 평평한 도로뿐 아니라 가변적인 경사도를 갖는 도로의 차선, 차량, 곡률을 효과적으로 검출할 수 있었다. 또한, 기존의 모노 카메라 시스템이 가지고 있는 한계를 극복할 수 있는 장점 때문에 충돌 회피 시스템을 위한 영상처리 알고리즘에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] E. D. Dickmanns, Computer vision and highway automation, *Vehicle System Dynamics*, vol.31, no.5, p 325-344, 1999.
- [2] A. Broggi, Vision-Based Driving Assistance in Vehicles of the Future, *IEEE Intelligent Systems*, Guest Editor's Introduction, p.22-23, Nov-Dec 1998.
- [3] A. Masayoshi, Image Processing in ITS, 1998 *IEEE Int. Conf. on Intelligent Vehicles*, p.1-4, Stuttgart, Germany, Oct., 1998.
- [4] M. Bertozzi and A. Broggi, Vision-based vehicle guidance, *IEEE Computer*, vol.30, no.7, p.49-55, 1997.
- [5] M. Bertozzi and A. Broggi, GOLD: a parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection, *IEEE Trans. on Image Proc.*, vol.7, no.1, p.62-81, Jan. 1998.
- [6] J. H. Seo, H. C. An, S. S. Jeong, Y. G. Kong, Development of lane deviation warning & preventing system through vision system and steering control, *Proc. of Int. Conf. on ITS98*, CD-version, Korea, Oct. 1998.