

단일 시선 기하구조 기반 주행차선 및 장애물 인식 알고리즘

A Recognition Algorithm for Vehicle Road Lanes and Obstacles Based on Single View Geometric Constitution

김정현, 송성희, 정용배, 서경호, 김태호
경남대학교 정보통신공학과

Jung-hyun Kim, Sung-hee Song, Yong-bae Jung, Kyung-ho Seo, Tae-hyo Kim
Dept. of Information & Communication, Kyungnam University
E-mail : hyo@kyungnam.ac.kr

요 약

본 논문에서는 1대의 CCD카메라로 주행 중 차선과 선행차량을 인식하고 선행차량까지의 거리를 실시간으로 계측하는 알고리즘을 제시하였다. 도로와 카메라간의 기하구조를 분석하여 사영행렬을 추출하였고, 주행 중 차간 거리를 실시간으로 계측하는데 이용하였다. 또한 차선 인식을 위해서 Hough Transform을 적용하여 처리시간을 단축하였다. 도로상의 장애물은 인식된 주행차선 내로 한정하였고 도로 영상에서 수평에지성분을 구한 후 히스토그램 투영을 적용하여 장애물을 검출하였다. 거리가 점차 멀어질수록 계측오차가 증가함을 볼 수 있었으나 기존의 방법에 비하여 주행 중에 운전자가 장애물을 판단하여 제동을 취할 수 있는 정도의 유효한 오차특성을 보였다.

1. 서론

부가가치가 높은 자동차 산업에 여러 가지 운전자 보조 수단들을 개발하여 설치하거나 탑재하여 사고의 예방에 많은 연구가 이루어지고 있다. 이것은 운전자의 안전을 확보하기 위함이고 더욱 편안한 운전을 실현하고자 하는 요구이다. 이러한 안전과 사고 방지를 위한 목적으로 여러 분야에서 연구가 진행 중에 있고, 특히 화상처리를 이용한 비전시스템 개발로 자율주행을 실현하는 연구가 성행하고 있다.[1][2][3]

비전시스템을 이용하는 경우 차량에 카메라를 설치하고 이를 처리하기 위한 프로세서와 기타 주변장치를 탑재하여 도로의 상황 정보를 계산하고 판단한 결과를 시각 및 청각적으로 운전자에게 제공함으로써 사고를 미연에 방지할 수 있다. 그러나 이를 실현하고 상용화하기 위하여는 많은 제약과 문제점이 따른다. 아직 기존의 프로세서

나 영상처리 기술이 실시간 처리에 적합하지 않고 고가이기 때문에 상용화하거나 저가의 시스템을 갖추기가 어려운 실정이다. 일부 고급 자동차에만 존재하는 시스템은 그 가치가 줄어들게 된다. 따라서 저가의 시스템 구현이 가능한 알고리즘의 개발이 필요하다.

기 발표된 알고리즘들[2][3]은 전처리 과정에서 에지 검출을 위해서 많은 영역을 탐색하고 시간을 소비하는 것을 볼 수 있고 차선의 특징점을 찾기 위해 탐색 및 처리를 하는데 많은 시간을 소비하고 있다. 또한 영역을 축소해서 처리속도를 높이기 일환으로 sub-block이나 sub-window를 사용하는데 고정 또는 가변일지라도 차선을 고르게 탐색할 수 없을 뿐 아니라 주요한 차선의 일부를 놓칠 가능성도 크다. 차선의 모양과 특성을 검출하는데 있어 미흡하고 장애물이나 도로의 상태에 따른 인식률을 보장할 수 없는 단점이 있

다.[4]

따라서 본 논문에서는 카메라 Calibration을 이용하여 1대의 CCD 카메라로 차선을 인식하고 주행 중인 차량과 선행 차량과의 거리를 계측하는 알고리즘을 제시하였다. 허프변환과 적응적 임계값 처리를 통하여 실시간으로 차선을 인식할 수 있었고, 도로와 카메라간의 기하관계를 분석하여 주행 차량 사이의 거리를 계측할 수 있었다.

2. 카메라 Calibration 알고리즘

2.1 영상평면 좌표와 카메라 좌표

식 (1)은 이상적인 핀홀 카메라 모델에서 얇은 삼각형의 성질을 이용하여 유도해 낼 수 있다.[5]

$$s \cdot \bar{m}_s = P \cdot M_c$$

(1)

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

s : 영상의스케일(크기)

\bar{m}_s : 영상 평면 좌표에 대한 확장벡터

M_c 카메라 좌표에 대한 확장벡터

$$P = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ 사영 행렬}$$

2.2 디지털 영상평면 좌표와 영상평면 좌표

그림 1은 카메라 내부 변수를 나타낸 것이며 카메라 내부변수를 고려할 때의 영상좌표는 식 (2)와 같이 된다.

$$\bar{m} = H \cdot \bar{m}_s \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

\bar{m} : 디지털 영상 평면 좌표

k_u = 촬상 소자 [CCD 단위셀]의 수평축 길이

k_v = 촬상 소자 [CCD 단위셀]의 수직축 길이

u_0, v_0 = 디지털 영상 평면의 중심 좌표

θ : CCD 단위셀의 수직축과 수평축이 이루는 각도

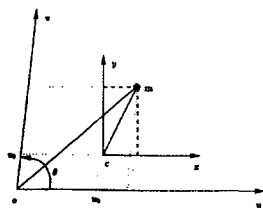


그림 1 카메라 내부 변수

2.3 디지털 영상평면 좌표와 실세계 좌표

디지털 영상평면 좌표계와 실세계 좌표계 사이의 관계식은 카메라 내부변수와 외부변수를 고려하여 다음 식(3)과 같이 행렬의 결합 형태로 나타낼 수 있다.

$$s \cdot \bar{m} = H \cdot P \cdot D \cdot M_w$$

(3)

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

싱글 카메라를 사용하여 도로평면 위의 임의의 점에 대한 실세계 좌표를 구하는데 식(3)이 적용되어지며, 이러한 경우 도로 영상은 평면인 것으로 가정하고 카메라와 도로간의 기하적 변화에 대한 계산 오차들은 무시되는 것으로 간주한다. 그림 2는 도로에서 카메라의 Calibration을 위한 기하학적 모델을 나타낸 것이다.

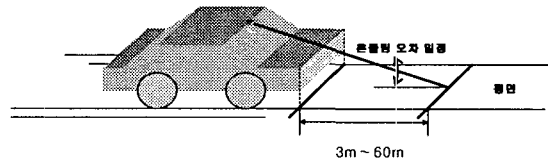


그림 2 카메라와 도로간의 기하적 모델

3. 차선인식 알고리즘

3.1 도로 영상 및 좌표계 설정

도로영상 데이터는 영상프레임 높이의 5분의 4 위치에 소실점이 오도록 화각을 세팅한다. 그림 3은 도로영상과 좌표계 설정을 나타내는 것이다.

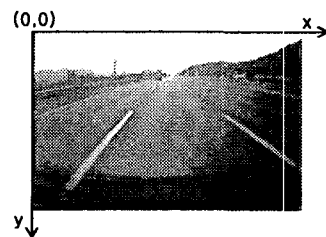


그림 3 도로영상과 좌표계 설정

3.2 차선검출을 위한 전처리과정

3.2.1 에지 검출

본 논문에서는 Roberts가 제안한 Point(i, j)에서의 Gradient G를 이용하였다.[6]

$$G = |\langle F, G_x \rangle| + |\langle F, G_y \rangle| \quad (4)$$

여기서

$$F = \begin{bmatrix} f(i, j) & f(i, j+1) \\ f(i+1, j) & f(i+1, j+1) \end{bmatrix}$$

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

이다.

3.2.2 차선 검출을 위한 임계 값 계산

차선 영역을 스캐닝 하여 밝기 최대값, Pl_{max} 와 Pr_{max} 를 찾고 좌우 도로영역의 평균 밝기 값 Pl_{var} , Pr_{var} 을 구한다. 최종적인 좌우 차선의 임계 값은 각각 식(5), 식(6)과 같이 계산되어지며 도로영역과 차선과의 밝기 관계를 그림 4에 나타내었다.

$$THl = 0.75Pl_{max} + 0.25Pl_{var} \quad (5)$$

$$THr = 0.75Pr_{max} + 0.25Pr_{var} \quad (6)$$

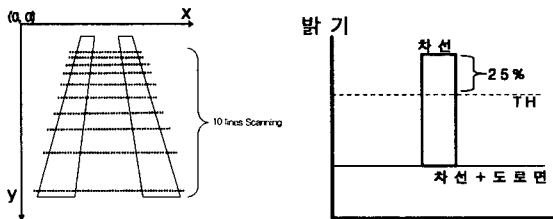


그림 4 라인 스캐닝과 임계값 설정

3.2.3 차선 후보 점 검출

초기 시스템 시작 시 혹은 차선을 놓치거나 차선 변경 때에는 그림 5(a)와 같이 화면 대칭축에서부터 바깥쪽 방향으로 스캔하여 밝기 값이 임계 값보다 큰 첫 번째 픽셀을 라인별로 구한다. 그리고 차량이 주행 중일 경우는 (b)와 같이 이전 차선을 중심으로 $\theta \pm d\theta$ 를 탐색하여 차선의 후보 점들을 추출한다.

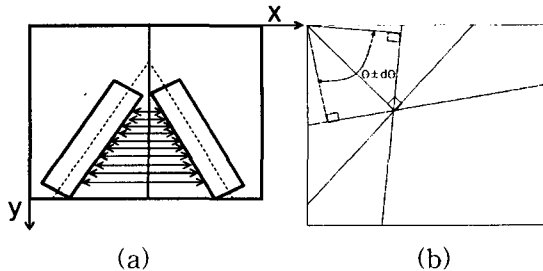


그림 5 초기시(a)와 주행 중(b)의 차선 후보 점검출

3.3 차선인식

차선 외곽 픽셀에 호우변환을 적용하면 차선을 나타내는 직선을 구할 수 있다. 이러한 호우변환은 식(7)과 같으며 그림 6에 나타내었다.[6]

$$\rho = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (7)$$

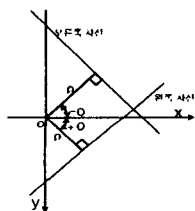


그림 6 HT 변환

차선을 나타내는 $\rho - \theta$ 평면에서의 유일한 한 점 대신에 가장 조밀한 교차점들의 분포를 구하며 이때 많은 처리시간과 노이즈 문제를 해결하기 위하여 교점을 구하는 영역을 그림 7과 같이 최소 범위로 제한하였다.

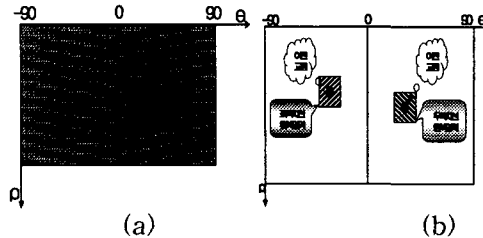


그림 7 초기 차선 탐색 영역 맵(a)과 주행 중 탐색 영역조정(b)

4. 장애물(선행차량)검출 알고리즘

4.1 탐색영역 설정

전방차량의 유무를 판단하는 것은 주행 차선 내에서의 수평에지를 검출하므로써 가능하다. 그림 8은 차량 탐색을 위한 영역을 나타낸 것이다.

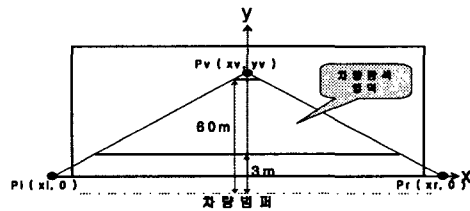


그림 8 차량탐색 영역

4.2수평에지 검출 및 장애물 인식

그림 9와 같이 차량탐색영역의 범위내에서 수평방향의 에지들을 투영하여 누적하였을 때 임계 값 보다 큰 지점을 장애물이 있는 위치로 정한다. 이를 식(8)과 같이 나타내었다.

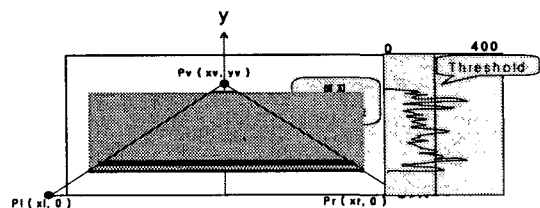


그림 9 수평에지 투영

$$\begin{aligned} & \text{각 라인별 수평에지 투영치} \\ & = \frac{\text{에지 이치화된 픽셀수}}{\text{전체픽셀수}} \times 400 \quad (8) \end{aligned}$$

5. 차선 및 장애물 인식처리 순서도

그림 10은 차선인식 및 장애물인식에 대한 전체적인 영상처리의 순서도를 나타낸다.

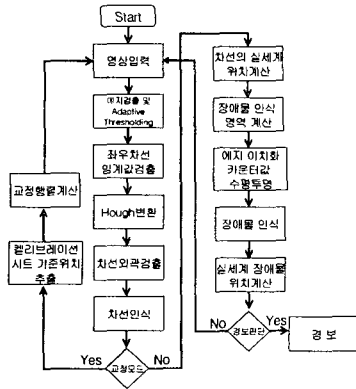


그림 10 차선 및 장애물 인식처리 순서도

6. 실험 및 결과

그림 11과 같이 카메라에서 획득한 영상에 변환공식을 적용하여 <표 1>과 같이 사영행렬을 산출하였다.

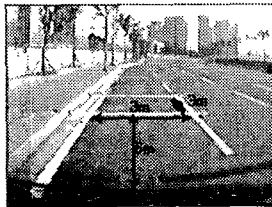


그림 11 카메라 캘리브레이션 과정

Camera 변수	
추출된	-49.3117 -30.5522 17855.2464
사영행렬	0.0 224.8152 -56878.238
	0.0 -74.8067 7840.0856

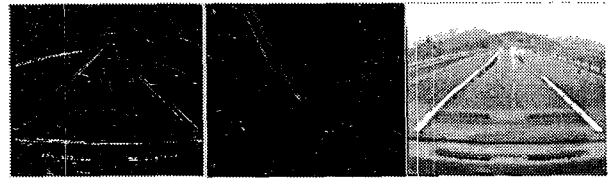
표 1 추출된 사영행렬

<표 2>는 여러 가지 실제거리를 Calibration 처리에 의한 계측 결과와 비교한 것이다. 거리가 점차 멀어질수록 그 오차가 증가함을 알 수 있으나 주행 중에 운전자가 장애물을 판단하여 제동을 취할 수 있는 정도의 유효한 오차특성을 가진다고 판단된다.

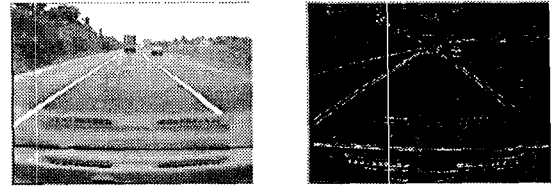
계측거리 (m)	연산거리 (m)	발생오차 (m)
7	6.513	0.487
8	7.238	0.762
9	8.210	0.790
10	9.153	0.847
30	26.505	3.495

표 2 Calibration 결과의 오차 특성

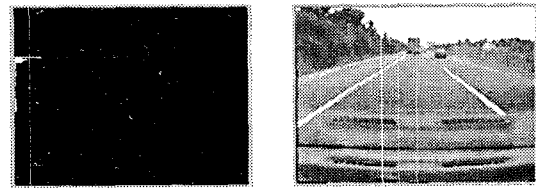
그림 12는 도로영상을 에지검출을 한 후에 HT 변환을 이용하여 차선을 검출한 결과이다. 그리고 그림 13은 각각 (a) 원영상, (b) 수평에지 검출, (c) 수평에지 투영, (d) 장애물 검출을 나타낸다. 검출된 장애물까지의 거리는 39.5m로 계측되었다.



(a) 에지검출 (b) 허프변환 맵 (c) 차선인식
그림 12 차선인식 결과



(a) 원 영상 (b) 수평에지검출



(c) 수평투영 히스토그램 (d) 장애물검출
그림 13 장애물 검출 결과

7. 결론

본 논문에서는 Single CCD카메라를 이용하여 도로와 차선의 기하구조를 이용하여 3차원 좌표계의 Calibration 알고리즘을 확립하였고, 허프변환에서 ρ 와 θ 의 검출범위를 상황에 따라 변경되도록 고안하였다. 본 알고리즘은 기존의 sub-window 알고리즘보다 특징점 탐색영역의 감소로 처리속도가 상당히 향상되었다.

참고문헌

- [1] Zehang Sun, Ronald Miller, George Bebis and David DiMeo, "A Real time Precrash Vehicle Detection System", 2002. IEEE.
- [2] Narayan Srinivasa, "Vision-based Vehicle Detection and Tracking Method for Forward Collision Warning in Automobiles", Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE.
- [3] Luigi Di Stefano and Enrico Viarani, "Vehicle Detection and Tracking Using the Block Matching Algorithm", 1999. IEEE.
- [4] Rongben Wang, Youchun Xu, Libin and Yu fan Zhao, "A Vision-Based Road Edge Detection Algorithm", Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE.
- [5] Gang Xu and Zhengyou Zhang, "Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition", Kluwer Academic Publishers.
- [6] Luciano da Fontoura Costa and Roberto Marcondes Cesar Jr, "Shape Analysis and Classification", CRC Press, pp.365-400, 2001.