

Hough 변환과 2차 곡선 근사화에 기반한 효율적인 차선 인식 알고리즘

권 화 중[†] · 이 준 호^{††}

요 약

무인 자율 주행 시스템의 개발에는 전방의 장애물 검출 및 거리 계산이 필수적이다. 전방 장애물 검출시 입력 영상에는 검출하고자 하는 도로면 상의 물체뿐만 아니라 도로 주변에 가로수, 표지판 등 관심 외적인 요소들이 함께 존재한다. 이러한 관심 외적인 요소들을 제거하기 위해 탐색 영역을 차선의 안쪽으로 제한시켜 계산 시간을 단축하고 관심의 대상이 되는 물체만 검출하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 관심의 대상이 되는 전방 장애물 검출을 위하여, 탐색영역을 제한하는 간단하고 효율적인 차선 검출 알고리즘을 제시한다. 제안된 알고리즘은 Hough 변환을 이용하여 차선으로 추측된 영역에 수평탐색 영역과 2차 곡선의 근사화를 이용하여 정확하게 직선 차선 및 곡률을 지닌 차선을 검출하게 된다. 실험 결과로부터 제안한 알고리즘이 직선의 차선 뿐만 아니라 곡률을 지닌 차선 검출을 효과적으로 수행할 수 있는 실시간 시스템에 적합하다는 것을 보여준다.

An Efficient Lane Detection Algorithm Based on Hough Transform and Quadratic Curve Fitting

Hwa-Jung Kwon[†] · June-Ho Yi^{††}

ABSTRACT

For the development of unmanned autonomous vehicle, it is essential to detect obstacles, especially vehicles, in the forward direction of navigation. In order to reliably exclude regions that do not contain obstacles and save a considerable amount of computational effort, it is often necessary to confine computation only to ROI(region of interest)s. A ROI is usually chosen as the interior region of the lane.

We propose a computationally simple and efficient method for the detection of lanes based on Hough transform and quadratic curve fitting. The proposed method first employs Hough transform to get approximate locations of lanes, and then applies quadratic curve fitting to the locations computed by Hough transform.

We have experimented the proposed method on real outdoor road scene. Experimental results show that our method gives accurate detection of straight and curve lanes, and is computationally very efficient.

1. 서 론

주행중인 자동차의 근접거리에 존재하는 차량의 유

무 및 존재하는 차량까지의 거리 계산은 무인 자율 자동차 관련 핵심 기술로서, 안전 운전엔 필수적이다. 특히, 진행 방향에 위치한 일단의 장애물들은 차량의 운행과 안전에 직접적인 영향을 미치므로 이를 미리 검출하고 운전자에게 충분한 주의를 주는 것이 중요하다. 이러한 전방 장애물 검출시에, 관심의 대상이 되는

* 본 연구는 1997 성균학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.
† 준 회 원 : 성균관대학교 대학원 전기전자·컴퓨터공학부
†† 정 회 원 : 성균관대학교 전기전자·컴퓨터공학부 교수
논문접수 : 1999년 6월 9일, 심사완료 : 1999년 10월 29일

도로상에 있는 전방의 물체뿐만 아니라, 관심의 대상이 되지 않는 가로수, 표지판, 가드레일 등도 함께 입력 영상으로 들어오게 된다(그림 5(a)참조). 관심의 대상이 되지 않는 요소들은 전방 장애물 검출을 어렵게 만들기 때문에 관심 영역을 제한하여 전방의 물체를 효율적으로 검출하기 위한 방법으로 차선을 인식하는 것이 필요하다.

기존의 차선 인식 연구에 대한 요약이 <표 1>에 나타나 있다. 기존의 방법으로는 likelihood function과 chi-square를 사용해 적절한 template를 매칭 하는 방법[1, 3], DCT를 수행한 후에 deformable template를 이용하는 방법[2], 기하적인 변환과 신속한 morphology방법[4] 등이다. 이러한 방법들은 기상 변화와 빛의 명암 변화 등의 다양한 도로 환경에 적용이 가능하다고 보고되어 있지만 구현하기에 복잡하며 계산 처리량이 많아 실시간으로 구현하기에는 고가의 많은 하드웨어가 필요하다는 단점이 있다.

본 논문은 고속도로와 같은 차선이 직선 또는 완만한 커브 형태를 지나는 도로에서 Hough 변환과 수평 탐색 영역 및 2차 곡선의 근사화를 이용하여 쉽고 정확하게 차선을 인식할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 실험 결과로부터 제안한 알고리즘이 전방의 차선 검출을 효과적으로 수행할 수 있는 실시간 시스템에 적합하다는 것을 보여 준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 연구 배경 및 제안한 알고리즘에 대해서 소개하며, 3절에서는 제안한 구체적인 알고리즘에 대하여 설명하고 4절에서

는 알고리즘을 실제 영상에 적용한 실험 결과 및 고찰을 기술하였다. 마지막으로 5절에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 기술한다.

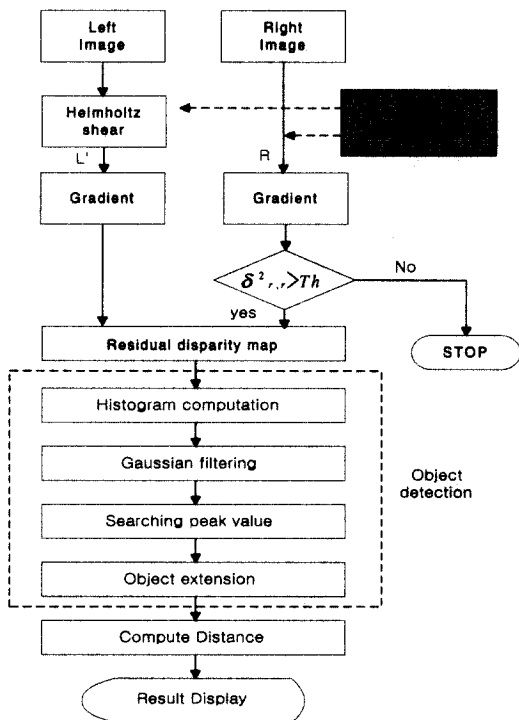
2. 연구 배경 및 전방 장애물 검출 알고리즘의 개요

본 연구는 자율 주행 차량의 구현을 위한 스테레오 기반 거리 계산 시스템 개발의 일부로서 전체 시스템의 효율성을 증대하기 위한 ROI 검출에 대한 연구이다. 본 연구 결과가 이용되어지는 전체 시스템의 개요는 다음과 같다(그림 1 참조). 전체 시스템은 크게 Helmholtz shear[6]를 이용한 residual disparity map을 구하는 부분, 전방의 장애물을 검출하는 부분, 그리고 검출된 장애물까지의 거리를 구하고 표시하는 세 모듈로 나누어진다. 첫 번째 모듈에서는 두 대의 카메라를 통하여 획득한 스테레오 영상 중 왼쪽 영상에 관하여 Helmholtz shear를 취함으로써 오른쪽 시각의 영상으로 변환한다. 이렇게 변환된 영상 L'과 오른쪽 원 영상 R은 도로면이 아닌 부분에서만 차이를 보이게 된다. L'과 R 각각에 Sobel 연산자를 적용하여 에지 정보를 추출하고, 문턱치(threshold)를 이용하여 의미 있는 점(point of interest, POI)들을 구성한 후 이들에 대하여 residual disparity map을 구한다. 이렇게 구해진 residual disparity에서 장애물에 해당되는 영역은 non-zero disparity(residual disparity)를 가지게 된다. 두 번째 모듈에서는 첫째 모듈에서 얻어진 residual disparity map으로부터 전방

<표 1> 기존의 차선 인식 연구 요약

저자 및 제목	발표 년도	특 징	장 점	단 점
A. Kaske et al. [1]	'97	energy, homogeneity, contrast 등과 같은 통계적인 표준 사용과 chi-square fitting 사용	비도로면의 경계 검출이 가능	통계적인 표준을 사용하기 때문에 처리량 증가
C. Kreucher et al. [2]	'97	주파수 영역을 이용하고 deformable template를 이용	다양한 도로 상황에 적용이 가능	DCT 사용에 의한 처리량 증가
A. Kaske et al. [3]	'95	likelihood function과 적절한 template를 선택하기 위한 chi-square fitting 사용	도로에 대한 사전 지식이 불필요하며 다양한 기상과 도로 상태에 강인	
A. Broggi [4]	'95	기하학적인 변환과 신속한 morphological한 방법을 사용	그림자가 매우 진 도로면에서도 lane 검출 가능	스테레오 이미지 사용에 의한 처리량 증가와 도로의 사전 지식이 필요
D. Pomerleau [5]	'95	가설과 검정 방법을 사용	도로의 급격한 변화에 대한 신속한 적용성과 다양한 기상 상태에도 적용 가능	변적거리는 것은 도로면에서의 오차 증가

장애물을 검출한다. 세 번째 모듈에서는 검출된 장애물까지의 거리를 계산하고 운전자에게 계산된 거리를 차량 내부의 모니터에 표시해 준다. 본 연구의 내용은 블록 다이어그램의 진한 부분인 ROI 검출에 대한 연구이다.

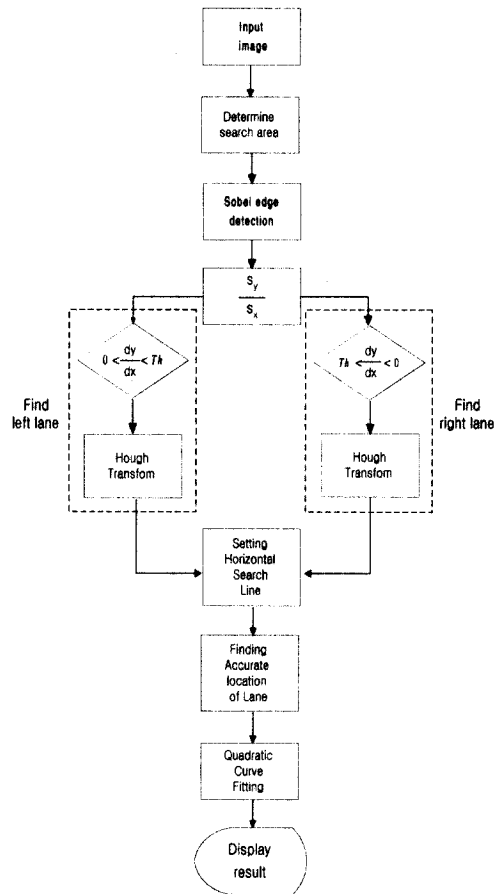


(그림 1) 전체 시스템

3. 제안한 알고리즘

앞에서 기술한 바와 같이 본 연구의 내용인 차선 인식 알고리즘은 (그림 1)의 전체 블록 다이어그램의 진한 부분에 해당되고, 이 부분의 자세한 블록 다이어그램은 (그림 2)에 나타나 있다.

본 논문이 제안하는 알고리즘은 크게 두 부분으로 나눌 수가 있다. 첫 번째 부분은 왼쪽차선 에지와 오른쪽 차선 에지로 분리한 후에 Hough 변환을 이용하여 대략적인 차선의 위치를 추측하는 것이고, 두 번째 부분은 추측된 차선의 영역으로부터 수평 탐색영역과 2차 곡선의 근사화를 이용하여 정확히 차선을 인식하는 부분이다.



(그림 2) 차선 검출 알고리즘

3.1 Hough 변환을 이용한 차선의 추측

차선의 위치는 보통 차량 앞면의 좌측과 우측에 존재하므로 입력 영상의 전체가 아닌 일부에서 차선의 위치를 탐색하면 차선을 검출하기 위한 시간을 줄일 수가 있다. 입력 영상에는 지평선에 해당되는 vanish line이 존재하고 도로는 vanish line의 아래 부분에 존재하기 때문에 차선을 검색하기 위한 탐색 영역은 vanish point와 입력 영상의 좌측과 우측의 끝점인, (그림 3)의 진한 부분이 되며 이 탐색 영역 안에서 Sobel 연산자를 이용하여 에지 normal 각을 구하여 왼쪽 차선 에지와 오른쪽 차선 에지를 분리한다.

일단 정해진 탐색 영역에서 Sobel 연산자를 이용하여 영상을 x 와 y 방향 각각에 대하여 미분한 값인 s_x 와 s_y 를 구하게 되어, s_y 를 s_x 로 나눈 $\frac{s_y}{s_x}$ 를 이용하면

(그림 4(a))에서 보여진 영상의 수평 성분과 에지 normal 사이의 각인 에지 normal 각의 값을 알 수 있으므로 (그림 4(b))와 같이 에지 normal 각이 +인 값을 가지는 오른쪽 차선을 구하기 위한 영상과 에지 normal 각이 -의 값을 가지는 왼쪽 차선을 구하기 위한 영상으로 분리 할 수가 있다. (그림 5)에는 입력 영상(그림 5(a))에서 에지 normal 각이 -인 에지 영상(그림 5(b))과 에지 normal 각이 +인 에지 영상(그림 5(c))으로 분리 되어진 결과가 나타나 있다.

이렇게 에지 normal 각의 값으로 분리되어진 두 영상들은 필요없는 데이터도 존재하게 되므로 문턱치를 이용하여 제거하는 것이 필요하다. 일반적인 차선은 흑색의 아스팔트보다 grey level이 높으므로 grey level에 대하여 문턱치를 취하게 되고 또한 에지 normal 각의 값이 일정 영역의 범위를 가져야 하므로 에지 normal 각에 대해서도 문턱치를 취하게 된다. 문턱치를 취한 에지들에 대하여 에지 normal 각의 값이 +값을 갖는 에지와 -값을 갖는 에지에 대하여 Hough 변환을 취하여 왼쪽과 오른쪽에 대한 차선에 대한 대략적인 위치를 추측하게 된다. (그림 5(d))영상은 Hough 변환에 의해 차선의 대략적인 위치를 추측한 결과를 나타내고 있다.

위와 같이 차선의 에지를 왼쪽과 오른쪽 차선 에지로 각각 분리한 이유로는 Hough 공간 상에서 최대값을 가지는 셀이 나타내는 파라미터로 차선으로 추측하게 되는데, 차선의 영상을 두 개의 차선 에지들로 분리할 경우, 각 영상에 대하여 하나의 최대값을 가지는 하나의 차선을 찾으면 되므로 차선 추측에 대한 신뢰

성이 증대되며 또한 왼쪽 차선과 오른쪽 차선에 대한 구별이 쉬워지기 때문이다. 반면에 왼쪽 차선의 에지와 오른쪽 차선의 에지로 분리하지 않고, 하나의 차선 에지 영상으로 두 차선을 추측할 경우, Hough 공간 상에서 두 개의 최대 값을 갖게 되므로 차선이 아닌 부분을 차선으로 추측하는 문제가 발생하게 된다. 예로, 오른쪽 차선 에지가 왼쪽 차선 에지보다 긴 두 개의 직선 에지들로 되어 있을 경우, 이 두 직선 에지들은 차선으로 추측하게 된다. (그림 6)은 왼쪽 차선의 에지와 오른쪽 차선의 에지로 분리하지 않은 차선 에지 영상으로 인해 차선이 잘못 추측된 예를 보여준다.

3.2 차 곡선 근사화를 이용한 정확한 차선의 검출

Hough 변환을 이용하여 차선의 위치를 추측한 후에, 추측된 차선을 따라서 일정 간격으로 샘플링된 수평 탐색을 위치시키게 된다(그림 5(a)). 정해진 수평 탐색 영역 안에서 정확한 차선의 위치를 얻게 되는데, 보통 아스팔트 도로의 차선의 grey level 값은 높으므로 수평 탐색 영역 안에서 가장 높은 grey level의 값을 갖는 곳이 정확한 차선의 위치가 될 수 있다(그림 5(b)). 하지만, 샘플링된 탐색 영역 안에서 얻어진 차선은 모든 차선의 위치를 나타낸 것은 아니며 또한 검출된 차선의 위치는 오차를 가질 수 있기 때문에 많은 데이터를 획득하여 곡선으로 근사화 하는 것이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 표본화된 차선의 위치를 2차 식으로 근사화 시켰다. 즉, 2차 식으로 근사화시키는 식이 다음 같다면,

$$x = c_1y^2 + c_2y + c_3 \tag{1}$$

(1)식의 c_1, c_2, c_3 을 구하기 위한 행렬은 다음과 같다.

$$AC = B \tag{2}$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i^4 & \sum_{i=1}^n y_i^3 & \sum_{i=1}^n y_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i^3 & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n y_i^0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i^2 x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \tag{3}$$

(그림 6) 왼쪽 차선의 에지와 오른쪽 차선의 에지로 분리하지 않은 차선 에지 영상으로 인하여 잘못 추측된 차선 검출 예

이며, L 은 데이터의 수를 나타낸다.

c_1, c_2, c_3 를 구하기 위한 C 는 Pseudo-Inverse 방법에 의하여 다음 식에 의하여 풀 수가 있다[8, 9].

$$C = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (4)$$

최종적으로 차선을 인식한 영상이 (그림 7(d))에 나타나 있다.

4. 실험 결과 및 고찰

(그림 8)은 233MHz pentium II 컴퓨터로 인터넷에서 공개된, 256×256 테스트 이미지[12]에 본 논문이 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 보여주고 있다. 보여진 결과는 본 논문이 제안한 알고리즘이 직선의 도로(그림 8(a), (c)) 및 곡률(그림 9(b), (d))을 지닌 도로에서 정확하게 차선을 인식한 것을 보여 주며, 또한 전방에 차량이 존재 할 경우(그림 6(b), (c))에도 차선이 잘 인식된다는 것을 보여 준다. 그러나, 카메라로부터 멀리 존재하는 차선은 잘 인식되지 않는데, 그 이유는 카메라의 시야(field of view)로 인하여 카메라로부터 멀리 존재하는 차선은 영상에서 명확하지 않기 때문이다.

100개의 테스트 영상으로 차선 인식을 실험해 본 결과 90개의 영상에서 차선이 잘 인식되었으며, 결과에 대한 객관적인 정량적 판단 방법이 없기 때문에 시각을 통해 판별하였다. <표 2>에는 본 알고리즘의 초당 처리 프레임 수와 차선 인식 성공률이 나타나 있다.

<표 3>은 계산 시간 측정을 위한 알고리즘의 단계별 계산량에 관한 도표이다. 표에서 보이는 바와 같이 Hough 변환의 계산 복잡도가 본 논문의 알고리즘에서 가장 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 논문이 제안하는 알고리즘의 처리량을 줄이기 위해서는 연속되는 동영상 정보를 활용하여 첫 번째 프레임에서만 Hough 변환을 사용하여 차선을 추측하고, 그 이후 프레임부터는 수평 탐색 영역과 2차 곡선 근사화만을 이용하여 차선을 인식하는 것이 필요하다.

<표 2> 차선 인식 계산 시간 및 차선 인식 성공률

초당 프레임 수	차선 인식 성공률
2 frames/sec	90%

(그림 7) 수평 탐색 영역을 이용한 차선의 2차 곡선으로 근사화

〈표 3〉 알고리즘의 단계별 계산량

알고리즘의 단계	복잡도(%)
에지 검출	4.759
Hough 변환	95.186
수평 탐색 영역 설정	0.004
정확한 차선의 위치 검출	0.002
Pseudo Inverse 방법에 의한 2차 곡선의 계산	0.048

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 차량 전방의 차선을 인식하기 위한 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 Hough 변환을 이용하여 차선으로 추측된 영역에 수평 탐색 영역과 2차 곡선의 근사화를 이용하여 정확하게 차선을 검출하게 된다. 실험 결과에서도 보여 주듯이 본 논문이 제안한 알고리즘은 직선의 도로와 곡률이 적은 도로에서 차선을 정확하게 검출하였다. 또한 실험 결과에서는 2차식에 의한 근사를 이용함으로써 수평 탐색영역에서 얻어진 데이터가 오차에도 강인함을 보여 주었다. 마지막으로 본 논문의 알고리즘을 곡률이 적은 도로에 적용했지만, 곡률이 큰 도로에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Axel Kaske, Didier Wolf and René Husson, "Lane boundary detection using statistical criteria," International Conference on Quality Control by Artificial Vision, QCAV '97, 1997.
- [2] Chris Kreucher and Sridhar Lashkmanan, "LANA : A lane extraction algorithm that uses frequency domain features".
- [3] Axel Kaske, René Husson and Didier Wolf, "Chi-square fitting of deformable templates for lane boundary detection," IAR Annual Meeting '95, November, 1995.
- [4] Alberto Broggi, "Robust real-time lane and road detection in critical shadow conditions," In Proceedings IEEE International Symposium on Computer Vision, November 19-21, 1995.
- [5] Dean Pomerleau, "RALPH : Rapidly adapting lateral position handler," 1995 IEEE Symposium on Intelligent Vehicles. 1995.
- [6] H. v. Helmholtz, "Treatise on Physiological Optics," Vol.1-3, Dover, NY, 1925.

- [7] 권화중, 이준호, "전방 장애물 검출을 위한 효율적인 차선 인식 알고리즘", 제26회 한국정보과학회 '99 봄 학술발표, 1999년 4월.
- [8] S. Nakamura, "Numerical analysis and graphic visualization with Matlab," Prentice Hall, 1996.
- [9] D. Ballard and C. Brown, "Computer Vision," Prentice Hall, 1982.
- [10] E. Trucco and A. Verri, "Introductory techniques for 3-D Computer Vision," Prentice Hall, 1998.
- [11] 권화중, 이준호, "2차 곡선 근사화를 이용한 효율적인 차선 인식 알고리즘", 제12회 신호처리합동학술대회 논문집, 1999년 10월.
- [12] <http://www.ien.it/iengf/is/vislib.html>.



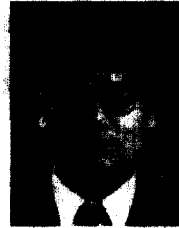
권 화 중

e-mail : hjkweon@ece.skku.ac.kr

1998년 강원대학교 전기공학과
졸업(공학사)

1998년~현재 성균관대학교 대학원
전기전자 및 컴퓨터공학부
석사과정 재학중

관심분야 : 컴퓨터 비전, 물체 인식 및 추적, 컴퓨터 그래픽스 등



이 준 호

e-mail : jhyi@yurim.skku.ac.kr

1985년 서울대학교 전기공학과
졸업(공학사)

1987년 The Pennsylvania State
University 졸업(공학석사)

1989년~1989년 삼성종합기술원
연구원

1994년 Purdue University 졸업(공학박사)

1994년~1995년 Univ. California, Riverside, 연구원

1995년~1997년 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원

1997년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부
조교수

관심분야 : 컴퓨터 비전, 컴퓨터 비전 기반 인간과 컴퓨터 상호 작용, 멀티미디어 등