

Cubic Spline 곡선을 이용한 곡선 차선 인식에 관한 연구

A Study on the detection of curve lane using Cubic Spline

강 성 학, 정 차 근
Sung-Hak Kang, Cha-Keon Cheong

Abstract - This paper propose a new detection method of curve lane using Catmull-Rom spline for recognition various shape of the curve lane. To improve the accracy of lane detection, binarization and thinning process are firstly performed on the input image. Next, features on the curve lane such as curvature and orientation are extracted, and the control points of Catmul-Rom spline are detected to recognize the curve lane. Finally, Computer simulation results are given using a naturel test image to show the efficiency of the proposed scheme.

Key Words Catmull-Rom spline, curve lane detection, vanishing line.

1. 서론

최근 들어 첨단기술을 이용한 지능형 자동차에 관한 연구가 국내외적으로 이루어 지고 있다. 그 중에서 비전 시스템을 이용한 차선의 인식은 지능형 자동차 구현을 위한 핵심요소 기술의 하나이다. 일반적인 차선은 매우 다양하고, 복잡한 형상을 나타내고 포함하고 있음으로 인해, 비전 시스템을 이용해서 보다 정확하게 차선을 인식하기 위해서는 영상인식에 관한 보다 많은 연구가 요구된다. 특히 직선 차선의 인식에 관해서는 기존에 많은 연구[7]가 수행되어 부분적으로 실용화도 진행되고 있으나, 곡선 차선은 형상의 다양함으로 인해 보다 정확하게 차선을 인식하기 위해서는 새로운 인식기법의 개발이 필요하다.

곡선 검출 기법으로는, Hough 변환이론을 응용하여 검출하는 방법과[4][7], 3차원 spline곡선을 응용하여 검출하는 기법[3]이 있다. Hough 변환을 이용하는 방법은 2차원함수로 표현되는 직선차선의 검출에 유용한 방법이지만, 3차원 이상의 곡선검출에는 응용이 적합하지 못하다.

곡선 차선의 형상은 대부분 3차원 함수로 표현할 수 있으므로, 본 논문에서는 3차원 spline 모델인 Catmull-Rom spline을 이용하여 차선을 검출한다. Catmull-Rom spline으로 정확한 차선을 검출하기 위해서는, 우선 잡음을 최대한 제거하고, 영상의 전처리 과정을 수행하여 영상을 최대한 간단히 수행할 수 있도록 한 후, 정확한 vanishing line 검출과 실제 차선에서의 제어점을 정확히 검출함으로써 정밀한 곡선 차선이 검출 되도록 한다. 그 중에서 vanishing line의 검출 기법

은 Gaussian sphere[5], hierarchical Hough transform[6], line clustering[8]등 많은 방법이 있지만, 본 논문에서는 도로의 끝부분에서는 수평 방향으로 투영하면 픽셀이 가장 많이 모여있다는 특징[2]을 이용하여 검출한다. 제어점의 검출은 Likelihood를 이용하는 방법[3]으로 검출 할 수 있으나, 본 논문에서는 곡선 차선 형상을 분석하여 곡선차선의 방향성을 검출하고, 차선의 방향에 따른 제어점을 추출한다.

본 논문의 구성은 2절에서 전처리 과정과 vanishing line을 검출 하는 방법을 기술하고, 3절에서 Catmull-Rom spline 곡선에 대한 간단한 설명과 제안한 알고리즘을 이용하여 제어점 검출하는 기법을 기술하고, 4절에서 실험 영상에 대한 제안 방법의 유효성을 검증하고, 5절에서 결론을 기술한다.

2. 전처리 과정 및 Vanishing line 검출

2.1 전처리 과정

입력영상에 포함된 다양한 형태의 잡음은 영상처리 과정에 많은 영향을 미치므로, 영향을 최소화 할 수 있도록 잡음을 제거하는 것이 요구 된다. 또한 입력영상은 방대한 정보량을 갖고 있으므로, 실시간 영상처리를 위해서는 알고리즘에 적합한 형태로 가공해서 정보량을 줄이는 것이 필요하다.

그림 1은 차선 검출을 위해 전처리 과정을 수행하는 알고리즘을 나타낸 것이다. 입력영상의 잡음제거는 morphological 연산과 median filter를 사용해서 제거하고, 1차원 에지 검출 방법의 하나인 sobel 마스크킹으로 윤곽선 추출을 수행한다. 추출된 윤곽선에서 필요한 정보만을 추출하고 간단한 영상으로 표현 하기 위해서 이진화 및 세션화 알고리즘을 사용하여 처리 하였다. 그림2는 이상의 전처리 과정에 의한 결과의 예를 나타낸 것이다.

저자 소개

* 姜 成 鶴 : 湖 西 大 學 校 情 報 制 御 學 專 攻 碩 士 課 程

** 鄭 且 根 : 湖 西 大 學 校 情 報 制 御 學 專 攻 副 教 授 · 工 博

2.2 Vanishing line 검출

수평선과 교차되는 차선을 vanishing line이라 한다. 이 수평선을 검출함으로써, 차선과 배경을 분리하여 그에 따른 불필요한 정보를 추출함으로써 계산량을 줄일 수 있고, 3장에서 기술하는 정확한 제어점을 검출하기 위해 필수적인 과정이다.

Vanishing line은 수평선이므로, 영상의 수평축으로 투영했을 경우 픽셀이 가장 많이 모인곳이 될 것이다. 이 특징을 이용하여, 본 논문에서 vanishing line을 검출 한다.

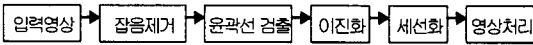


그림1. 영상의 전처리 과정

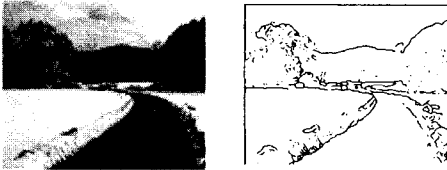


그림2. 원영상과 전처리 영상

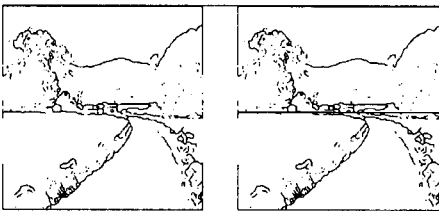


그림3. vanishing line 검출

3. Catmul-Rom spline 곡선 이용한 차선 검출

3.1 Catmul-Rom spline

Catmul-Rom spline 보간법은 컴퓨터 그래픽에서 다양한 곡선을 그리기 위해서 개발된 보간 방법이다. 그림 4와 같이 제어점이 주어지면 식 (1)의 Catmul-Rom spline 함수에 의해 각 제어점 사이가 부드러운 곡선으로 보간되어 지는 기법이다. 이 Catmul-Rom spline 보간법을 이용하면, 실제 곡선 차선의 형상은 다양하기 때문에, 차선에서의 정확한 제어점을 검출함으로써 유연성있게 다양한 곡선 차선을 검출 하게된다.

$$p(t) = 0.5 \{ (2 \times p(1) + (-p(0) + p(2)) \times t + (2p(0) - 5p(1) + 4p(2) - p(3)) \times t^2 + (-p(0) + 3p(1) - 3p(2) + p(3)) \times t^3) \} \quad (1)$$

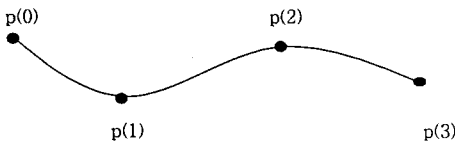


그림4. Catmul-Rom spline 보간법에 의해 각 제어점 사이가 보간 되어진 곡선.

3.2 제어점 검출 알고리즘

실제 차선에서 제어점은 차선의 시작점, 끝점 그리고 굴곡점이 된다. 그림5는 실제 차선에서의 제어점을 나타내고 있다. 이 제어점들을 정확히 찾음으로써 Catmul-Rom spline 보간법으로, 실제 차선의 모양을 추출 한다.

그림 6은 제어점을 찾아나가는 알고리즘 흐름도를 보여준다. 우선 차선 후보군이 시작되는 픽셀을 찾아야 한다. 차선 후보군의 시작점은 영상의 맨 아래쪽 중심에서 양 방향 수평으로 검색하여 처음 만나는 픽셀로 정한다. 이 시작점을 중심으로 수직축 위로 검색하면서, vanishing line 전까지 차선 후보군을 검색한다. 차선 후보군을 모두 검색한 후, 왼쪽과 오른쪽 차선 후보군을 분리하여 양쪽의 중심점을 찾는다. 중심점의 기울기 값에 의해 차선의 방향성을 검출 한다. 곡선차선의 제어점 검출에서 방향성에 따라 제어점을 각각 다르게 검출 하기 때문에, 정확한 방향성을 구하는 것이 요구 된다. 식 (2)는 방향성을 검출하는 식을 나타낸다.

$$\sum_n \{d(n) = x(n) - x(n-1)\} \quad (2)$$

n은 수직축 좌표 값이 되고, x(n)은 n에서의 수평축 좌표값이 된다. 이 값을 vanishing line에서 수직축 아래로 적당한 곳까지 검출한 값을 더하여서 방향성을 검출한다.

방향성은 왼쪽, 오른쪽, 직선의 3가지 방향으로 구분한다. 직선의 제어점 1은 왼쪽과 오른쪽 차선의 제어점 3의 중간 수평좌표 값이 된다. 제어점 2는 제어점 1과 3의 중간 좌표값으로 한다. 왼쪽 방향과 오른쪽 방향일 때는 제어점 1은 각 방향에 따른 Vanishing line의 끝점으로 한다.

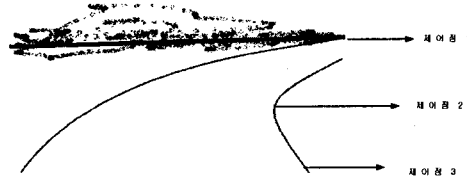


그림 5. 실제 차선에서의 제어점

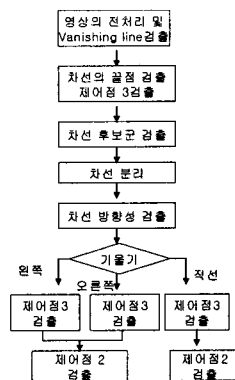


그림 6. 알고리즘 흐름도

제어점 2는 차선 후보군에서 구한다. 모든 차선 후보군을 제어점 2로 가정한 후, 앞서 구한 제어점 1, 3을 이용하여 spline 곡선을 그린 후 spline 곡선과 차선 후보군과의 거리의 차가 최소인 점을 제어점 2로 정한다. 식 (3)은 spline 곡선과 차선 후보군과의 거리를 구하는 방법을 나타낸다.

점 $P(x_1, y_1)$ 에서 직선 $ax+by+c=0$ 사이의 거리이다. 여기서 점은 차선후보군이고, 직선은 spline곡선이 된다. 점과 직선사이의 거리를 구하는 공식을 이용한다.

$$Min \sum_v (d = \frac{|ax_1+by_1+c|}{\sqrt{a^2+b^2}}) \quad (3)$$

4. 실험결과 및 검증

본 논문에서 사용된 실험 영상은 실제세계의 도로 영상을 이용하였다. 영상의 크기는 256x256 크기의 gray영상이다. 그림 7은 차선 후보군을 검출한 결과를 나타내고 있다. 차선 후보군에서 제어점2를 설정한 후 그에 따른 spline 곡선과 차선 후보군과의 거리의 차이를 그림 8에 그래프로 나타내었다. 그림 8에서의 최소인 값을 제어점2로 설정하여, 곡선 차선을 검출한 결과를 그림 9와 10에 나타 내었다.



그림 7. 차선 후보군 검출

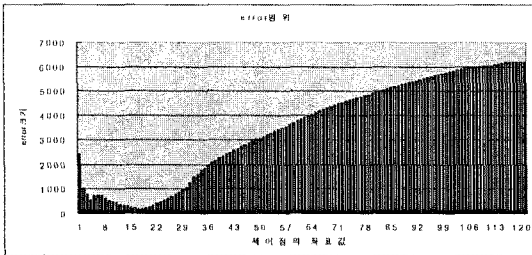


그림 8. 각 제어점2에서의 spline곡선과 차선후보군과의 거리의 차이



그림 9. 검출된 spline곡선과 실제 영상과의 겹침



그림 10. 다른 도로영상에서의 검출된 spline곡선과 실제 영상과의 겹침

5. 결론

본 논문에서는 Catmul-Rom spline 곡선을 이용하여, 차선 검출에 적용하는 방법을 기술 하였다. 미세한 잡음의 제거와 정확한 vanishing line을 검출함으로써, 실제 곡선 도로와 거의 일치하는 spline곡선을 검출할 수 있었다. 이것은 정지 영상에서의 실험이므로, 실제 도로에서의 동영상은 외부 환경에 따라 생길 수 있는 날씨, 그림자, 조명등의 외부 환경요소에 의해 vanishing line의 부정확한 검출과 차선 후보군의 부정확한 검출로 실제 차선과 상관없는 spline곡선이 많다. 이를 해결 하기 위해서는 radar 센서나 laser센서와 함께 복합적인 데이터를 함께 처리하여 강건한 곡선 검출 기법이 요구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 장동혁, "Visual C++을 이용한 영상처리의 구현", 정보게이트, 2001.
- [2] 이상영, 박래홍, "Hough Transform을 이용한 지식 기반 차선 검출" 2003년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집 IV, 제26권 제1호, 1988-1991쪽, 휘닉스파크, 2003년 7월
- [3] Y. Wang, D Shen, E K Teoh "Lane detection using spline model", *Pattern Recognition Letters*, Vol 21, pp 677 - 689, 2000.
- [4] J. Sklansky "On the Hough Technique for Curve Detection" *IEEE Transactions on Computers*, Vol 27, No 10, pp 923-926, 1978
- [5] Magee M.,J., Aggarwal J.K. "'Determining vanishing points from perspective images" *Computer Vision Graphics Image Process*, Vol 26, pp 256-267, 1984
- [6] Quan L, Mohr R, "Determining perspective structures using hierarchical Hough transform" *Pattern Recognition Letters*, Vol 9, 279-286, 1989
- [7] 강성학, 정차근 "Hough 변환을 이용한 차선간 중심선 검출", 2004년도 신호처리 시스템학회 하계 학술대회 논문집, pp 105-108
- [8] Mclean G.F, Kotturi D, "Vanishing point detection by line clustering" *IEEE Trans. PAMI*, Vol 17, pp 1090-1095, 1995