

논문 2010-47SP-6-12

탑뷰(top view) 영상을 이용한 곡선 템플릿 정합 기반 차선 및 곡률 검출 알고리즘

(Lane and Curvature Detection Algorithm based on the Curve Template Matching Method using Top View Image)

한 성 지*, 한 영 준**, 한 현 수**

(Sungji Han, Youngjoon Han, and Hernsoo Hahn)

요 약

본 논문에서는 곡선 템플릿 정합 방법을 이용한 곡률 검출 및 차선 검출 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 영상의 원근감을 제거하기 위하여 입력 영상을 탑뷰(top view) 영상으로 변환한다. 생성된 탑뷰 영상을 이용하여 에지 영상을 생성하는데 검출의 정확도를 높이기 위해 차선 검출에 적합한 에지 검출 방법을 제안한다. 검출된 에지 영상을 이용하여 먼저 직선 차선을 검출한 후 본 논문에서 제안한 곡선 템플릿 정합 방법을 이용하여 가장 적합한 곡선 차선을 결정하여 곡률을 검출한다. 제안된 곡선 템플릿 정합 방법은 법선의 방정식과 원의 방정식만을 이용한 단순한 계산만으로 곡선 차선을 검출하기 때문에 알고리즘이 단순하고 검출 시간이 매우 짧다. 또한 본 논문에서는 이전 프레임에서 검출된 차선 정보를 이용하여 현재 프레임의 차선 정보를 보정하고 보완함으로써 보다 안정적인 차선 검출이 가능하였다. 제안된 알고리즘은 고속도로나 비교적 복잡한 시내 도로, 야간 시 고속도로 등에서 얻은 다양한 환경에서의 영상을 이용하여 실험하였다. 제안된 알고리즘은 초당 70 frame 가량의 영상 처리가 가능하였고 95% 이상의 차선 검출율과 90% 가량의 곡률 검출율을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, lane and curvature detection algorithm based on the curve template matching method is proposed. To eliminate the perspective effect of the original image, the input image is transformed to a top view image. From this top view image, its edge image is created. To increase the accuracy of detection, a novel edge detection method, which shows a strength in lane detection, is proposed. In the first step, straight lanes are detected from the edge image, and then the Curve Template Matching(CTM) method is applied to detect the curved lanes and to find their curvatures. Since the proposed CTM method uses only the simple equations, such as line and circle equations, to detect the curved lane, the algorithm is simple. Moreover, we used the detected lane information in the previous frames to detect the current frame's lanes, the detection results become more reliable. The proposed algorithm has been tested in various road conditions (highway, urban street, night time highway, etc.). Experimental results show that the proposed algorithm can process about 70 frames per second with the successful lane detection rate over 95% and curvature detection rate about 90%.

Keywords : Lane Detection, Curvature Detection, Curve Template Matching Method

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 전자공학과
(Department of Electrical Engineering, Soongsil University)

※ “본 논문은 2010년 정부 교육과학기술부(한국학술진흥재단)의 2단계 BK21 사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임. 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음”

(NIPA-2010-(C1090-1021-0010))

접수일자: 2010년6월25일, 수정완료일: 2010년9월29일

I. 서 론

최근 운전자의 편리성과 안정성을 위한 운전자 보조 시스템(driver assistive system)이 활발히 개발되고 있다. 이를 위해 레이더나 레이저, 카메라와 같은 센서들을 차량에 탑재하여 전방 차량과의 충돌을 경고해 주거나 차선 이탈을 경고해 주는 등의 운전자를 위한 기능

들이 차량에 적용되고 있다^[1~2]. 특히 차선 정보를 획득하면 현재 차량의 진행 경로를 파악하여 차선 이탈을 경고하거나 운전자의 상태를 파악하여 졸음운전을 경고해주는 등의 안전 운전 기능을 구현할 수 있다^[3~4]. 이러한 차선 정보를 획득하기 위해서 레이더나 레이저 스캐너와 같은 능동 센서들을 사용하기도 하지만 수동 센서인 비전 센서를 사용하는 것이 일반적이다^[5].

Yue Wang은 카메라 파라미터 없이도 차선 검출이 가능한 B-Snake 기반의 차선 검출 기법을 제안하였다^[6]. B-Spline은 제어 점들을 설정하여 어떠한 형태의 차선이라도 검출이 가능하기 때문에 다른 차선 검출들에 비하여 다양한 형태의 차선 검출이 가능하다. 하지만 B-Snake 기반의 차선 검출 기법은 검출 시간이 길어 실시간 차선 검출이 불가능하다.

Kristijan and Brian은 허프 변환(Hough transform)과 파티클 필터(particle filter)를 이용한 차선 검출 방법을 제안하였다^[7]. 확률적인 파티클 필터를 이용하여 다양한 환경 정보에 대한 가설 집합을 형성하고 케니 에지 필터(Canny edge filter)와 허프 변환 방법을 이용함으로써 차선 검출의 정확도와 강인함을 향상하였다. 그러나 이들은 직선 차선에 대한 검출만 언급하고 곡선 차선 검출에 대해서는 다루지 않았다.

Alberto Broggi는 원근 효과를 제거하기 위한 역투영 변환(inverse perspective mapping transform) 방법을 제안하여 차선을 검출하였다^[8]. Mohamed Aly 또한 이런 역투영 변환(IPM) 방법을 이용해 탑뷰 영상을 생성하여 차선 검출에 이용하였다^[9]. 탑뷰 영상을 생성하면 영상의 원근 효과를 제거할 수 있기 때문에 차선이 평행하게 나타나고 영상 전체를 사용하지 않고 차선이 나타나는 소영역만을 사용할 수 있기 때문에 검출 시간을 단축시킬 수 있다^[9].

그 밖에도 수평 소실선의 추정과 관심영역(ROI-LB)의 최적 선정을 통한 차선 검출^[10], 이미지 좌표계상의 차선 모델을 이용한 차선 검출^[11], 에지 분포 함수(edge distribution function)와 허프 변환 기반의 차선 검출^[12], 동적 임계값과 단순화된 칼만필터 알고리즘을 이용한 차선 검출^[13] 등의 차선 검출을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 Alberto Broggi가 제안한 역투영 변환 방법을 이용하여 차선을 검출한다^[8]. 역투영 변환 방법을 이용하여 원근 효과가 제거된 탑뷰 영상을 생성하고 이를 이용해 차선 선분에 대한 에지를 검출하는 방법을

제안한다. 또한 에지 영상을 이용해 직선 차선을 검출하고 곡선 템플릿 정합 방법을 이용하여 곡선 선분을 결정하고 곡률을 계산하는 방법을 제안한다. 최종적으로 각 프레임에서 검출된 각각의 차선 정보가 저장된 이전 프레임들과 현재 프레임을 이용하여 현재 프레임에서 검출된 차선을 보정하거나 보완하는 방법에 대해 제안한다. 제안하는 기법은 알고리즘이 단순하기 때문에 기존의 방법들에 비해 보다 빠른 속도로 차선을 검출할 수 있었고 이전 프레임을 사용하여 현재 프레임을 보정하거나 보완함으로써 보다 정확하고 안정적으로 차선을 검출할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 탑뷰 영상에서 차선에 대한 에지를 검출하는 방법을 제안하고 이를 이용해 차선의 시작점과 끝점을 설정하여 직선 차선을 검출하는 방법을 제안한다. III장에서는 곡선 템플릿 정합 방법을 이용하여 최적의 곡선을 결정하고 곡률을 검출하는 방법을 제안한다. IV장에서는 연속적 이미지에서 검출된 차선 정보를 이용하여 현재 프레임에서 나타나는 오검출 및 미검출을 보완하고 이전 프레임을 이용해 현재 차선의 위치를 재결정함으로써 최종 차선을 결정한다. V장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 이용해 얻은 실험 결과를 제시한 후 끝을 맺는다.

II. 직선 차선 검출

곡률 검출을 위해 본 논문에서 제안하는 곡선 템플릿 정합 방법을 적용하기 위해서는 차선의 시작점과 끝점이 필요하다. 이를 위해 먼저 탑뷰 영상을 생성한 후 차선에 대한 에지 영상을 만들고 직선 차선을 검출하여 차선의 시작점과 끝점의 위치를 찾는다.

1. 탑뷰(top view) 영상 생성

본 논문에서는 입력 영상의 원근 효과를 제거하기 위하여 Alberto Broggi^[8]가 제안한 역투영 변환(inverse perspective mapping transform) 방법을 이용하여 탑뷰(top view) 영상을 생성한다. 탑뷰 영상을 이용하면 원근 효과를 제거할 수 있기 때문에 하늘에서 내려다 본 것과 같이 나타낼 수 있다. 또한 곡선 차선 또한 원의 일부인 호로 나타나기 때문에 본 논문에서 제안하는 곡선 템플릿 정합이 가능하다.

그림 1은 영상 평면과 실제 평면과의 관계를 나타낸다. 카메라가 설치된 높이와 각도, 카메라의 수평, 수직

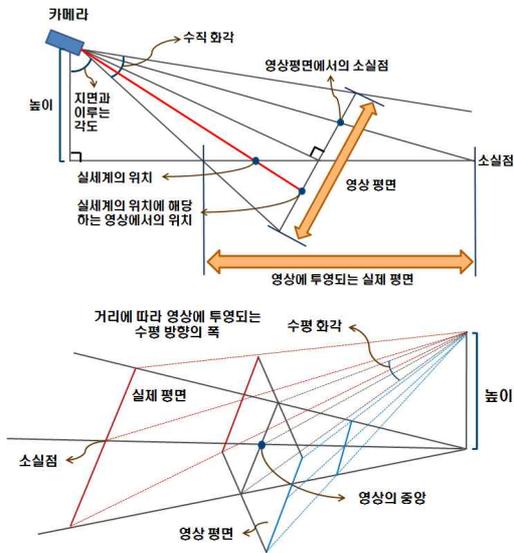


그림 1. 영상 평면과 실제 평면의 관계
Fig. 1. The Relation of Real Plane with Image Plane.



그림 2. 생성된 탑뷰(top view) 영상
Fig. 2. Generated Top View Image.

화각 정보가 있으면 그림 1의 영상 평면과 실제 평면과의 관계를 이용하여 탑뷰 영상을 생성할 수 있다.

그림 2는 생성된 탑뷰 영상을 나타낸다. 왼쪽 원본 영상에서 녹색 가로선은 탑뷰 영상으로 변환하면서 계산되어진 소실점의 위치를 나타낸다. 탑뷰 영상을 생성하게 되면 그림 2의 오른쪽 영상과 같이 거리가 멀어질수록 영상 정보가 부족하기 때문에 영상이 퍼져보이게 된다. 따라서 탑뷰 영상을 생성했을 때 거리가 멀어질수록 점점 퍼지는 현상이 심해져 원거리의 정보는 이용하기가 힘들다. 본 논문에서는 계산된 소실점보다 먼 거리의 정보는 사용하지 않고 소실점 이하의 영상 정보만을 탑뷰 영상으로 변환하여 사용함으로써 계산 시간을 단축하고 차선 검출에 방해가 될 수 있는 잡음들을

제거하여 좀 더 효과적으로 차선을 검출할 수 있었다.

2. 차선 에지 검출

기존의 에지 검출 방법들은 주변 화소들과의 밝기 변화량을 검출하여 특정한 문턱값(threshold)을 기준으로 이진화하여 사용하는 것이 보통이었다. 따라서 주변과의 밝기 차이만 나면 에지로 검출된다. 이 때문에 원치 않는 부분에서도 에지 성분이 나타나 방해가 될 수 있다. 본 논문에서는 차선에 대한 에지 성분을 잘 나타나게 하고 차선 외의 에지 성분을 최소화하기 위해서 차선의 특징들을 고려한 에지 검출 기법을 제안한다.

가. 차선 특징

본 논문에서는 흰색, 노란색, 파란색 3가지 종류의 차선만을 가정하였다. 흰색과 노란색 차선에서는 RGB색상 중 빨간색(red) 성분이 가장 강하게 나타나고 파란색차선에서는 파란색(blue) 성분이 가장 강하게 나타난다. 이러한 특징을 이용해 화소의 빨간색 성분이 다른 녹색이나 파란색 성분보다 클 경우에는 입력 영상의 빨간색 성분 값을 이용하고 파란색 성분이 나머지 두 성분보다 클 경우에는 입력 영상의 파란색 성분 값을 이용하여 에지를 검출하였다.

본 논문에서는 에지 검출 시 많이 사용되는 RGB 색상 평균으로 나타낸 흑백 영상을 사용하지 않고 차선 내 화소의 RGB 분포에 따라 빨간 성분과 파란 성분의 입력 영상을 이용함으로써 더 효과적으로 차선을 검출할 수 있었다.

나. 차선 에지 검출 방법

보통 차선은 어두운 색상의 도로 위에 밝은 색상으로 도색되기 때문에 차선의 밝기가 주변의 도로에 비해 밝게 나타난다. 이러한 차선의 특징을 이용하여 에지를 검출함으로써 기존의 경계를 검출하는 에지 검출기법에

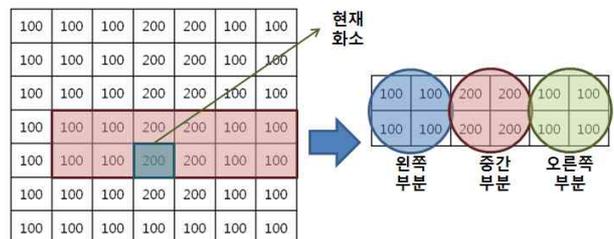


그림 3. 차선 에지 검출을 위해 제안된 마스크
Fig. 3. Proposed Mask for Lane Edge Detection.

비해 정확하게 차선을 검출할 수 있었고 차선이 아닌 성분의 에지 검출을 최소화할 수 있다.

본 논문에서는 차선에 대한 에지 성분을 검출하기 위해서 6×2 크기의 마스크를 사용한다. 그림 3에서 나타난 것과 같이 6×2 크기의 마스크에서 각각 4개의 화소를 가진 2×2 크기의 마스크를 왼쪽, 가운데, 오른쪽 3부분으로 나누어 각 부분의 합을 비교함으로써 에지를 검출할 수 있다. 생성된 탑뷰 영상에서 차선의 폭은 보통 2~3 화소의 크기를 가지기 때문에 그림 3에서 나타난 것과 같이 중간 부분과 양쪽 부분의 폭을 2화소로 했을 때 차선의 특징을 잘 나타낼 수 있었다. 또한 영역의 특징을 잘 나타내면서 검출 속도에 부담이 가지 않게 하기 위해서 마스크의 높이는 2화소가 가장 적합했다.

제안된 마스크를 이용해 에지를 검출하기 위해서는 먼저 현재 차선의 화소 값이 파란색 성분인지 아닌지를 구분한다. 차선에서 파란색 성분의 크기가 다른 화소 값들에 비해 큰 경우에는 파란색 성분의 화소 값을 이용하고 그 외에는 빨간색 성분의 값을 이용하여 에지를 검출한다. 색상 성분이 결정된 후에는 그림 3에서 나타난 것처럼 왼쪽, 가운데, 오른쪽의 각각의 합을 구하여 가운데 부분의 화소 값들의 합이 양쪽 부분의 화소 값들에 비해 클 때에만 현재 화소를 에지 성분으로 결정하였다. 또한 각 부분의 평균 화소 값이 특정한 문턱 값(threshold) 이하의 값을 가질 때는 차선 성분이 될 수 없다고 판단하여 제거함으로써 더 정확히 차선 성분을 검출할 수 있었다. 문턱 값은 보통 영상에서 나타나는

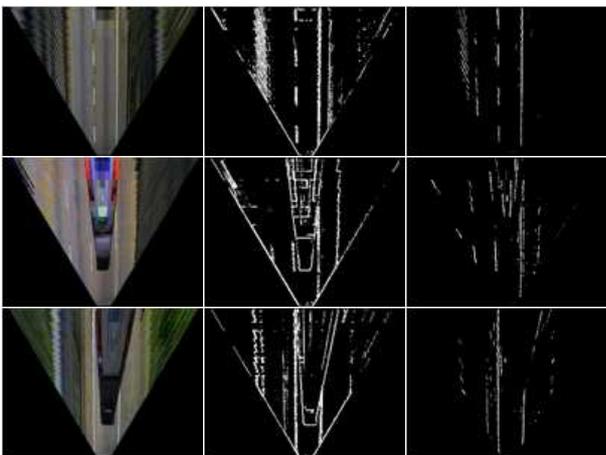
차선과 도로의 밝기를 고려하여 0~255값의 밝기 중에서 차선의 밝기는 80, 도로의 밝기는 40 이상의 밝기를 가질 경우에만 차선의 에지 성분으로 인정하였다. 그림 4는 제안된 차선 에지 검출 기법과 가장 널리 사용되는 에지 검출 기법 중 하나인 3×3 소벨 마스크를 이용한 에지 검출 결과를 나타낸다.

기존의 에지 검출 방법은 밝기 변화가 특정 문턱 값 이상이면 에지 성분으로 검출하였기 때문에 차선 외의 다른 에지 성분들이 함께 검출되어 차선 검출 시 어려움이 있다. 반면, 제안된 에지 검출 기법은 차선의 특징을 이용하여 에지를 검출함으로써 차선 성분 외의 다른 에지 성분을 최소화하여 기존의 에지 검출 기법에 비해 차선 검출에 적합하다.

다. 직선 차선의 결정

본 논문에서 제안한 곡선 템플릿 정합을 이용해 정확한 곡선을 결정하기 위해서는 먼저 직선 차선 결정 단계에서 차선의 시작점과 끝점을 정확히 결정해야한다.

먼저 시작점을 정하기 위해서 그림 5.(b)와 같이 탑뷰 영상에서 차선 검출 영역을 설정한다. 차선 검출 영역은 차량이 양쪽 차선의 중심 부근에 위치해 있을 때에만 양쪽 차선이 나타가게 하기 위해 탑뷰 영상에서 나타나는 최대 차선폭과 차선 간 간격을 고려하여 320×240 크기의 입력 영상을 기준으로 이보다 조금 더 큰 크기인 가로 80, 세로 100화소의 크기로 영상 중심의 하단부에 고정한다. 탑뷰 영상의 차선 검출 영역에



(a) 탑뷰 영상 (b) 소벨 에지 검출 (c) 제안된 에지 검출
 그림 4. 제안된 에지 검출 기법과 소벨 에지 검출 기법의 비교

Fig. 4. The Comparison of Sobel Edge Method with Proposed Method.



(a) 입력 영상 (b) 차선 검출 영역 설정



(c) 에지 누적 그래프 (d) 검출된 시작점과 끝점

그림 5. 차선의 시작점과 끝점 결정
 Fig. 5. Start Point and End Point Set of Lane.

서는 직선 차선 뿐 아니라 곡선 차선 또한 거의 곡률이 나타나지 않고 수직 방향의 직선 형태로 나타나기 때문에 검출된 에지 성분을 수직 방향으로 누적하여 가장 큰 값의 위치를 찾음으로써 쉽게 차선의 시작 위치를 결정할 수 있다. 그림 5.(c)는 차선 검출 영역에서 에지 성분을 누적하여 나타난 누적 그래프를 보여준다. 그림 5.(b)의 빨간색 수직선의 위치가 누적 그래프를 이용해 찾은 최대 에지 누적 위치를 나타낸다.

차선의 끝점은 결정된 시작점으로부터 위 방향으로 에지 성분을 검색하여 에지 성분이 나타나지 않을 때까지 연속적으로 검색함으로써 결정할 수 있다. 본 논문에서는 차선의 끝점을 효과적으로 결정하기 위해 5×5 크기의 검색 영역에서 에지 성분들을 누적하여 최대 누적 위치로 검색 영역을 이동시키며 마지막 점을 찾는 연속적 에지 누적 방법을 이용한다.

그림 6은 연속적 에지 누적 방법을 이용하여 끝점을 찾는 방법을 간단하게 나타낸 것이다. 현재 5×5 크기의 검색 영역에서 수직 방향으로 에지 성분의 누적 값이

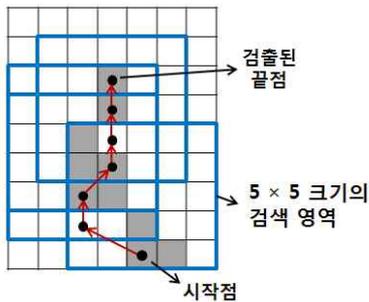


그림 6. 연속적 에지 누적 방법
Fig. 6. Continuous Edge Accumulation Method.



그림 7. 직선 차선 검출 결과
Fig. 7. The Result of Straight Lane Detection.

가장 큰 위치로 검색 영역을 이동하며 최종적으로 끝점을 검출한다. 그림 5(d)는 차선 검출 영역에서 검출된 시작점과 연속적 에지 누적 방법을 이용하여 검출된 끝점을 표시한다. 최종적으로 검출된 시작점과 끝점의 위치를 이용해 직선의 방정식을 계산함으로써 직선 차선을 결정할 수 있다. 그림 7은 제안된 방법을 이용해 검출된 직선 차선을 표시한 결과이다.

차량이 차선의 중심을 벗어나는 차선 변경 시에는 차량의 이동 방향에 위치하는 한 개의 차선만이 차선 검출 영역에 나타나게 되어 검출되며 나머지 차선은 차량이 차선의 중앙 부근에 위치했을 경우 다시 나타나게 된다. 이 때 차선 변경 시 나타나지 않는 차선은 본 논문의 연속적 이미지를 이용한 차선 결정 단계에서 차선 폭 정보를 이용함으로써 추정하여 나타낸다.

III. 곡선 차선 결정 및 곡률 검출

본 논문에서는 곡선 차선을 결정하고 곡률을 검출하기 위해 곡선 템플릿 정합 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 직선 차선 검출에서 결정한 시작점과 끝점을 잇는 호를 그려 곡선 템플릿을 만들고 현재 차선과 가장 정합도가 높은 곡선 템플릿을 찾음으로써 곡선 차선 및 곡률을 검출할 수 있다. 제안하는 방법은 알고리즘이 간단하여 매우 빠른 속도로 차선을 검출할 수 있었고 차선이 잘 나타나는 경우 매우 정확한 곡률 검출이 가능했다.

1. 확장 검출 영역을 이용한 끝점의 재설정

제안하는 곡선 템플릿 정합 방법은 원의 방정식을 이용하여 곡선 템플릿을 만들고 차선과 정합도가 가장 높은 템플릿을 찾아 곡선을 결정한다. 하지만 그림 5(d)와 같이 차선이 연속적이지 않고 차선의 길이가 짧아 시작점과 끝점이 가깝게 검출되는 경우 곡률이 나타나지 않는다. 이를 보완하기 위하여 확장된 차선 검출 영역을 설정하여 원거리 차선을 검출한다. 검출된 원거리 차선에서 끝점을 재설정함으로써 연속적이지 않은 차선에서도 제안된 기법을 적용할 수 있다.

그림 8(b)에 확장된 차선 검출 영역을 나타내었다. 확장된 차선 검출 영역은 처음 검출된 왼쪽과 오른쪽 차선의 검출된 끝점의 위치에 의해 정해진다. 정해진 끝점의 위치에서 좌우로 10 화소 정도로 폭을 결정하고 정해진 폭의 위쪽 영역에서 차선의 시작점을 검출한다.

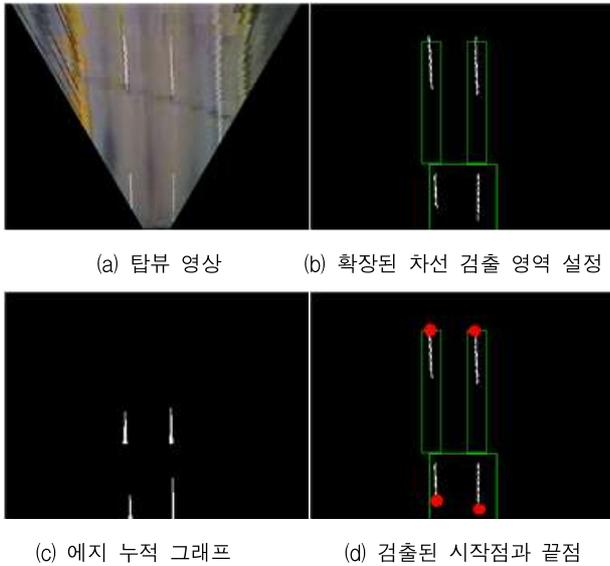


그림 8. 확장 검출 영역을 이용한 끝점의 재설정
Fig. 8. End Point Resetting using Extended Detection Region.

그림 8(b)와 같이 초기 검출 영역의 위쪽으로 확장 검출 영역이 설정되어 있음을 볼 수 있다. 차선 검출 방법은 초기 차선 검출 영역에서의 방법과 동일하게 검출된 에지 화소를 누적하여 최대 누적 위치를 찾아 시작점을 검출하고 연속적인 누적 에지 방법을 이용해 마지막 점을 결정한다. 그림 8(c)에 확장된 차선 검출 영역에서의 누적 그래프를 함께 표시하였다. 그림 8(d)는 최종적으로 검출된 시작점과 끝점을 나타낸다. 확장된 차선 검출 영역에서 끝점을 재설정함으로써 원거리까지 차선 검출이 가능하다.

2. 곡선 템플릿 정합 방법을 이용한 곡률 검출

탑뷰 영상에서 곡선 차선은 원의 일부인 호로 나타낼 수 있다. 따라서 원의 방정식을 이용하면 곡선 차선의 곡률을 검출할 수 있다.

$$x^2 + y^2 + Ax + By + C = 0 \tag{1}$$

위의 식 (1)은 원의 방정식의 일반형이다. 원의 방정식은 3개 이상의 점에 대한 정보가 있으면 구할 수 있다. 본 논문에서는 직선 차선 검출 부분에서 구한 시작점과 끝점, 시작점과 끝점의 중간점을 지나는 법선 위의 한 점을 이용하여 원의 방정식을 구하고 곡선 템플릿을 생성한다. 법선 위의 점의 위치를 이동시키면 시작점과 끝점을 지나는 각각의 다른 곡률을 가진 곡선 템플릿을 생성할 수 있다. 탑뷰 영상에서 나타나는 곡

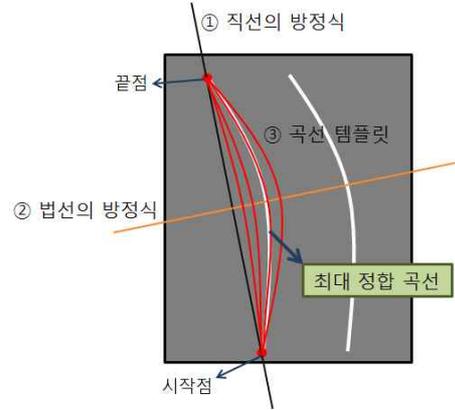


그림 9. 곡선 템플릿 정합 과정
Fig. 9. The Procedure of Curve Template Matching.

선은 시작점과 끝점의 중심에서 법선 방향으로 시작점과 끝점의 차이만큼 이동했을 때 만든 곡선보다 작게 나타나기 때문에 본 논문에서는 템플릿의 개수를 시작점과 끝점의 x좌표의 차이로 결정한다.

$$\text{템플릿의 개수} = |\text{시작점의 } x\text{좌표} - \text{끝점의 } x\text{좌표}| \tag{2}$$

각각의 생성된 템플릿과 차선을 정합하여 가장 높은 정합도를 가지는 곡선을 찾으므로써 곡률을 결정할 수 있다. 그림 9는 본 논문에서 제안한 곡선 템플릿 정합 과정을 나타낸다.

템플릿의 정합도는 각각의 템플릿에 정합되는 에지 성분의 화소수를 각각의 템플릿이 가지는 화소수로 나누어 주면 구할 수 있다. 정합도를 구하는 식은 다음 식 (3)과 같다.

$$\text{정합도} = \frac{\text{정합된 에지 화소의 개수}}{\text{곡선 템플릿 화소의 개수}} \tag{3}$$

곡선이 결정되면 그 호가 그리는 원의 반지름을 계산

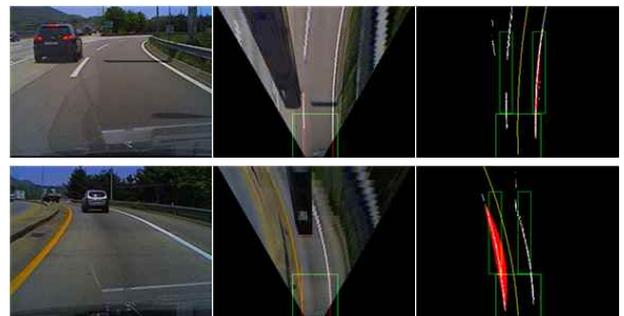


그림 10. 제안된 곡선 템플릿 정합을 이용한 곡률 검출
Fig. 10. The Curvature Detection using Proposed Curve Template Matching.

할 수 있다. 곡률은 반지름의 역수와 같으므로 식 (4)를 이용해 검출된 곡선이 가지는 곡률을 계산할 수 있다.

$$\text{곡률} = \frac{1}{r} = \frac{2}{\sqrt{A^2 + B^2 - 4C}} \quad (4)$$

그림 10(c)는 제안된 곡선 템플릿 정합 방법을 이용해 검출한 곡률을 나타낸다. 빨간색으로 나타난 것은 곡선 정합을 위한 템플릿이 모여 나타난 것이다. 템플릿의 개수는 시작점과 끝점의 x좌표 차이에 의해 결정되기 때문에 곡률이 클수록 많아진다. 그림 10(c)의 가운데 표시된 곡선이 검출된 곡률을 나타낸다.

IV. 연속적 이미지를 이용한 최종 차선 결정

본 논문에서는 연속적인 이미지에서 검출된 차선 정보를 이용하여 현재 프레임에서의 차선 검출 결과를 보완하는 방법을 제안한다. 이를 통해 보다 안정적으로 차선을 검출할 수 있었고 순간적으로 나타나는 오검출이나 미검출을 보완할 수 있었다.

1. 차선폭 검출

현재 차선폭에 대한 정보를 가지고 있으면 차선 검출의 오류를 찾거나 가상 차선을 만들어서 표시하는 등 매우 유용하게 사용할 수 있다. 본 논문에서는 보다 신뢰성 있게 차선폭을 결정하기 위해서 50개의 프레임에서의 나타난 차선폭 정보를 저장하고 이중 가장 많이 나타난 차선폭의 값을 현재 차선폭으로 결정하는 최대 누적 방법을 제안한다.

먼저 각 프레임에서의 차선폭은 직선 차선 검출에서 결정된 차선 정보를 이용하여 간단하게 검출할 수 있다. 양쪽 차선에서 결정된 직선의 방정식을 이용하여 영상 높이가 0일 때의 점의 위치를 찾고 이 값들의 차이를 계산함으로써 차선폭을 결정하였다. 각 프레임에서 결정된 차선폭은 미리 결정해둔 50개의 배열에 계속해서 갱신되고 저장된 배열에서 가장 많이 누적된 값이 현재 차선의 폭으로 결정되기 때문에 차선 폭 변화에도 신속하게 반응할 수 있다. 이를 이용하여 현재 차선의 폭을 감시함으로써 현재 프레임에서의 오검출 및 미검출을 보완할 수 있다.

2. 최종 차선 결정

본 논문에서는 최종 차선 결정을 위해서 5개의 프레

임에서의 검출된 차선 정보를 이용한다. 현재 차선 정보만을 이용했을 경우 순간적으로 차선의 위치가 잘못 검출되거나 검출되지 않는 경우가 나타난다. 이를 보완하고 차선을 보다 안정적으로 검출하기 위해서 이전 4개의 프레임과 현재 프레임에서 검출된 차선 정보의 평균 위치를 계산함으로써 최종 차선을 결정한다. 이 때 각각의 5개 프레임의 검출 정보는 이전 50개의 프레임에서 모니터링 되고 있는 차선 정보와 비교되어지며 검출이 되지 않았거나 잘못 검출되어진 차량 정보는 제외되고 계산되어지며 이전 프레임 정보를 이용하여 보정된다. 이전 50프레임에서 결정된 차선 폭 정보와 이전 프레임의 차선 정보를 이용하여 순간적으로 검출이 되지 않거나 잘못 검출된 차선 위치를 보완함으로써 보다 안정적인 차선 검출이 가능하다. 또한 차선 변경 시 반대편 차선이 검출되지 않더라도 이전 정보들에 의해 결정되어있는 차선 폭 정보를 이용함으로써 미리 차선 위치를 추정하여 나타낼 수 있다.

V. 실험

제안된 알고리즘은 차량 앞 창문에 카메라를 설치해 낮 시간대의 비교적 단순한 고속도로와 비교적 복잡한 시내 도로, 야간 시간대의 고속도로 등 다양한 환경에서 획득한 영상을 이용하여 실험하였다. 그림 11은 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 다양한 환경에서 검출된 직선 차선과 곡률 검출의 결과를 나타낸다.

그림 11에서 빨간색 선은 검출된 직선 차선을 나타내고 노란색 선과 숫자는 검출된 곡률을 나타낸다. 직선 차선은 영상에서의 시작점과 끝점의 좌표를 검출함으로써 그림 11에서와 같이 시작점과 끝점을 잇는 직선으로

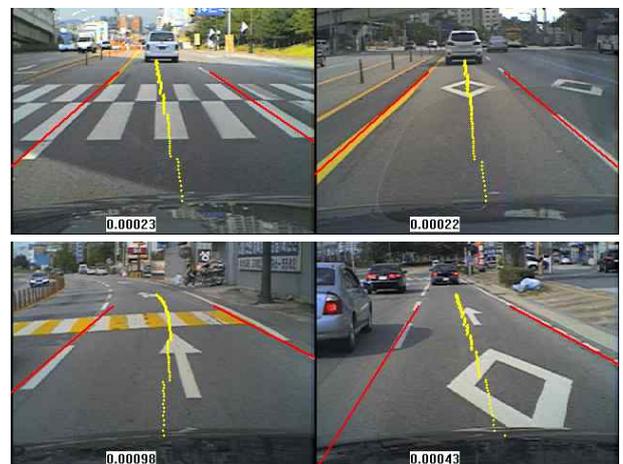




그림 11. 실험 결과
 Fig. 11. Experimental Result.

표시된다. 곡률의 경우 제안된 곡선 템플릿 정합 방법을 이용해 곡률을 계산하고 검출된 곡률을 영상 중앙에 노란색 곡선으로 표시하였다.

차량이 평평한 도로에 있는 경우 도로와 차량이 수직인 상태에서 생성된 탑뷰 영상에서는 차선이 평행하게 나타난다. 하지만 순간적으로 오르막길이나 내리막길



(a) 정상 검출 (b) 미검출 (c) 오검출

그림 12. 정상 검출 및 오류 검출 결과
 Fig. 12. True & False Result.

나타나거나 경사가 변하는 위치를 지나는 경우 도로와 카메라가 이루는 각도가 순간적으로 변하기 때문에 탑뷰 영상에 나타나는 차선은 평행하지 않고 퍼지거나 모이는 형태가 나타난다. 하지만 직선 차선 검출의 경우 차선이 평행하지 않더라도 탑뷰 영상에서 각각의 차선 위치를 검출하고 원본 영상으로 위치를 변환하기 때문에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 도로와 이루는 각도가 변할 경우 영상에 나타나는 곡률이 변하기 때문에 곡률 검출 결과에는 영향을 미친다. 하지만 그 결과가 크게 차이가 나지 않고 보통 순간적으로 나타나기 때문에 큰 영향을 미치지 않는다. 제안된 알고리즘은 고속도로나 시내도로, 주간 및 야간 상황 등의 다양한 상황에서 실험함으로써 우수성을 검증하였다.

그림 12는 차선 검출에서의 정상 검출 및 오류 검출의 예를 보여준다. 그림 12(a)와 같이 검출된 시작점과 끝점이 실제 차선에 위치했을 경우 정상 검출로 판단한다. 또한 그림 12(b)와 같이 차선이 존재하는데도 검출을 하지 못한 미검출의 경우와 그림 12(c)와 같이 검출을 했지만 검출된 시작점과 끝점의 위치가 차선에서 벗어난 오검출의 경우를 오류 검출로 판단한다. 곡률의 경우 실제 도로의 곡률과 비교하는 것은 불가능하기 때문에 그림 10(c)와 같이 탑뷰 영상에서 나타나는 차선의 곡률과 검출된 곡률 결과를 비교하여 검출율을 계산하였다. 탑뷰 영상에서 제안된 템플릿 정합 방법을 이용해 차선의 곡률을 정확히 정합하여 표시했을 경우를 정상 검출로 하고 잡음 등의 영향에 의하여 차선의 곡률과 같지 않은 표시를 했을 경우를 오류 검출로 하였다.

표 1과 표2는 본 논문에서 제안한 차선 위치와 곡률의 검출율을 각 상황에 따라 계산한 것이다. 시내도로는 도로 마크 및 횡단보도 등의 도로 표시가 자주 나타나고 주변 장애물이 많은 환경으로 가장 일반적이면서도 복잡한 경우이다. 고속도로는 시내도로에 비해 도로 표시가 많지 않고 비교적 환경이 단순하다. 또한 야간 시간의 고속도로의 경우 도로는 단순하지만 어두운 환경 때문에 원거리 차선이 비교적 잘 나타나지 않고 빛

표 1. 각 환경에 따른 차선 검출율
Table 1. Lane Detection Rate depending on the Circumstance.

	전체 영상 수	정상 검출	오류 검출	검출율(%)
시내도로	7561	7260	301	96.01
고속도로	13957	13530	427	96.94
야간 시 고속도로	14391	13544	747	94.11

표 2. 각 환경에 따른 곡률 검출율
Table 2. Curvature Detection Rate depending on the Circumstance.

	전체 영상 수	정상 검출	오류 검출	검출율(%)
시내도로	7561	6853	708	90.64
고속도로	13957	13014	943	93.24
야간 시 고속도로	14391	12202	2189	84.79

의 영향을 받는 경우이다. 제안된 차선 검출 알고리즘의 경우 평균 95% 정도의 높은 검출율을 보인다. 연속적인 영상을 이용해 얻은 차선 폭 정보를 이용해 계속해서 차선폭을 감시하고 이전 프레임에서 얻은 차선 정보를 이용해 현재 차선 정보를 보완하였기 때문에 비교적 복잡한 시내 환경에서도 높은 검출율을 얻을 수 있었다. 야간 시에도 94.11%의 높은 검출율을 보여 야간 환경에서도 강인하게 동작함을 확인할 수 있었다. 차선 폭이 급격히 변하거나 차선이 잘 나타나지 않은 경우의 오검출을 제외하면 일반적인 도로에서 차선이 명확하게 나타나는 경우 100%에 가까운 검출율을 얻을 수 있었다. 곡률 검출의 경우 시내도로나 고속도로 상황에서는 90% 이상의 검출율을 얻을 수 있었다. 하지만 야간 시간의 경우 원거리의 차선이 잘 나타나지 않아 비교적 낮은 검출 결과를 얻을 수 있었다.

그림 13은 복잡한 시내 도로 환경에서 Mohamed A.



(a) Mohamed A.의 검출 결과 (b) 제안된 차선 검출 결과

그림 13. 복잡한 환경에서의 실험 결과 비교
Fig. 13. The Comparison of Lane Detection Result on Complex Circumstance.

표 2. 검출 시간 비교
Table 2. The Comparison of Processing Time.

	Mohamed A.'s Algorithm	Proposed Algorithm
Frame/Second	50	70

가 제안한 차선 검출 결과^[9]와 본 논문에서 제안한 차선 검출 결과를 비교한 것이다. Mohamed A.가 제안한 차선 검출 방법의 경우 그림 13(a)와 같이 횡단보도가 있는 복잡한 상황에서 검출된 차선의 위치가 정확하지 않았다. 하지만 제안된 차선 검출 방법의 경우 연속적인 영상을 이용하여 차선폭을 감시하고 이전 프레임을 이용해 현재 프레임의 검출 결과를 보정하거나 보완하기 때문에 그림 13(b)와 같이 복잡한 도로 상황에서도 정확한 차선 검출이 가능하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Intel Core2 Duo 3.00GHz, 2GB RAM의 컴퓨터에서 320×240 크기의 영상을 1초에 100frame, 640×480 크기의 영상을 1초에 70frame 가량 처리할 수 있었다.

표 2는 Mohamed A.가 제안한 차선 검출 기법과^[9] 본 논문에서 제안한 차선 검출 기법의 검출 시간을 나타낸다. Mohamed A.의 기법은 640×480 크기의 입력 영상을 1초에 50장의 처리할 수 있다. 제안된 알고리즘은 640×480 크기의 영상을 1초에 70장 가량 처리가 가능하여 더 빠른 시간 내에 차선 검출이 가능함을 보이고 실시간으로 동작하기에 무리가 없음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 차선 및 곡률 검출 알고리즘을 시내도로 및 고속도로, 야간 도로 및 곡률이 심하게 나타나는 경우 등의 다양한 영상에 적용하여 얻은 결과 영상을 다음의 주소에서 확인할 수 있다.

<http://minihp.cyworld.com/37073941/362332797>

VI. 결 론

본 논문에서는 탐뷰 영상을 생성하여 직선 차선을 검출하고 이를 이용하여 곡선 템플릿 정합 방법을 적용하여 곡률을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 높은 검출율과 빠른 검출 시간을 보인다. 탐뷰 영상에서 차선 검출 영역 내에서만 차선을 검출하고 직선의 방정식과 원의 방정식을 이용한 아주 단순한 방법으로 곡률을 검출하였기 때문에 검출 시간을 단축할 수 있었다. 하지만 곡률 검출의 경우 차선이 끊어지지 않

고 연속적으로 나타나는 경우에는 상당히 정확하고 안정적인 곡률 검출이 가능했다. 하지만 양쪽 두 차선 모두가 끊어지는 점선 차선으로 나타나는 경우 곡률 검출이 어려웠고 안정적이지 못한 문제가 있었다. 다음 연구로는 이러한 점선 차선일 경우에 정확한 곡률을 검출할 수 있는 방법에 대해서 연구할 것이다. 또한 제안된 알고리즘을 바탕으로 곡선 차선을 검출하고 보다 더 신뢰성 있는 차선 검출 방법을 위해서 연구할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Erez D., Ofer M., "Forward Collision Warning with a Single Camera," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 37-41, June 2004.
- [2] Claudio R. J. and Christian. R. K., "A Lane Departure Warning System Using Lateral Offset with Uncalibrated Camera," IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 348-353, September 2005.
- [3] Joel C. M. and Mohan M. T., "Video Based Lane Estimation and Tracking for Driver Assistance: Survey, System, and Evaluation," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp. 1-17, July 2005.
- [4] Chris K., Sridhar L. and Karl K., "A Driver Warning System based on LOIS Lane detection Algorithm," IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, pp. 17-22, 1998.
- [5] Jan S., Klaus D., Daniel S., "Lane Detection and Street Type Classification using Laser Range Images," IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, August 2001.
- [6] Yue W., Eam K. T., Dinggang S., "LaneDetection and Tracking using B-Snake," Image and Vision Computing 22, pp. 269-280, 2004.
- [7] Kristijan M., Brian W., "A Lane Detection Vision Module for Driver Assistance," IEEE/APS Conference on Mechatronics and Robotics, 2004.
- [8] Alberto B., "Robust Real-Time Lane and Road Detection in Critical Shadow Conditions," IEEE International Symposium on Computer Vision, 1995.
- [9] Mohamed A., "Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets," 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 7-12, June 2008.
- [10] 정차근, "관심영역(ROI-LB)의 추적 추출에 의한 차선검출의 고속화," 방송공학회논문지, 제14권, 제2호, 253-264쪽, 2009년
- [11] 박중웅, 이준웅, 장경영, 정지화, 고광철, "이미지 좌표계상의 차선 모델을 이용한 차선 휩 검출," 한국자동차공학회, 제11권, 제1호, 193-200쪽, 2003년 1월
- [12] 이준웅, 이기용, "EDF와 하프변환 기반의 차선관련 정보 검출," 한국자동차공학회, 제13권, 제3호, 48-57쪽, 2005년 5월
- [13] 김세훈, 김계영, 최형일, "동적 임계값과 단순화된 칼만필터알고리즘을 이용한 효과적인 차선검출," 한국정보과학회, 제35권, 제2호, 132-137쪽, 2008년 10월

저 자 소 개



한 성 지(학생회원)
2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사.
2009년~현재 숭실대 대학원 전자공학과 석사과정.
<주관심분야 : 영상처리, 자동화 시스템>



한 영 준(정회원)
1996년 숭실대학교 전자공학과 학사.
1998년 숭실대학교 전자공학과 석사.
2003년 숭실대학교 전자공학과 박사.

2009년~현재 숭실대 정보통신전자공학부 부교수.
<주관심분야 : 로봇 비전, 영상처리, 비주얼서보잉>



한 현 수(정회원)
1991년 University of Southern California (공학박사).
1992년~현재 숭실대 정보통신전자공학부 교수.
1994년 일본기계기술 연구소 객원 연구원.

1998년 숭실대학교 어학원장.
1999년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학부장.
<주관심분야 : 자동화 시스템, 자료융합, 물체인식>