

A Robust Real-Time Lane Detection for Sloping Roads

Heo Hwan[†] · Gi-Tae Han^{**}

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel method for real-time lane detection that is robust for inclined roads and not require a camera parameter, the Inverse Perspective Transform of the image, and the proposed lane filter. After finding the vanishing point from the start frame of the image and storing the region surrounding the vanishing point as the Template Area(TA), our method predict the lanes by scanning toward the lower part from the vanishing point of the image and obtain the image removed the perspective effect using the Inverse Perspective Transform coefficients extracted based on the predicted lanes. To robustly determine lanes on inclined roads, the region surrounding the vanishing point is set up as the template area (TA), and, by recalculating the vanishing point by tracing the area similar to the TA (SA) in the input image through template matching, it responds to the changes on the road conditions. The proposed method for a more robust lane detection method for inclined roads is a lane detection method by applying a lane detection filter on an image removed of the perspective effect. Through this method, the processing region is reduced and the processing procedure is simplified to produce a satisfactory lane detection result of about 40 frames per second.

Keywords : Computer Vision, Lane Detection, Inverse Perspective Transform, Template Matching

경사진 도로 환경에서도 강인한 실시간 차선 검출방법

허 환[†] · 한 기 태^{**}

요 약

본 논문에서는 영상의 카메라 파라미터가 필요 없는 역 투시변환 기술 및 제한한 차선필터를 사용하여 경사진 도로 환경에서도 강인한 실시간 차선 검출방법을 제안한다. 영상의 시작 프레임에서 소실점을 찾은 후, 소실점 주변의 일정영역을 템플릿(TA: Template Area)으로 저장하며, 소실점을 기준으로 하단으로 내려가면서 차선을 예측하고, 예측된 차선을 기반으로 역 투시변환계수를 추출하여 추출된 계수로 원근감이 제거된 영상을 얻으며, 바로 그 영상에 제한한 차선필터를 적용하여 차선을 검출한다. 경사진 도로환경에서도 강인한 차선 검출을 위하여 입력영상으로부터 TA와 유사한 영역(SA: Similar Area)을 템플릿 매칭으로 추적하여 소실점을 재계산하여 차선을 검출한다. 제안한 방법은 경사진 도로 환경에서도 차선검출이 견고하며, 처리영역을 축소하고 처리과정을 단순화함으로써 초당 40 frames 정도의 양호한 차선검출 결과를 보였다.

키워드 : 영상처리, 차선검출, 역투시변환, 템플릿매칭

1. 서 론

최근 IT융합기술이 발전함에 따라 자동차산업에서도 여러 IT기술과 융합된 스마트카(Smart Car)의 기술이 떠오르고 있다. 스마트카 진화의 핵심은 기존 최첨단 텔레매틱스 서비스를 적극 수용함에 따라 폭넓은 서비스가 가능하게 된 것이다. 이러한 서비스를 이용한 고 안전 지능형차량(Advanced Vehicle Safety: AVS)은 사고 예방 및 회피, 충

돌 등 위험상황으로부터 운전자 및 탑승자를 보호하여 교통사고 및 피해를 줄일 수 있는 기술로 평가된다[1].

고 안전 지능형차량의 구성 요소 중 하나인 차선 이탈 경고 시스템(Lane Departure Warning System)은 영상, 레이더, 레이저 등의 입력 센서로부터 영상정보를 입력받아 주행 중인 차량의 차선 이탈 여부를 판별하여 운전자의 전방 주시 태만이나 졸음운전 등을 경고하여 안전 운전 기능을 구현하는 기술이다. 이러한 기능을 구현하기 위해서는 각종 센서를 유기적으로 잘 활용하는 것이 중요하지만 수동 센서인 영상 센서를 사용하는 것이 일반적이다[2, 3, 4].

영상 입력 센서를 사용하여 차선 이탈 여부를 판별하기 위한 실시간 차선 검출 알고리즘은 단순하고 적은 연산으로 처리시간을 단축시켜 실시간으로 사용할 수 있어야 한다. 차선 검출 알고리즘의 경우 색 정보나 차선 에지 정보를 이

* 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No.(C0037819))의 연구수행으로 인한 결과물임.

[†] 준 회 원: 가천대학교 전자계산학과 석사과정

^{**} 정 회 원: 가천대학교 IT대학 컴퓨터미디어융합학과 교수

논문접수: 2013년 2월 15일

수정일: 1차 2013년 3월 28일

심사완료: 2013년 3월 28일

* Corresponding Author: Gi-Tae Han(gthan@gachon.ac.kr)

용하여 판단하는데 색 정보는 에지 정보보다 정확하게 검출이 가능하지만 특정한 색을 추출하기 때문에 특징 추출 선택의 폭이 제한적이다. 또한 에지정보를 사용하는 허프변환의 경우 잡음이나 도로의 상태에 강건하게 직선 추출이 가능하지만 연산량이 많아 실시간 검출에 적용하기 힘든 단점이 있다.

차량 검출 방법에는 여러 가지 방법이 있는데, Y. Wang은 B-Snake 기반의 차선 검출 방법을 제안하였다[5]. 이 방법은 B-Spline에 필요한 제어점을 찾기 위하여 Snake 알고리즘을 사용해 제어점을 설정하여 어떠한 형태의 차선이라도 검출 가능한 강건한 차선 검출 방법을 제안하였으나 검출 시간이 길어 실시간 차선 검출에는 사용의 제약을 가지고 있다.

Alberto Broggi는 카메라 파라미터를 이용하여 영상의 원근 효과를 제거해 탑 뷰(top view) 영상을 생성하여 차선을 검출하는 방법을 제안하였다[6]. 영상의 원근 효과를 제거하기 위하여 IPM(Inverse Perspective Mapping)방법으로 차선을 평행하게 만들어 영상 전체를 사용하지 않고 차선이 나타나는 영역만을 사용할 수 있어 검출 시간을 단축시킬 수 있었다. 그러나 이 방법은 역투영 변환을 하기 위하여 카메라의 파라미터를 사전에 알아야 하는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 사전에 카메라 파라미터를 알 필요없이 카메라에 입력되는 영상만으로 경사진 도로 환경에서도 IPM 방법과 같은 성능을 가지는 차선 검출방법을 제안한다. 제안하는 방법은 영상 최초 프레임에서 소실점을 검출하여 소실점을 기준으로 하는 최초 차선을 예측하고 소실점 주변 영역을 템플릿으로 저장하고 이를 이용하여 다음 프레임에 대한 소실점 영역을 추적하도록 한다. 예측된 소실점 영역으로부터 차선을 예측하고, 예측된 차선으로부터 생성한 이상형 차선을 설정하며, 이를 이용하여 투시변환에 사용할 호모그래피 행렬을 추출한다. 추출된 호모그래피 행렬을 사용하여 원근 효과가 제거된 영상을 생성하며, 여기에 5x1 차선 필터를 사용하여 차선을 검출한다.

본 논문에서 제안하는 방법은 알고리즘이 단순하고 관심 영역을 지정하여 첫 프레임에서 허프 변환을 적용하고 이후 소실점 영역을 템플릿으로 추적하기 때문에 전체 영상을 사용하는 허프 변환 방법보다 빠른 속도로 차선을 검출 할 수 있고 또한 IPM 방법과 달리 카메라 파라미터를 필요로 하지 않는다는 장점이 있으며 입력 영상마다 소실점 추적을 통하여 도로 경사 변화에 강건하게 차선을 검출 할 수 있다.

2. 관련 연구

2.1 RANSAC 알고리즘을 이용한 소실점 검출

Fichier 과 Bolles 가 제안한 RANSAC 알고리즘은 노이즈가 심한 원본 데이터로부터 모델 파라미터를 예측하는 방법이다. 일반적으로 파라미터를 예측하는 방법들은 가능한 많은 데이터를 사용하여 유효하지 않은 데이터를 제거하는 반면에 RANSAC 알고리즘은 가능한 적은 양의 초기 데이

터를 사용하여 일관된 데이터의 집합(Consensus Set)을 확장시켜가는 방식을 사용한다[7].

RANSAC 알고리즘은 추정(Hypothesis)단계와 검사(Verification)단계로 이루어진다. 추정단계에서 원본 데이터 중에서 임의로 N개의 샘플 데이터를 선택하고 선택된 데이터를 정상적인 데이터로 보고 모델 파라미터를 예측한다. 검사단계에서는 이렇게 선택된 데이터를 가지고 원본데이터가 예측된 모델에 잘 맞는지 검사한다. 만일 원본 데이터가 유효한 데이터인 경우 유효한 데이터 집합에 추가한다. 이러한 추정과 검사단계를 N회 반복 수행하여 파라미터를 구하게 된다.

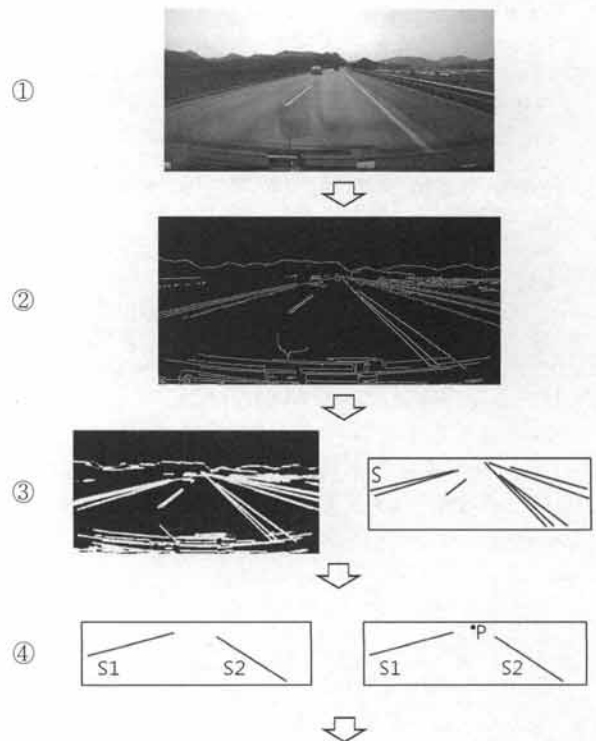
반복 횟수 N은 최소한 하나의 샘플 집합이 유효한 데이터(Inlier)만을 포함할 확률 P를 보장할 수 있도록 충분히 높게 설정되어야 하는데 일반적으로 P는 0.99 로 설정한다. 선택되는 샘플 데이터에서 유효한 데이터가 선택될 확률을 u, 유효하지 않은 데이터의 확률을 v라 할 때 $v = 1 - u$ 로 표현 가능하다. 샘플 데이터의 수를 m 이라고 할 때, 다음과 같은 Equation (1)와 Equation (2)로 반복횟수 N을 구할 수 있다.

$$1 - p = (1 - u^m)^N \tag{1}$$

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - u^m)} \tag{2}$$

입력된 영상에 대하여 RANSAC 알고리즘을 이용해 직선들의 교차점을 구하는 방법으로 소실점을 획득한다[8].

소실점 획득을 위한 처리과정은 다음 Fig. 1과 같다.



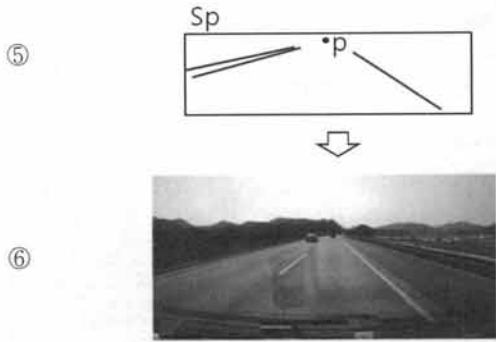


Fig. 1. Processing Flow to find Vanishing Point by RANSAC Algorithm

- ① 입력받은 영상을 Gray 영상으로 변환
- ② 캐니 에지 변환으로 에지 검출
- ③ 표준 허프 변환을 이용하여 에지 영상 내 선분들의 집합 S를 생성
- ④ 무작위로 두 선분 S1, S2를 선택하고 샘플로부터 교차점 p를 계산
- ⑤ 교차점 p를 통과하는 S내의 선분들의 집합 Sp를 계산
- ⑥ 가장 큰 집합 Sp을 가지는 점 p를 소실점으로 선택

반복 횟수 N은 다음과 같이 설정한다. 영상 내에 소실점이 존재한다고 가정한다면 영상 내에 소실점을 교차점으로 하는 직선은 2개 이상 존재한다. 영상 내에 직선의 개수를 n 이라고 한다면 Equation (2)를 사용하여 다음 Equation (3)으로 반복 횟수 N을 설정할 수 있다.

$$u = \left(1 - \frac{2}{n}\right)$$

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-u^n)} \tag{3}$$

2.2 투시 변환

본 논문에서는 입력된 영상의 원근감을 제거하는 방법을 사용하기 위해 투시변환을 이용한다. 투시변환은 하나의 2차원 객체를 서로 다른 두 개의 평면으로 투영하여 생긴 두 영상 사이의 관계를 규정하는 것이다. 이를 이용하면 다음 Fig. 2와 같이 직사각형 형태의 영상 Fig. 2A를 사다리꼴 형태의 영상 Fig. 2B로 바꿀 수 있다.

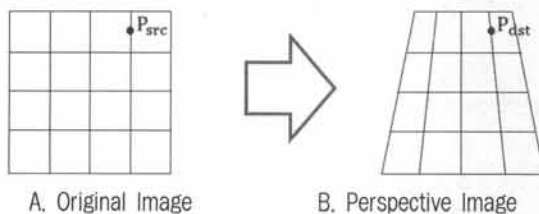


Fig. 2. Perspective Transform Example

평면 호모그래피는 하나의 평면을 다른 평면으로 옮기는 투영 변환을 의미한다. 호모그래피 행렬은 Equation (4)과 같이 크기가 3x3인 행렬 H로 표현한다.

$$H = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \tag{4}$$

실세계 이상형 영상을 Q, 투시변환된 영상을 Q', 스케일 인자를 s, 호모그래피 행렬을 H라고 할 때 다음 Q'는 Equation (5)로 표현된다.

$$Q' = sHQ \tag{5}$$

호모그래피 행렬 H는 오직 8개의 자유도가 존재하기 때문에 H_{33} 이 1인 3x3 행렬이다. 호모그래피 행렬 H는 카메라 내부행렬 M 과 회전행렬 R, 이동 벡터 t로 표현 하여 Equation (6)처럼 표현이 가능하다.

$$H = MW \tag{6}$$

여기서 M은 다음과 같다.

$$M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

W는 회전행렬 R과 이동 벡터 t로 표현되며 W와 R은 다음 Equation (8)과 같다.

$$W = [R \ t], R = [r_1 \ r_2 \ r_3] \tag{8}$$

호모그래피 행렬 H의 회전행렬 $R = [r_1, r_2, r_3]$ 에서 r_1, r_2, r_3 은 각각 X, Y, Z축의 회전에 관여한다. 여기서 객체 평면에 대하여 Z=0 인 경우 r_3 을 없애고 다음 Equation (9)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = sM[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = sM[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

식을 정리하면 H는 다음 Equation (10)와 같다.

$$H = sM[r_1 \ r_2 \ t] \tag{10}$$

호모그래피 행렬 H는 원본 영상 평면 위의 점 P_{src} 와

목적지 영상 평면 위의 점 P_{dst} 사이의 관계를 규정하며, 이는 다음 Equation (11)으로 표현된다.

$$p_{src} = \begin{bmatrix} x_{src} \\ y_{src} \\ 1 \end{bmatrix} \quad p_{dst} = \begin{bmatrix} x_{dst} \\ y_{dst} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$p_{src} = H^{-1}p_{dst} \quad p_{dst} = Hp_{src}$$

2.3 템플릿 매칭

템플릿 매칭은 추적하고자 하는 이미지를 템플릿으로 만들어 입력 영상과 비교하여 매칭을 하는 방식이다. 여기에는 크게 3가지 방법이 존재하는데 제곱차(Squared Difference), 상관관계(Correlation), 상관계수(Correlation coefficient)매칭 방법이다[9]. 본 논문에서는 정규화된 상관관계 방법을 이용하였다.

상관관계는 신호처리 분야에서 각 신호의 관계를 정량화 하는데 사용된다. 상관관계 방법은 템플릿으로 저장된 영상과 원본 입력 영상의 곱을 모두 제공하여 더한다. 이 경우 값이 완벽하게 일치하면 높은 값이 나오고, 그렇지 않을 경우 작은 값이 나오거나 0이 나오게 된다. 입력 영상은 I 라고 하고 템플릿 영상을 T, 결과 영상을 R로 표현할 때 상관관계에 대한 식은 다음 Equation (12)과 같고 식을 적용하여 상관관계 맵을 생성하게 되면 가장 큰 값을 가지는 위치가 탐색된 템플릿 영역의 위치가 된다.

$$R_{corr}(x,y) = \sum_{x',y'} [T(x',y') \cdot I(x+x',y+y')]^2 \quad (12)$$

템플릿 매칭 방법의 정확도 향상과 조명의 간섭을 줄여주기 위하여 정규화를 시킬 수 있다. 정규화된 방법은 입력 영상과 템플릿 영상 사이에 조명의 차이가 존재할 때, 그 영향을 크게 줄여준다. 정규화 계수는 다음 Equation (13)와 같다.

$$Z(x,y) = \sqrt{\sum_{x',y'} T(x',y')^2 \sum_{x',y'} I(x+x',y+y')^2} \quad (13)$$

Equation (11)을 정규화시킨 식은 Equation (14)로 나타낼 수 있다.

$$R_{corr_normed}(x,y) = \frac{R_{corr}(x,y)}{Z(x,y)} \quad (14)$$

3. 제안하는 방법

본 논문에서 제안하는 방법에 대한 처리과정은 Fig. 3와 같이 크게 3단계로 구분지을 수 있다.

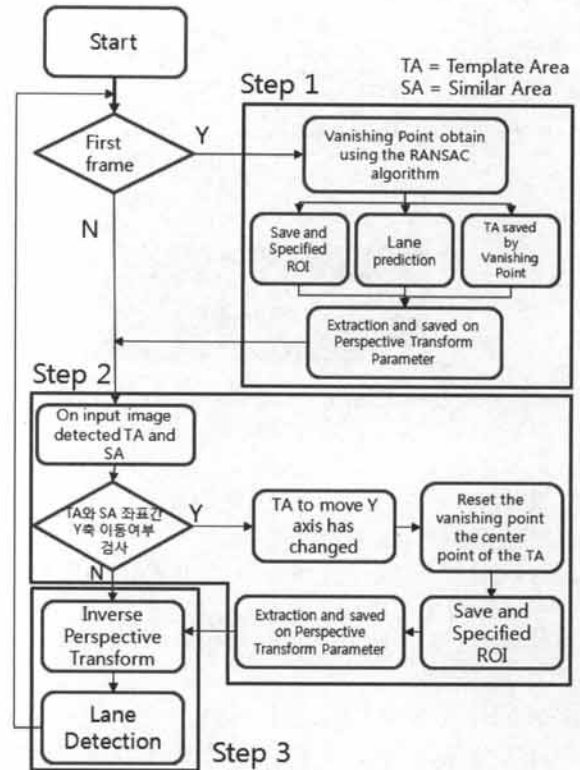


Fig. 3. Flowchart

1단계는 영상의 시작 프레임일 경우에 적용하며 알고리즘은 다음과 같다.

[1단계 알고리즘]

- ① 영상 내에 존재하는 소실점을 RANSAC 알고리즘을 이용하여 검출
- ② 검출된 소실점 기준으로 일정영역을 템플릿 영역으로 저장
- ③ 소실점의 하단에서 가장 가까이에 위치한 일정한 폭을 가진 직선을 차선으로 간주
- ④ 검출된 소실점을 기준으로 관심영역을 지정
- ⑤ 예측된 차선을 기준으로 투시변환 계수를 추출

2단계는 영상의 시작 프레임이 아닐 경우 혹은 1단계를 거친 경우에 적용하며 알고리즘은 다음과 같다.

[2단계 알고리즘]

- ① 저장된 템플릿 영역을 원본 영상과 비교하여 SA 검출
- ② 템플릿 영역이 Y축으로 이동한 경우 템플릿 영역을 변화된 Y축만큼 이동
- ③ 템플릿 영역의 중심점을 소실점으로 재설정
- ④ 관심영역 재설정
- ⑤ 변화된 소실점을 적용하여 투시변환 계수를 다시 추출

3단계 알고리즘은 다음과 같다.

[3단계 알고리즘]

- ① 추출된 계수를 사용하여 영상을 역 투시변환하고 원근감이 제거된 영상을 생성
- ② 역 투시변환된 영상으로부터 차선을 검출

첫 프레임 이후 소실점이 검출된 상황에서는 2단계와 3단계의 반복만으로 차선을 검출한다.

3.1 소실점 위치 기반 템플릿 지정

입력된 영상에 대하여 RANSAC 알고리즘을 사용해 소실점을 획득하였다. 본 논문에서는 소실점을 기준으로 관심영역을 지정하여 역 투시변환을 사용하는데, 이 때 경사진 도로 영상이 입력되면 소실점의 위치가 변하게 되어 이를 반영해 주지 않는다면 차선 예측에 문제가 발생하게 된다. 다음 Fig. 4는 정상 도로인 상태와 경사도로의 상태에서 동일한 변환계수를 적용했을때의 문제점을 보여준다.

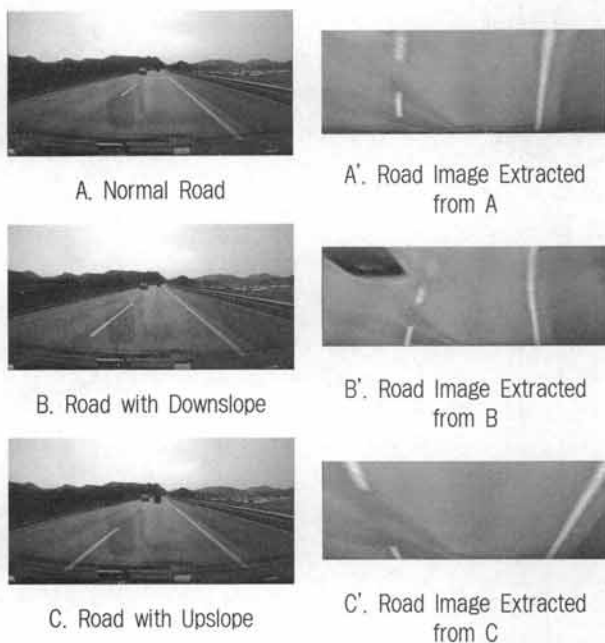


Fig. 4. Problems of Detection by Slope

이러한 문제점을 해결하기 위하여 소실점의 주변 일정 영역을 템플릿 영역(TA)로 저장하고 TA를 다음 프레임의 소실점 영역 예측에 사용한다. 본 논문에서 사용한 템플릿 영역의 크기는 가로 세로가 각각 100픽셀인 사각형을 사용하였다. Fig. 5는 입력된 영상과 입력된 영상의 소실점을 기준으로 템플릿 영역을 지정된 모습을 보여주고 있다.

3.2 최초 차선예측

본 논문에서는 역 투시변환에 사용하는 호모그래피 행렬을 구하기 위하여 차선을 예측하는 단계를 거친다. 차선 예측 단계에서는 연산속도가 느리더라도 정확한 예측을 위하여 허프 변환과 차선의 특징을 이용한다. 차선의 특징은 일반적인 도로의 영상에서 소실점 아래에 위치하고 일정한 두께를 가지고 있다. 또한 차선에서 검출된 직선은 소실점을 지나가게 된다. 이러한 특징을 이용하여 소실점을 수직으로 지나가는 직선을 긋고 소실점 하단부를 스캔하여 차선의 특징을 만족하는 직선을 찾는다.

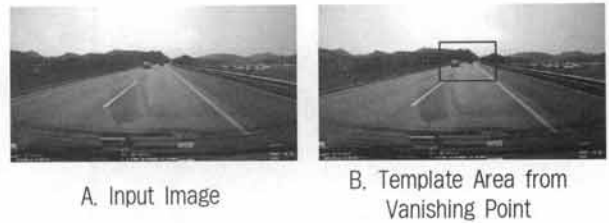


Fig. 5. Template Settings



Fig. 6. Lane Predictions

3.3 관심영역 지정

실시간으로 처리되어야 하는 차선 검출 방법에서는 검출 시간을 단축하는 것이 중요한 의미를 가진다. 소실점의 윗부분은 도로와 상관없는 하늘이나 기타 배경을 나타내기 때문에 소실점 아래 부분만을 관심영역으로 지정한다. 이러한 관심영역을 지정하는 이유는 연산량을 줄이고 필요 없는 영상 영역을 제거하여 도로 영역만을 역 투시변환의 대상으로 하기 위함이다. 본 논문에서 사용하는 관심 영역은 Fig. 7에서 나타내고 있다.



Fig. 7. ROI based on Vanishing Point

3.4 관심영역 영상의 역 투시변환 방법

본 논문에서는 IPM방법과 달리 카메라 파라미터가 필요한 상황에서 예측된 차선을 기준으로 역 투시변환을 수행하는 기법을 제안하였으며, 이를 위하여 이전 단계에서 예측된 차선을 기반으로 좌, 우 차선이 평행한 가상의 이상형 차선을 생성하기 위해 예측된 차선의 중심점을 기준으로 이상형 차선을 설정하였다. 다음 Fig. 8은 예측된 차선과 이상형 차선을 그림으로 나타낸 것이다.

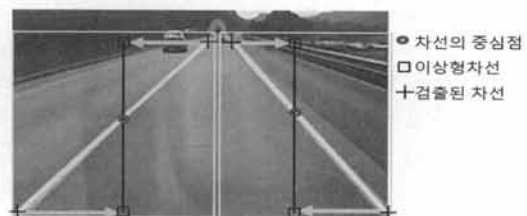


Fig. 8. Predicted Lane and Ideal Lane

일반적인 개념의 투시변환을 역으로 적용하여 탑뷰(top view) 형태의 영상을 만들 수 있다. 다음 Fig. 9와 같이 투시 변환이 적용된 입력 영상에서 역 투시변환을 적용하여 원근 효과가 제거된 영상을 만들어 낼 수 있다.

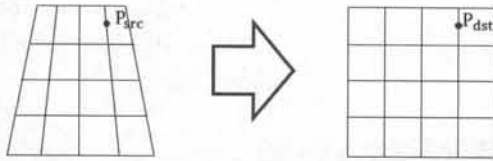


Fig. 9. An Example of Inverse Perspective Transform

예측된 차선과 이상형 차선의 시작과 끝 점을 이용하여 역 투시변환에 사용할 호모그래피 행렬을 구할 수 있다. 호모그래피 행렬 H는 앞서 설명한 것과 같이 카메라 내부 파라미터 M 과 회전행렬 R, 이동벡터 t 로 구할 수 있지만 다음 Fig. 9와 같이 예측된 차선과 이상형 차선의 좌표로 만든 사각형의 꼭지점 좌표를 알고 있다면 역으로 계산하여 호모그래피 행렬 H를 계산할 수 있다. Fig. 10에서 P_1 은 예측된 차선의 좌표이고 p_1 은 이상형 차선의 좌표이다.

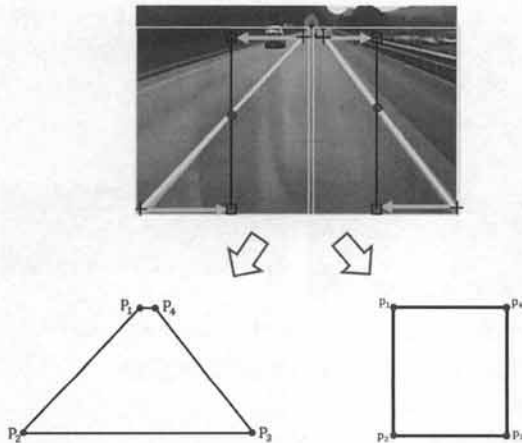


Fig. 10. Relationship of Coordinate between the Predicted Lane and Ideal Lane

이 경우 역 투시변환을 위한 식은 다음 Equation (15)과 같다. w는 스케일 인자를 의미한다.

$$\begin{bmatrix} wx^p \\ wy^p \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

각 점들의 대응 관계를 다음 Equation (16), Equation (17)과 같이 표현한다.

$$x_i^p = \frac{a_1x_i + a_2y_i + a_3}{c_1x_i + c_2y_i + 1} + x_i \quad (16)$$

$$y_i^p = \frac{b_1x_i + b_2y_i + b_3}{c_1x_i + c_2y_i + 1} + y_i \quad (17)$$

이를 정리하면 다음과 같은 식으로 만들 수 있다.

$$x_i^p = a_1x_i + a_2y_i + a_3 - c_1x_ix_i^p - c_2y_i^py_i \quad (18)$$

$$y_i^p = b_1x_i + b_2y_i + b_3 - c_1x_ix_i^p - c_2y_i^py_i \quad (19)$$

호모그래피 행렬 H의 원소 8개를 알기 위해서는 위의 식과 관련하여 영상위의 한 점 P 와 대응되는 점 p를 4개만 알고 있으면 구할 수 있다. 따라서 앞서 구했던 이상형 차선의 점과 예측된 차선의 점을 이용하여 호모그래피 행렬 H를 추출한다. 다음 Equation (20)을 이용하여 호모그래피 행렬 H의 계수를 추출할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1^p \\ y_1^p \\ x_2^p \\ y_2^p \\ x_3^p \\ y_3^p \\ x_4^p \\ y_4^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_1^p & -y_1x_1^p \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y_1^p & -y_1y_1^p \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x_2^p & -y_2x_2^p \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2y_2^p & -y_2y_2^p \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x_3^p & -y_3x_3^p \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y_3^p & -y_3y_3^p \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x_4^p & -y_4x_4^p \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y_4^p & -y_4y_4^p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (20)$$

본 논문에서 Fig. 10 의 두 사각형으로 구한 호모그래피 행렬은 예측된 차선의 집합 P 로 이루어진 사각형의 좌표와 이상형 차선 p 로 이루어진 사각형의 좌표를 Fig. 11로 나타낼 때 H는 Table 1과 같다.

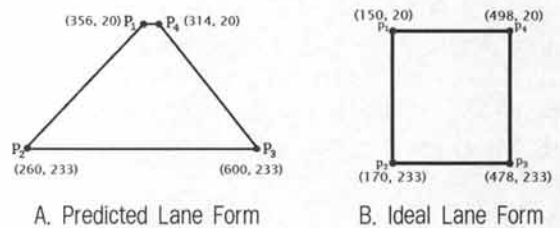


Fig. 11. Example of Two Types Lanes

Table 1. An Example of Homography Matrix H

i	1	2	3
a_i	-23.2735	-64.1076	8168.701
b_i	2.45E-14	-47.1822	887.467
c_i	8.76E-17	-0.19044	1

3.5 템플릿 영역 검색

본 논문에서는 앞서 소실점을 검출하고 소실점 주변 영역을 템플릿 매칭에 사용할 영역(TA:Template Area)으로 저장하였다. 템플릿 매칭을 위한 방법으로는 연산속도가 빠르고 정확하게 템플릿을 매칭 할 수 있으며 입력 영상과 템플릿 영상 간에 조명의 간섭을 크게 줄여주는 효과가 있는 정규화된 상관관계(NCC:Normalized Cross-Correlation) 매칭 방법을 이용하였다[11].

검출된 소실점의 위치와 비교하여 템플릿 영역의 위치가 Y축으로 변화된 경우 변화한 위치를 템플릿 영역으로 저장하고 템플릿 영역의 중심점을 소실점으로 설정하여 사용한다. 새로운 소실점이 설정되면 설정된 소실점을 기준으로 관심영역을 다시 지정한다. 이와 같이 소실점을 추적하고 관심영역을 재설정함으로써 도로 주행 중 갑작스런 경사 변화에도 강인하게 역 투시변환을 사용할 수 있게 된다. Fig. 12는 도로 경사가 변화하는 경우 재 지정된 소실점 영역을 나타낸다. Fig. 12의 E에서 붉은색 점은 초기 소실점 위치이고 푸른색 점은 추적된 새로운 소실점의 위치와 각 소실점을 기준으로 하는 템플릿 영역을 나타내고 있다.

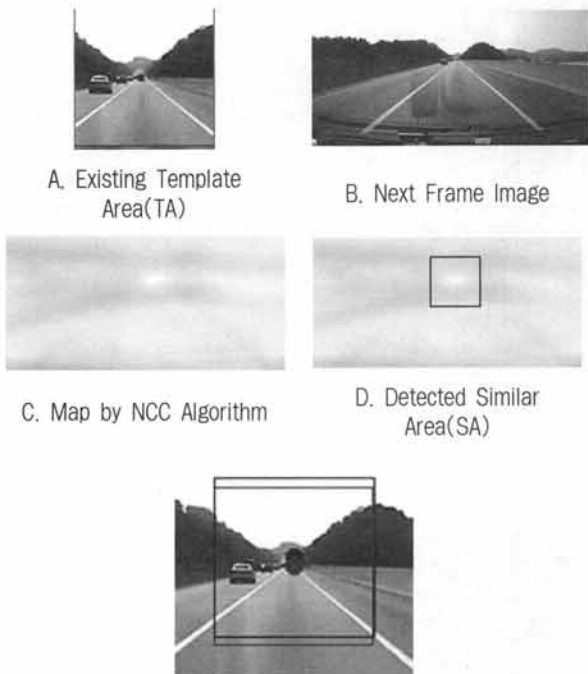


Fig. 12. Template Area Navigation

3.6 차선 검출

앞서 구한 호모그래피 행렬을 사용하여 영상의 원근감을 제거한 영상을 생성한다. 추출한 호모그래피 행렬을 이용하여 역 투시변환한 결과는 Fig. 13과 같다.

이러한 탐 뷰 영상은 위 그림과 같이 차선이 대체적으로 직선으로 표현된다. 따라서 본 논문에서는 원근감이 제거된 영상에서 차선 검출을 위해 5x1 필터를 사용한다. 5x1 필터

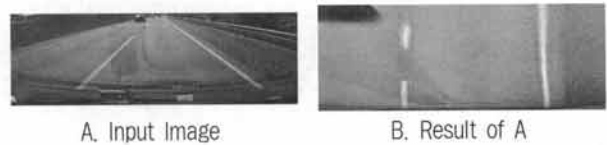


Fig. 13. Result of Inverse Perspective Transform

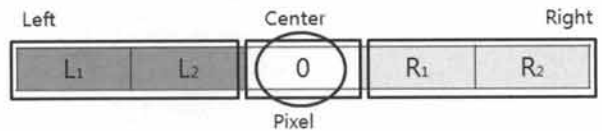


Fig. 14. Proposed Filter for Lane Detection

는 수직의 에지를 중점적으로 검출해 낼 수 있으며 영상을 그레이 영상으로 변환 후 필터를 적용한다. 일반적인 경우 차선의 색은 도로에 비하여 밝은색으로 분포되는데 이를 참조하여 차선을 검출한다[12].

Fig. 14에서 필터는 왼쪽 2픽셀, 오른쪽 2픽셀의 각각의 합을 구하여 두 값의 차이가 (최대 밝기 값 - 영상 화소 평균 값) 이상일 경우 현재 화소를 에지 성분으로 결정한다. I 는 이미지, c 는 현재 픽셀, L 은 현재 픽셀의 왼쪽 부분, R 은 현재 픽셀의 오른쪽 부분이라 할 때, Equation (21)와 같이 나타낼 수 있다.

$$c = \begin{cases} \text{차선} & \text{if } |(L_1 + L_2) - (R_1 + R_2)| > |I_{\max} - I_{\text{avg}}| \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (21)$$

이는 Fig. 15에서 나타나듯이 밝기값이 차선 부분에서 큰 변화량을 가지게 되므로 이를 이용하여 필터를 설정하였다.

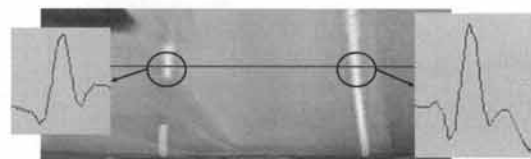


Fig. 15. Gray Values in the Histogram for Lane

Fig. 16는 필터를 이용하여 검출된 에지 영상을 나타낸다.

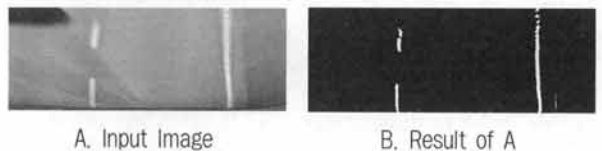


Fig. 16. Lane Detected by Proposed Filter

역 투시변환의 특징상 변환된 영상의 상단 부분의 영상 정보는 영상 정보가 부족하기 때문에 영상이 퍼져보일 수 있다. 따라서 영상의 하단 부분에 위치하는 정보를 이용하

는 것이 차선 추출에 있어서 더욱 정확한 결과를 나타낼 수 있으므로 검출된 차선 영상에 대하여 하단 부분부터 탐색하여 차선을 검출한다.

4. 실험 결과

제안된 기법은 차량 앞 창문에 카메라를 설치하여 입력된 영상을 이용하여 비교적 단순한 고속도로의 영상을 가지고 실험을 하였다. Fig. 17은 도로의 상태가 직선이고 장애물이 존재하지 않는 이상적인 상황에서의 실험 결과를 나타낸다.

Fig. 18은 도로의 상태가 곡선이고 도로의 환경이 이상적인 경우의 실험결과를 보여준다.

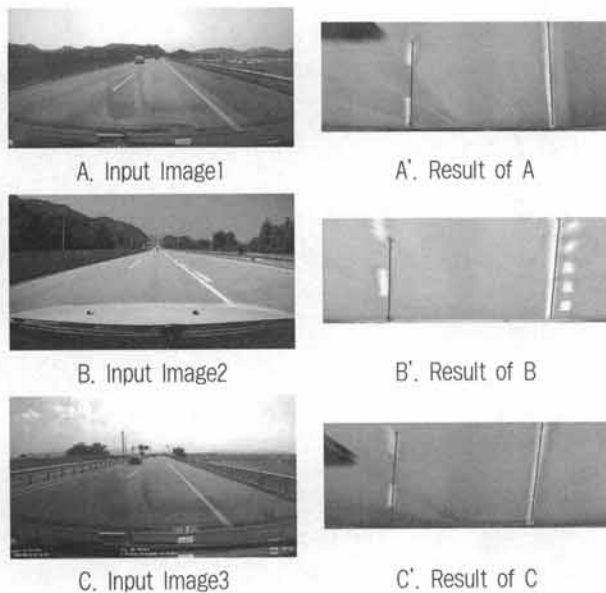


Fig. 17. Lane Detection in Straight Lane

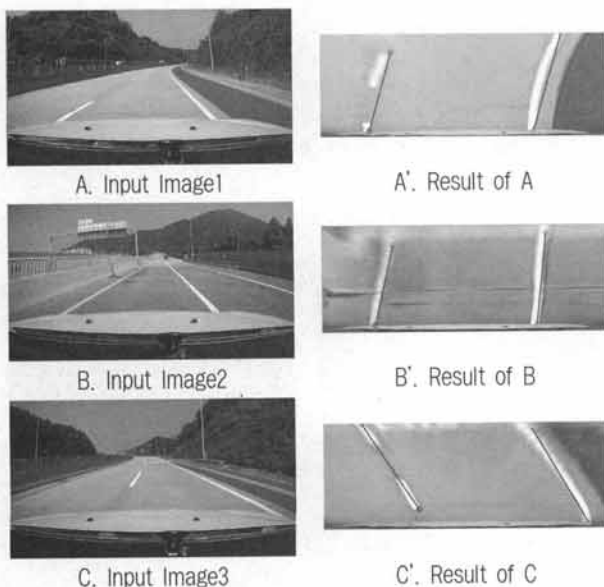


Fig. 18. Lane Detection in Curve Lane

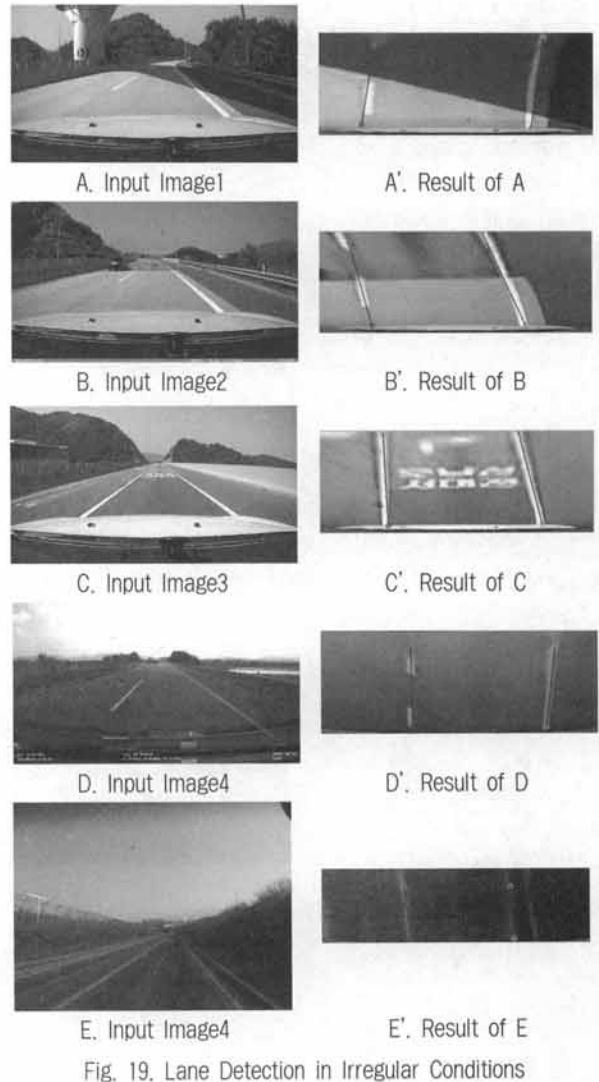


Fig. 19. Lane Detection in Irregular Conditions

Fig. 19은 도로의 상태가 불규칙하거나 그림자가 끼 있는 경우와 도로의 환경변화나 문양이 생기는 경우의 실험결과를 보여준다.

Fig. 20은 차선의 상태가 불규칙하거나 차선위로 다른 차량이 끼어들기를 하는 경우의 실험 결과를 보여준다.

차량은 일반적으로 평평한 도로에서 운전하게 되지만 순간적으로 나타나는 도로의 장애물이나 도로 자체 상태에 따라 오르막이나 내리막이 나타날 수 있다. 이 경우 IPM 방법은 도로와 카메라가 이루는 각도가 순간적으로 변하기 때문에 탑 뷰 영상이 나타나는 영상이 평행하지 않고 퍼지거나 모아지는 형태로 나타날 수 있다. 이러한 문제점은 순간적으로 짧게 나타나고 영향이 크게 나타나지 않을 수 있지만 차선 이탈 경고 시스템에서는 문제를 일으킬 수 있다. 본 논문에서는 소실점을 추적하는 방법으로 이와 같은 문제점을 해결할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 방법은 편의를 위해 OpenCV로 개발되었으며 Intel Core2 Duo 2.6GHz, 2GB RAM 컴퓨터에서 640*480 크기의 영상을 1초에 40frame 가량 처리할 수 있었다.

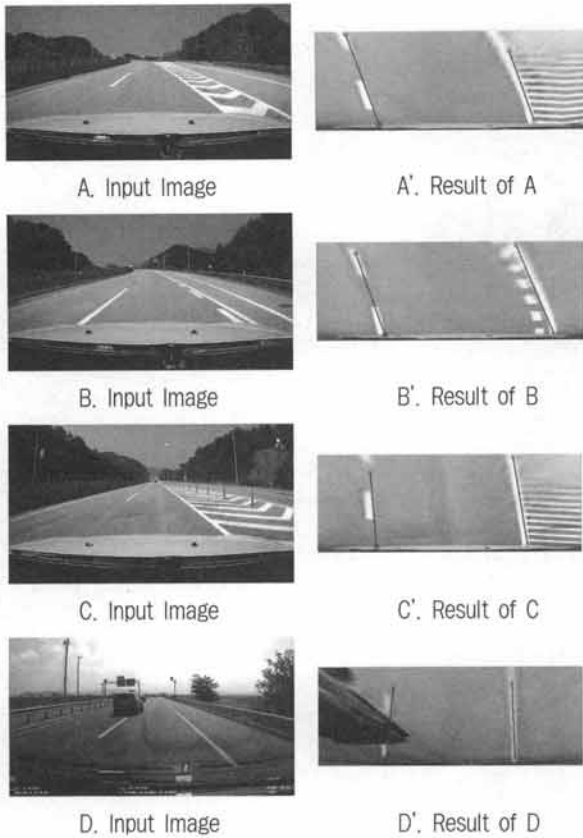


Fig. 20. Lane Detection in Anomalous Situation

Table 2 는 B-Snake를 이용한 방법[5]과 IPM방법[10]을 이용한 방법을 본 논문에서 제안한 방법과의 비교를 처리속도와 카메라 파라미터 사용 유무로 나타내었다.

Table 2. The Comparison between Previous Methods and Proposed Method

Method items	B-Snake	IPM	Proposed Method
Processing Speed	4 frames/second	45 frames/second	40 frames/second
Camera Paratemer	Not	Need	Not

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 소실점을 이용하여 차선을 예측 후 소실점 영역을 템플릿으로 저장한 후, 소실점 기준 하단 영역을 관심영역으로 설정하고, 이 영역에 대하여 투시변환이로 원근 효과를 제거한 영상으로부터 차선을 검출하는 방법을 제안하였다. 차선검출 과정에 관심영역을 지정하고 처리방법을 단순화하여 검출 시간을 현저하게 단축할 수 있었고 카메라 파라미터를 알 필요도 없었다. 또한 도로의 노면 상태가 고

르지 않거나 갑작스런 오르막이나 내리막에도 영향을 받지 않는 강인한 차선 검출 방법을 제안하였고 기존 방법과의 처리속도를 비교함으로써 타당성을 검증하였다. 차후 연구에서는 도로 위의 장애물이나 차량이 차선을 변경하는 상황에서도 정확하게 차선을 검출할 수 있는 방법을 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] ETRI 산업분석연구팀 책임연구원, “지능형 자동차 안전기술 개발 동향” 정보통신산업진흥원 IT기획시리즈, 2012. 8.
- [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] 전자부품연구원, “차량안전시스템 산업동향” 2010. 12.
- [4] Joel C. M. and Mohan M. T., “Video Based Lane Estimation and Tracking for Driver Assitance: Survey, System, and Evaluation,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp.1-17, July, 2005.
- [5] Y. Wang, E. K. Teoh, and D. Shen, “Lane detection and tracking using B-snake,” Image Vision Computing, Vol.22, No.4, pp.269-280, 2004.
- [6] Massimo Bertozzi and Alberto Broggi “Real-Time Lane and Obstacle Detection on the GOLD System,” IEEE International Symposium on Computer Vision, 1995.
- [7] Fischler, M. A., and R. C. Bolles, “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”. Communications of the Association for Computing Machinery, 1981.
- [8] R.I.Hartley and A.Zisserman, “Multiple View Geometry,” Cambridge University Press, 2003.
- [9] Gary Bradski, Adrian Kaehler, Learning Opencv: Computer Vision with the Opencv Library, O'REILLY, 2008.
- [10] Mohamed A., “Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets,” 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.7-12, June, 2008.
- [11] Kai Briechle and Uwe D. Hanebeck, “Template Matching using Fast Normalized Cross Correlation”. Proceedings of SPIE, Vol.4387, pp.9, Mar., 2001.
- [12] Hwan Heo, Sung-Hun Kim, Il-Moon Chae, Ki-Tea Han, “Real-time Lane Detection Method using Inverse Perspective Transform and Lane Filter” The 38th KIPS Fall Conference Vol.19, No.2, pp.545-548, 2012. 11.



허 환

e-mail : hwan861@naver.com

2012년 가천대학교 컴퓨터미디어학과
(학사)

2012년~현재 가천대학교 전자계산학과
석사과정

관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전 등



한 기 태

e-mail : gthan@gachon.ac.kr

1982년 충남대학교 계산통계학과(학사)

1990년 한양대학교 전자계산학과(공학석사)

2001년 한양대학교 전자공학과(공학박사)

2009년~2010년 University of Texas at
Austin, Researching professor

1992년~현재 가천대학교 IT대학 컴퓨터미디어융합학과 교수

관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 스마트객체 응용기술, 모바일
컨텐츠 등