

## 확장 에지 분석을 통한 실시간 전방 차량 검출 기법

지영석\*, 한영준\*\*, 한헌수\*\*

### Real-time Forward Vehicle Detection Method based on Extended Edge

Young-suk Ji\*, Young-joon Han\*\*, Hem-soo Hahn\*\*

#### 요약

본 논문은 에지를 이용한 차량 검출 시 검출률 향상을 위해 부정확한 에지 정보를 보완하는 확장 에지 분석 기법을 제안한다. 차량은 영상에서 차량이 지면과 닿는 경계면과 좌우 경계선을 이용하여 검출한다. 제안하는 확장 에지 분석 기법은 차량과 지면의 경계선을 표현하는 수평에지가 조영이나 잡음 등으로 인해 부정확하게 얻어지는 문제를 해결하기 위해 수평에지를 양방향으로 확장하여 차량 양쪽의 경계선인 두 개의 수직에지 성분과 교차하는 점을 찾는 방법이다. 즉, 미리 설정된 관심영역 내에서 인접한 수평에지 정보를 이용하여 에지를 융합하거나 분리하는 방법을 통해 수평에지를 추출하고 추출된 수평에지 영역에서 차량 그림자 영역을 검출하여 차량 바닥선을 결정한다. 차량의 폭은 수평에지와 교차하는 수직에지들 중에서 좌우 대칭을 형성할 수 있는 에지들과 차간 거리를 고려하여 결정한다. 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법은 복잡한 배경을 갖는 도로 영상에서 기존의 에지 정보를 이용한 차량 검출 방식보다 효율적이다. 본 논문에서 제안하는 차량 검출 기법의 우수성은 복잡한 도로 영상에서 차량 검출 실험을 통해 검증하였다.

#### Abstract

To complement inaccurate edge information and detect correctly the boundary of a vehicle in an image, an extended edge analysis technique is presented in this paper. The vehicle is detected using the bottom boundary generated by a vehicle and the road surface and the left and right side boundaries of the vehicle. The proposed extended edge analysis method extracts the horizontal edge by merging or dividing the nearby edges inside the region of interest set beforehand because various noises deteriorates the horizontal edge which can be a bottom boundary. The horizontal edge is considered as the bottom boundary and the vertical edges as the side boundaries of a vehicle if the extracted horizontal edge intersects with two vertical edges which satisfy the vehicle width condition at the height of the horizontal edge. This proposed algorithm is more efficient

• 제1저자 : 지영석    교신저자 : 한헌수

• 투고일 : 2010. 07. 05, 심사일 : 2010. 07. 22, 게재확정일 : 2010. 08. 12.

\* 숭실대학교 전자공학과 석사과정    \*\* 숭실대학교 전자공학부 교수

※ 본 논문은 2010년 정부 교육과학기술부(한국학술진흥재단)의 2단계 BK21사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1021-0010))

than the other existing methods when the road surface is complex. It is proved by the experiments executed on the roads having various backgrounds.

▶ Keyword : 차량검출(Vehicle Detection), 확장에지분석(Extended Edge Analysis), 운전보조시스템(Drive Assistive System)

## 1. 서론

최근 운전자의 편의와 안전을 생각하는 지능형 자동차를 위한 연구는 국내외에서 매우 활발히 진행되고 있다. 이에 새롭게 제안되고 있는 것이 운전자 보조 시스템이나 무인 자동차에 대한 연구이다. 이러한 지능형 자동차에 있어서 가장 보편적으로 다루어지는 부분은 전방 차량이나 장애물을 검출 및 추적이며, 궁극적으로는 주행 상에 고려되는 장애물에 대한 거리와 위치를 추정하여 위험도를 인식해 사고를 사전에 방지하거나 안전한 주행이 가능토록 하는 것이다. 하지만, 일반적으로 날씨에 의한 자연 현상과 복잡한 도로 상황과 같은 환경 요인 변화에 완벽한 대응이 쉽지 않아 실제로 차량에 적용하는 것은 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 센서를 활용하는 기법들이 제안되고 연구되고 있다.

전방 차량이나 장애물을 인식하기 위해서는 레이더나 레이저 스캐너, 그리고 카메라가 주로 사용된다. Park[1]은 도로 측면에 레이더(Radar)를 설치하여 차량의 위치와 크기, 속력을 추정하였다. 레이더는 카메라에 비해 더 멀리 있는 물체를 정확하게 탐지 할 수 있다. 하지만 물체가 정지해있거나 가까운 거리에 인접해 있는 경우에 탐지 능력이 취약하다는 문제점을 갖고 있다. 레이저 스캐너(Laser Scanner)는 근접한 거리의 물체에 대해 탐지 능력이 뛰어나다. G. Alessandreit[2]는 차량에 레이저 스캐너를 설치하여 주변의 물체들을 분류하여 차량을 검출하는 추적 알고리즘을 제안하였다. 그러나 검출거리가 짧아서 실제 달리는 차량에 적용하기에는 문제가 있다. 카메라는 물체의 형태를 구분할 수 있는 정보를 포함한다는 점에서 다른 센서에 비해 많은 장점을 갖는다. 하지만, 카메라는 자동차 뿐 아니라 도로영역에 포함되는 모든 물체 정보를 포함하고 있어 자동차를 찾아내는 일이 쉽지 않다, 따라서 자동차가 존재할 수 있는 영역을 정하고 이 안에서 자동차를 찾는 방법이 일반적으로 사용된다[3]. 예를 들면 차선을 찾아내고 차선 내의 영역을 찾는 방법[4], 스테레오 카메라를 이용하여 3차원 형태를 추정하는 방법[5-6] 등이 제안되었다. 앞의 방법은 차선정보가 짧거나 약할 경우 오류가 심하고, 뒤의 경우는 연산이 복잡하기 때문에 실제 차량에 장착했을 때,

실시간 검출이 어렵다. 특히 검출 차량과의 거리가 멀어질수록 스테레오 카메라의 분별력이 떨어져 거리 정보의 정확성이 떨어지는 경향이 있다[7]. 다른 방법으로는 차량에 포함되는 에지의 특성을 이용하는 방법이 있다[8-10]. 영상에서 얻어진 수직 에지와 수평에지를 이용하여 차량 후보 영역을 검출한다. 이 방법은 빠른 연산 속도와 비교적 정확한 차량 검출이 가능하지만, 복잡한 시내 영상에는 차량뿐만 아니라 배경에서 추출되는 수직 에지가 많이 발생하여 연산 속도를 느리게 하는 원인이 된다. 그리고 조명 환경 등의 요인으로 인한 수직 에지와 수평 에지 정보의 소실이 되거나 잡음이 생길 경우 차량 후보 검출이 어렵다는 단점이 있다. 또 다른 방법은 차량이 만드는 그림자를 검출하는 방법이다[11]. 그림자 영역은 터널 같은 어두운 배경을 갖는 환경, 또는 일출, 일몰 혹은 흐린 날에는 적용이 어렵다는 문제가 있다. 그리고 BDF를 이용한 차량 검출 기법이 있다[12]. 하지만 사전에 학습된 기준을 사용하기 때문에 다양한 환경에 적용하기 쉽지 않다.

본 논문에서는 차량 검출의 효율성과 수행 속도 향상을 위해서 영상에서 수평 에지 정보와 그림자 그리고 영상 내에 존재하는 차량의 높이와 차량 폭의 관계를 고려하여 차량의 후보 영역을 결정하는 방법을 제안한다. 영상 내에 존재하는 조명, 잡음 그리고 배경 등에 의한 차량 후보 군을 제거하여 도로 영상의 복잡도와 차량 검출 알고리즘의 실제 연산량을 줄였으며, 잡음에 의한 정보가 소실되는 문제점은 본 논문에서 제안하는 확장 에지 분석을 통하여 해결하였다. 차량 검출 단계에서는 차량의 수직 에지의 대칭성과 영상 내의 높이와 차량 너비의 관계를 이용한 방법으로 단순하면서 빠르고 정확한 결과를 얻는다. 이 결과를 통해 차량과 비차량을 구분한다. 제안하는 차량 검출 기법에 대한 순서도는 그림 1에서 보인다. 본 논문의 구성은 총 6장으로 구성되어 있으며, 2장에서 차량과 도로 면에서 나타나는 수평에지와 그림자 성분을 이용하여 차량 바닥선을 검출하며, 3장에서는 2장에서 구해진 차량 바닥선을 이용한 일반적 방법과 확장 에지 분석 기법을 이용하여 차량 폭을 검출한다.

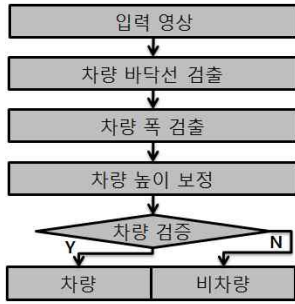


그림 1. 제안하는 기법의 순서도  
Fig. 1 Flowchart of the proposed method.

그리고 4장에서는 영상 내의 차량 높이와 차량 폭의 관계를 이용하여 찾아진 차량 후보의 실제 높이를 보정하며, 차량 검증 단계를 거쳐 차량이 갖는 특징을 이용하여 차량과 비차량으로 분류하였다. 마지막으로 5장에서는 제안하는 기법과 그림자 기반의 차량 검출 기법[11] 그리고 BDF 기반 차량 검출 기법[12]의 구현을 통하여 검출을 및 수행시간의 실험 및 고찰에 대해 기술하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 차량 바닥선 검출

자효율적으로 차량 바닥선을 검출하기 위해서 불필요한 영상 정보를 제외하기 위해 관심영역(ROI: Region of Interest)을 설정한다. 관심영역은 입력 영상에서 불필요한 부분인 상단의 지평선 이후의 영역과 하단 영역의 비도로 영역을 제외한다. 그리고 현재 차선과 양쪽의 인접한 차선까지로 영역을 제한한다. 그림 2. (a)는 관심영역을 실제 입력 영상에 그림으로 표현한 것이다. 실시간 차량 검출을 위하여 위에서 정의된 관심영역에 한하여 수평 에지를 검출한다. 그림 2. (b)는 그림 2.(a)에서 수평 에지를 검출한 결과 영상이다. 영상의 지평선 영역에 존재하는 수평 에지 성분을 보면 두 대의 차량 바닥선 수평 에지 성분들이 붙어 있다. 이는 얻어진 수평 에지 들은 영상 내에 존재하는 모든 수평 에지 성분 들이 추출되었기 때문에 조명에 의한 그림자, 잡음을 포함한 많은 정보를 갖고 있기 때문이다. 그러므로 차량에 근접한 수평 에지를 정확하게 추출하기 위해서는 구해진 수평 에지에 대해 전처리 과정을 거쳐 필요한 정보만을 추출한다. 모든 수평 에지 들이 각각의 물체에 맞게 연결되지 않기 때문에 우선 아래의 수평 에지 방법에 따라 처리한다.

1. 수평 에지 융합- 잡음 등에 의해 단절된 수평 에지를 일정한 규칙에 따라 융합.

2. 수평 에지 분리- 영상 특성에 의한 과도한 길이의 수평 에지를 일정한 규칙에 따라 분리.
3. 그림자 성분 검출- 수평 에지 영역의 위아래 부분에서 그림자 성분을 일정한 규칙에 따라 검출.

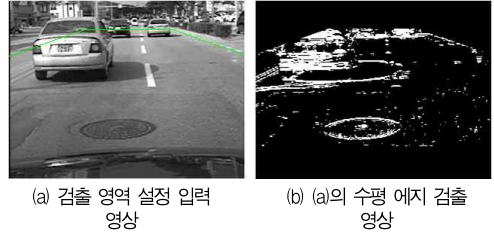


그림 2. 검출 영역 설정.  
Fig. 2 Detection region setting.

그림3은 수평 에지 처리 방법을 그림으로 표현한 것이다. 그림 3.(a)는 수평 에지 융합을 하기 위해 제안하는 마스크이다. 마스크는 3\*2로 기준 화소  $(i+1, j)$  이외에 행렬 성분에 수평 에지가 존재할 경우, 하나의 수평 에지로 간주한다. 그림 3.(b)는 지평선 영역에서 존재하는 과도한 길이의 수평 에지를 분리하여 검출을 보다 정확하게 하기 위해 수평 에지를 분리하는 방법을 그림으로 표현한 것이다. 검출 된 과도한 길이의 수평 에지의 영상 내 높이가  $j$ 일 때,  $j \pm \psi$  범위 안에 존재하는 짧은 수평 찾는다. 해당 영역 안에 짧은 수평 에지가 존재하면, 이를 이용하여 과도한 길이의 수평 에지를 분리한다.

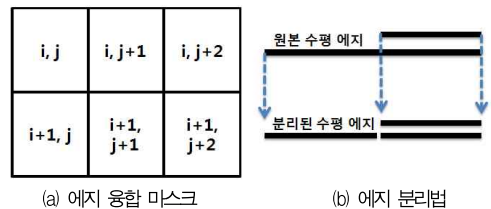


그림 3. 수평 에지 처리 방법.  
Fig. 3 A method of Horizontal edge processing.

분리 과정을 마치면 모든 수평 에지들은 아래의 수식 1.에 의해서 나온 에러율 $e$ 에 의해 1차적으로 후보 수평 에지들을 선택한다.

$$e = 1 - (\text{measured value} / (\frac{h}{w} \times \text{height} + C)) \dots (1)$$

여기서 수식.1은 사전에 측정된 차량 폭과 차량의 높이관계를 이용한 수식과 실제 측정(measured value)된 값과 비교하는 것이다.

$\frac{h}{w}$ 는 사전에 구해진 차량 폭 $w$ 과 영상 내의

차량의 높이  $h$ 의 관계를 이용한 차량 폭의 변화율을 나타내며,  $height$ 는 영상 내의 수평 에지의 높이이다. 그리고  $C$ 는  $w + \text{변화율} \times height$ 이다. 실제 영상 내에서 얻어지는 수평 에지는 여러 가지 잡음이나 환경적 요인에 의해서 다를 수 있기 때문에 허용 오차 범위를 설정한다. 위에서 구해진 실제 측정된 차량 폭(measure value)의 오차율  $e$ 가  $(-Y < e < Y)$ 의 안에 있으면, 적합한 차량 폭으로 인정한다. 마지막으로 차량과 도로 면이 만나는 영역에서 발생하는 그림자 영역을 검출하여 최종적으로 차량 바닥선 후보를 결정한다. 그림 4는 수평 에지에서 그림자 영역으로 검출하는 방법을 표현한 것이다.



그림 4. 그림자 영역 검출법.  
Fig. 4 A method of shadow region detection.

검출된 수평 에지의 각 상하 영역에서 높이 5만큼 그림자 영역을 검사한다. 그림자 영역 판단은 아래의 수식을 따른다.

$$S = \begin{cases} \frac{Shadow\ Pixel}{Scanned\ Pixel} > \xi, & Vehicle\ Bottom \\ Otherwise & ,\ Noise \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 *Shadow Pixel*은 그림자 영역이 검출된 총 픽셀의 개수이며, *Scanned Pixel*은 임의의 수평 에지에서 그림자 영역을 검사한 전체 영역의 총 픽셀의 개수를 나타내며, *Scanned Pixel*은  $10 \times$  수평 에지의 픽셀 개수이다.  $\xi$ 은 사전 정의된 임의의 문턱 값이다.  $S$ 에 따라 최종 차량 바닥선이 결정된다. 마지막으로 구해진 수평 에지들로 새로운 맵을 생성한다.



(a) 후보 차량 바닥선 영상 (b) 최종 차량 바닥선 영상

그림 5. 수평에지 처리 과정.  
Fig. 5 Horizontal edge processing.

그림5는 수평 에지 처리 과정을 그림으로 보인 것이다. 그림 5.(a)는 수평 에지 처리 방법 1과 수식 (1)에 의해 결정된 결과를 보이며, 그림 5.(b)는 (a)의 결과를 본 장의 서두에서

제시한 수평 에지 처리 방법 2,3에 적용한 후에 연결된 수평 에지 후보들을 군집화 기법을 이용하여 차량 바닥선 후보의 좌·우·바닥 높이의 좌표를 얻어 새로운 수평 에지 맵을 만든 결과이다. 결과적으로 그림5(a)의 결과 영상에 존재하던 많은 수평에지들이 제거되었으며 최상단의 지평선 영역에서 보이는 길이가 긴 에지들이 분리된 결과를 보인다. 여기서 최종적으로 선택된 각 차량 바닥선 후보에서 차량이 갖는 수직 에지 성분을 이용한 차량 폭 검출을 다음 장에서 보인다.

### III. 차량 폭 검출

일반 차량이 갖고 있는 수직에지는 일반적으로 차량의 내부에는 존재하지 않으며, 차량의 양쪽에 존재한다. 또한 2개의 수직에지는 일반적으로 대칭성을 갖는다. 그렇기 때문에 이러한 정보를 이용하여 차량을 검출하는 연구들이 있다[8, 11]. 그러나 이들 연구는 고속도로나 자동차 전용 도로 등의 경우를 이용하여 영상의 복잡도가 단순한 경우를 적용하여 실험하였다. 하지만, 시내 도로 영상의 경우에는 다수의 차량이 더 복잡하게 운행되고 있으며, 도로 주변의 건물이나 건물에 의해 만들어지는 조명 등의 환경이 만들어 내는 다양한 수직 에지 성분들 때문에 오검출이 높아지기 때문에 본 논문에서는 수직 에지를 이용한 차량 폭 검출 과정을 2단계로 나누어 상황에 맞게 적용하였다. 1절에서는 위에서 구한 차량 바닥선 후보들의 영역에서 차량이 갖는 좌측과 우측의 수직 에지를 검출하여 보다 정확한 실제 차량의 폭을 1차적으로 검출한다. 그리고 때로는 잡음이나 조명에 의해 부정확한 길이를 갖는 차량 바닥선 후보를 얻기 때문에 정확한 차량 폭 검출이 힘들다. 그래서 2절에서는 구해진 차량 바닥선 에지의 확장 분석을 통해 2차적으로 차량 폭을 검출한다. 이 방법을 통해 에지의 확장 분석을 통한 차량 폭 검출은 영상 내의 잡음이나 조명, 환경 등에 의한 미검출이나 오검출을 방지하고 검출 능력을 향상시킬 수 있다.

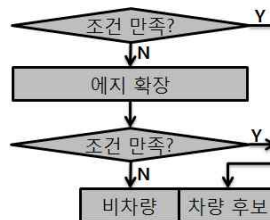


그림 6. 차량 폭 검출 기법의 순서도.  
Fig. 6 The flowchart of vehicle width detection method.

그림 6에서 차량 폭 검출 알고리즘을 간단한 순서도로 보인 것이다.

1. 바닥선 에지를 사용한 차량 폭 검출

2장에서 구한 차량 바닥선 후보 영역에서 차량이 갖고 있는 수직 에지 성분을 1차적으로 찾는다. 여기서 좌측과 우측의 수직 에지 성분을 찾기 위하여, 차량 바닥선 후보에서 차량이 갖고 있는 차량 폭을 수직에지 영상에서 두 개의 수직 에지를 검출하여 결정한다. 우선 차량 바닥선과 수직에지 선의 교차점을 찾기 위해 차량 바닥선 영상을 수직에지 영상에 투영시킨다. 그림 7은 투영시킨 영상에서 차량 바닥선과 수직에지 선이 교차하는 점을 찾는 결과를 보여준다. 그림 8은 차량 폭을 찾는 기법을 보인 것이다. 그림 8.(a)은 검출 영역과 검출 마스크에 대한 정의를 그림으로 표현한 것이다. 여기서  $w$ 는 차량 폭 검출 영역의 너비를 나타내며 현재 차량 바닥선 후보의 길이이며, 검출 영역의 높이는 일반적인 차량의 폭과 높이의 관계를 고려하여  $0.6 \times w$ 으로 사전 정의하였다. 이때, 차량이 갖는 두 개의 수직 에지는 차량 바닥선의 양쪽 끝단에 존재한다. 본 논문에서는 검출 영역을 좌·우에 대해 반으로 나누어 검출 마스크 적용하여 수직에지 성분과 차량 바닥선이 일정 범위 안에서 맞닿고 수직에지 성분이 제일 강한 곳을 선택한다. 수직에지 강도는 검출 마스크 내에서 수직에지 성분이 존재하는 각 행의 수이다. 그리고 차량 바닥선과 수직에지 선이 교차하는 점을 찾아 차량 폭을 결정한다.

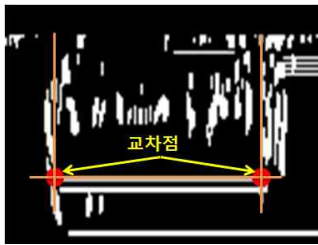


그림 7. 교차점 검출  
Fig. 7 Intersecting point detection.

검출 영역 그림 8.(b)는 차량 바닥선 영상과 수직에지 영상을 투영시킨 영상으로 그림 5.(b)에서 얻어진 차량 바닥선 후보의 위치를 수직 에지 영상에 대입하여 검출 마스크를 통해 차량 폭을 검출하는 것을 보여 준다. 차량 후보 결정은 구해진 두 개의 수직에지 성분의 강도와 위에서 구한 차량 바닥선과 수직에지 선의 교차점과 교차점에 존재하는 수직에지 선의 정보를 이용한다. 이는 아래의 수식(3)과 수식(4)를 만족했을 때, 차량 후보로 결정된다.

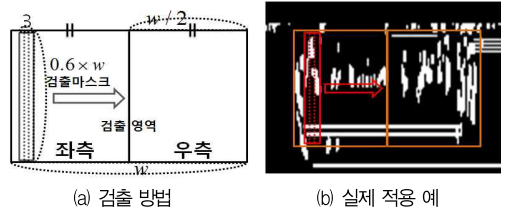


그림 8. 차량 폭 검출 기법.  
Fig. 8 A method of vehicle width detection.

수식(3)에서,  $VE_R$ 과  $VE_L$ 은 각 좌·우의 수직에지 선이며,  $BL$ 은 바닥선이다. \*는 맞닿음을 표현하는 정의된 기호이다.  $I$ 는 ‘교차’와 ‘비교차’의 값을 갖는다.  $V$ 는 ‘Suitable’적합 또는 ‘Noise’잡음의 값을 갖는다. 수식(4)의  $VEC_i$ 는 교차점 좌표 $i$ 에서 수직에지 성분의 강도를 나타내며,  $w$ 는 해당 차량 바닥선의 길이이며,  $l$ 는 사전 정의된 상수이다.  $\frac{w}{l}$ 는 사전 정의된 차량의 최소 수직에지 강도를 나타낸다.

$$I = \begin{cases} Crossing & ,if \ VE_R * BL \text{ and } VE_L * BL \dots\dots\dots (3) \\ Non Crossing & ,Otherwise \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} Suitable & ,if \ VEC_i \geq \frac{w}{l} \dots\dots\dots (4) \\ Noise & ,Otherwise \end{cases}$$

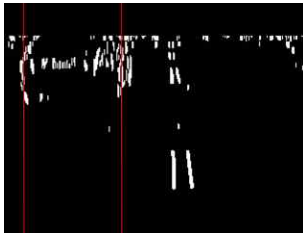
위의 수식(3)과 수식(4)에서  $I$ 와  $V$ 가 각각 Non Crossing (비교차), Noise(잡음)으로 분류된 차량 바닥선 후보는 비차량으로 결정되며, 차량 바닥선 에지의 확장 분석을 통해 차량 폭을 재검출한다.

2 바닥선 에지의 확장 분석 기반 차량 폭 검출

위의 1절에서 비차량으로 분류된 차량 바닥선은 잡음 등과 같은 요인에 의해 생성되어 차량 바닥선이 갖는 특징을 갖고 있는 경우도 있다. 하지만, 이러한 문제를 만드는 잡음 등과 같은 요인은 실제 차량 바닥선 후보 검출을 방해하기도 한다. 조명이나 잡음 등에 의해 실제 차량 바닥선보다 짧게 검출되면 실제 차량 폭을 검출할 때, 차량 폭이 갖는 수직에지 성분이 차량 바닥선 영역 내에 존재하지 않기 때문에 올바른 차량 폭을 검출할 수 없다. 여기서는 이러한 문제를 해결하고자 차량 바닥선 에지의 확장 분석을 통한 차량 폭 검출 방법을 보인다. 그림 9.은 잡음이나 조명 등으로 인해 차량 바닥선 에지가 제대로 검출되지 않은 경우를 보인다. 그림 9.에서 보이는 두 개의 빨간선은 각 영상들의 비교를 위한 것이다.



(a) 입력 영상



(b) 수직에지 영상



(c) 차량 바닥선 결과 영상

그림 9. 부정확한 차량 바닥선의 예.  
Fig. 9 An example of inaccurate vehicle bottom line.

그림 9.(a)는 원본 영상이며, 그림 9.(b)는 원본 영상에서 얻어진 수직에지 영상이다. 그림 9.(c)는 (a)에서 얻어진 최종 차량 바닥선 결과 영상으로 여기서 그림.9(c)에 표기된 1과 2의 차량 바닥선이 그림 9.(b)에 영상 전체에 투영된 빨간 선으로 비교하면 실제 차량 영역에서 일부 못 미치는 것을 볼 수 있다. 이렇게 바닥선 후보가 차량 영역 밖에 있을 때, 1절에서 제안한 방식으로는 차량 검출이 불가능하다. 그래서 본 논문에서는 확장 에지 분석을 통해서 이러한 문제점을 해결한다. 우선 수식(1)을 응용한 수식(5)에 따라 에지를 확장한다.

$$Extended\ Value = ex \times \left( \frac{h}{w} \times height + C \right) \dots\dots\dots (5)$$

이 수식은 사전에 측정된 차량의 영상 내 높이와 차량 폭의 관계를 이용한 수식과  $ex$  (확장계수)를 이용하여 차량 바닥선 수평에지를 확장할 길이를 나타낸다. 이때,  $ex$ 는  $(1 < ex \leq a)$ 의 값을 갖는다.  $a$ 는 사전 정의된 상수이다.

$\frac{h}{w}$ 와  $C$ 는 수식(1)과 동일하다.

여기서 얻어진 새로 확장할 에지길이(*Extended Value*)를 이용하여 차량 폭이 갖는 수직에지를 확장 검색한다. 우선 구해진 *Extended Value*를 기준에 구해진 차량 바닥선을 이용하여 수평에지를 확장하고 새로운 검색 영역을 2개 생성한다. 이때, *Extended Value*를 기존의 수평에지에 어떻게 적용하는 법은 그림 10.에서 보인다.

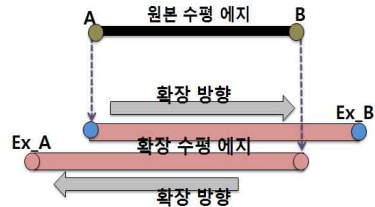


그림 10. 확장 에지 분석 기법  
Fig. 10 An method of extended edge analysis.

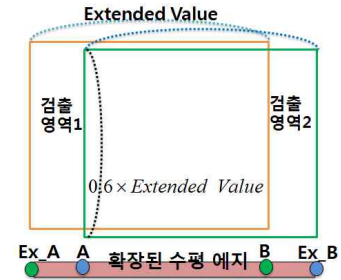


그림 11. 검출 영역 설정.  
Fig. 11 Detection region setting.

A, B는 기존의 차량 바닥선 수평 에지의 최 좌측과 최 우측으로, 수평 에지를 확장할 때 각각의 기준점으로 쓰인다. 수평 에지의 확장 및 검출 규칙은 다음과 같다.

1. A를 기준으로 B의 방향으로 *Extended Value*를 더해서 Ex\_B를 생성한다.
2. B를 기준으로 A의 방향으로 *Extended Value*를 더해서 Ex\_A를 생성한다.
3. 얻어진 두개의 수평에지는 ((A, Ex\_B), (B, Ex\_A))의 위치 정보를 갖는다.
4. 각각의 수평에지는 새로운 차량 폭 검출을 위한 수직에지 검출 영역1과 2로 정의된다. 그림 11.에서 새로 정의된 영역을 보인다.
5. 각각의 검출 영역에서 수직에지를 검출하는 방식은 1절에서 사용한 방법과 동일하며 두 쌍의 차량 폭 후보 좌

표가 나온다.

6. 두 쌍의 후보 좌표에서 수직 에지의 강도, 영상 내의 차량 높이 그리고 새로 선택된 수평 에지의 길이 정보를 비교하여 최종적으로 한 쌍의 차량 폭 좌표가 선택된다. 이것은 수식(1), 수식(6)을 통해 구해진다.
7. 최종적으로 수식(3)을 통해서 차량과 비차량으로 분류함으로써 최종적으로 차량 폭이 결정된다.

수평 에지를 확장할 때, 실제 얻어진 차량 바닥선과 실제 존재하는 차량의 위치가 많이 상이할 수 있기 때문에 수평에지 확장 및 검출 규칙 1과 2에서와 같이 차량 바닥선의 A와 B를 기준으로 삼고 수평에지를 확장함으로써, 실제 차량 영역이 포함될 수 있도록 하였다. 수평에지 확장 및 검출 규칙5에서 수직에지를 검출하는 방식은 1절과 동일한 방식으로 검출 영역1과 2에 각각 그림7.과 같이 적용한다. 수평에지 확장 및 검출 규칙6에서 수식(6)은 다음과 같으며, 이 수식을 이용하여 두 쌍의 차량 폭 좌표 중에 한 값을 실제 차량 좌표로 결정한다.

$$C = \begin{cases} (Ex\_A, B), & \text{if } VE(Ex\_A+B) > VE(A+Ex\_B) \\ (A, Ex\_B), & \text{if } VE(Ex\_A+B) < VE(A+Ex\_B) \dots\dots \\ Hold, & \text{if } VE(Ex\_A+B) = VE(A+Ex\_B) \end{cases} \dots\dots (6)$$

여기서  $VE(Ex\_A+B)$ 는  $Ex\_A$ 와  $B$  위치에 존재하는 수직에지의 총합이며, 1절에서 사용한 방법과 동일하다. 여기서  $(Ex\_A, B)$ 와  $(A, Ex\_B)$ 의 총 수직에지의 합이 같아서  $C$ 가  $Hold$ 로 분류되었다면, 수식(1)을 통해서 최종적으로 차량 폭의 좌표점을 선택한다. 이때, 수식(1)  $e$  값이 1에 가장 근접한 값을 최종 차량 폭 좌표로 결정한다. 최종 선정된 좌표는 수식(4)에 의해서 차량(Vehicle)과 비차량(Non Vehicle)으로 분류된다.

### IV. 차량 검출

#### 1 바닥선 에지를 사용한 차량 폭 검출

차량 바닥선 검출 단계에서 검출된 차량 바닥선은 실제 차량과 도로면의 경계면에서 언제나 검출되지는 않는다. 실제 검출 대상 차량의 색상이나 조명에 의한 그림자 그리고 잡음 등의 다양한 요인에 의해서 실제 차량의 바닥선이 아닌 차량의 뒤쪽 범퍼등과 같이 차량 내에 존재하는 다른 수평에지 성분이 차량으로 검출되기도 한다. 이러한 문제점은 실제 차량

시스템에 장착되어 동작할 때 전방 차량의 거리의 오차가 발생할 수 있기 때문에 위험한 상황에 빠질 수 있다. 그러므로 조명이나 잡음 등에 의해 잘못 검출될 수 있는 차량의 실제 높이를 확인 및 보정하여 이러한 문제점을 해결하고자 한다. 그림 12.은 2장에서 구해진 차량 바닥선을 이용하여 구해진 차량 폭과 바닥선 높이의 결과 영상이다. 표기된 한 쌍의 수직선의 하단은 차량의 높이, 수직선 간의 너비는 차량 폭을 나타낸다.



그림 12 부정확한 바닥선의 예  
Fig. 12 A example of misplaced vehicle bottom.

그림 12.의 좌측 열의 영상은 입력 영상이며, 우측 열의 영상은 각각에 대한 최종 차량 바닥선 수평 에지 영상이다. 좌·우 영상을 비교하면 얻어진 차량 바닥선 수평 에지의 높이가 실제 차량 바닥선에 맞지 않고 차량의 뒤쪽 범퍼에서 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 12.의 상단 영상의 부정확한 바닥선 검출은 차량의 색상과 그림자의 색상 간의 구분이 명확치 않아서 수평에지가 검출되지 않고 차량 뒤쪽 범퍼에 존재하는 흰색 수평에지가 차량 바닥선으로 검출된 경우이다. 하단 영상의 부정확한 바닥선 검출은 차량 색상과 조명에 의해 수평에지가 제대로 검출되지 않은 경우이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 3장에서는 구해진 실제 차량 폭의 정보, 수직에지 그리고 수식(1)을 이용하여 차량의 실제 높이를 보정한다. 만약에 차량 바닥선이 실제 보다 높게 얻어졌다면, 얻어진 차량 폭과 차량의 높이를 수식(1)에 대입했을 때,  $e$ 는  $[-Y, 0]$ 의 범위를 가질 것이다. 본 논문에서는 이 정보를 사용하여 차량 높이를 보정한다. 하지만 실제 높이 보정 시, 차량의 실제 높이는  $e$ 의 값이 0일 때 가장 이상적인 높이지만, 카메라는 차량에 설치되어 있어 차량의 움직임에 의해 비주거적으로 카메라와 도로 면과의 입사각이 바뀌기 때문에 또 다른 특정 정보를 이용하여 차량의 실제 높이를 보정한다. 정확

한 차량의 실제 높이를 보정하기 위해 또 다른 특징으로 수직 에지 영상을 이용한다. 수직에지는 차량의 윤곽선에서 두드러지며, 특히 차량의 좌우 외곽에서 선명하기 때문이다. 그림 13.은 그림 12.의 수직 에지 영상을 보여준다.

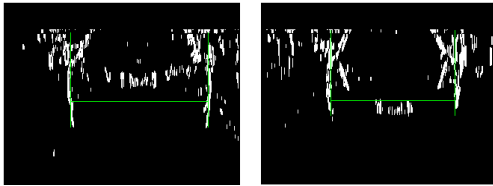


그림 13. 그림 11.의 수직에지 영상.  
Fig. 13. Vertical edge image of Fig.11.

그림 13.의 좌측 영상은 그림 12.의 상단의 수직에지 영상이며, 우측 영상은 그림 12.의 하단의 수직에지 영상이다. 여기서 각각의 영상에서 검출된 차량의 바닥선의 하단에 연결되는 수직에지가 존재하는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서는 이 정보와 수식(1)에서 나오는 결과 값을 유기적으로 이용하여 실제 차량의 높이를 보정한다. 차량의 높이 보정을 적용하는 조건은 다음과 같다.

1. 수식(1)의  $e$  값은 항상 0보다 작다.
2. 차량 바닥선의 좌우 하단 영역에는 상단과 연결되는 어느 한쪽이라도 수직에지가 항상 존재한다.

여기서 높이 보정 조건 2가 부합되는지 확인하기 위한 수직에지 검출 영역과 검출 마스크는 그림 14.에서 보인다. 그림 14.(a)는 수직에지를 검출하기 위해 적용되는 검출영역과 검출 마스크를 정의한다. 검출 영역은 1과 2인 두 개로 구성되며, 각 크기는 같다. 검출 영역의 폭은 차량 폭에 일정한 비율을 가지며, 검출하는 높이는 차량의 높이의 오차가 클수록 크다. 검출 마스크는  $1 \times n$ 의 크기를 가지며,  $n$ 은 수직에지 검출 영역과 같다. 검출 마스크 안에 수직에지 성분이 존재하면 연결된 수직에지가 존재하는 것으로 간주한다. 그림 14.(b)는 수직에지 검출법을 수직에지 영상에 적용한 것이다. 차량의 실제 높이를 보정하는 수식(7)은 다음과 같다.

$$H = \begin{cases} \text{Down}, & \text{if } e < 0 \text{ or } (VE1_m + VE2_m) \neq 0 \quad \dots (7) \\ \text{Exit} & \text{if } e \geq 0 \text{ or } (VE1_m + VE2_m) = 0 \end{cases}$$

여기서  $VE1_m$ 과  $VE2_m$ 는 각각  $m$ 행의 수직에지의 개수이며,  $e$ 는 수식(1)에서 구해진 에러율이다.  $H$ 가  $\text{Down}$ 을 만족하면 2장에서 구해진 차량 바닥선의 높이는 1씩 감소한다. 차량 높이의 보정은  $H$ 가  $\text{Exit}$ 를 만족할 때까지 반복한다.

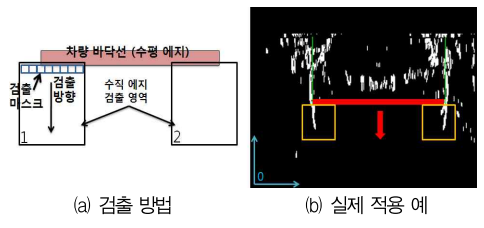


그림 14. 차량 바닥 높이 보정 기법.  
Fig. 14. A method of modified height of vehicle.

그림 15.은 차량의 실제 높이 보정한 후의 결과 영상이다.



그림 15. 차량 높이 보정 결과 영상.  
Fig. 15. The result images of modified height of vehicle.

그림 12.과 비교해서 차량의 바닥선 높이가 보정된 것을 확인할 수 있으며, 구해진 차량의 바닥선 높이가 실제와 유사한 것을 볼 수 있다. 여기서 구해진 차량 바닥선의 높이는 최종 차량 후보 영역으로 결정된다.

2 차량 검증

위에서 결정된 차량 후보들은 차량 검증 과정을 통해 최종적으로 차량으로 분류된다. 차량 검증은 구해진 차량에 존재하는 두 개의 수직에지 성분의 누적량을 각각 계산하여 비교하는 방식을 사용하였다. 이때, 4장에서 구해진 차량 후보들은 조명이나 잡음 등의 환경적 요인으로 인해 부정확한 에지 정보를 가질 수 있다. 특히 단순히 강도에 의해 구해진 수직에지는 부정확할 수 있다. 그래서 2장에서 구해진 차량 후보의 수직에지에 대해 대칭성을 검증한다. 수직에지 대칭성은 수식(4)의  $VEC$ 의 좌측 값과 우측 값을 이용한다.

$$M = \begin{cases} \text{Vehicle} & \text{if } |VEC_L / VEC_R| \leq \alpha \quad \dots (8) \\ \text{Non Vehicle, Otherwise} \end{cases}$$



$VEC_L$ 과  $VEC_R$ 는 각각 좌측과 우측의 수직에지 누적량이다. 그리고  $\alpha$ 는  $[0,1]$ 의 범위를 갖는다. 마지막으로 수식 (1)의  $e$  값을 이용하여 최종적으로 차량을 결정하였다.  $M$ 이 Vehicle이고  $e$  값  $[-\beta, \beta]$ 안의 값을 가질 때, 최종 차량으로 결정된다. 다음 그림 16.에서 제안하는 차량 기법의 검출 결과를 보인다. 다음 장에서는 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 기법의 성능의 우수성을 증명한다.

### IV. 실험

실험은 실제 차량에 장착 된 카메라로부터 얻어지는 전방 영상을 이용하였으며, 실험 영상의 구성은 비교적 단순한 도로 영상과 복잡한 도로 영상 그리고 어두운 조명 환경 등의 다양한 환경의 도로 영상으로 되어있다. 검출율의 계산은 총 2000여장의 영상에 대하여 실험한 결과이다. 이번 실험은 비교적 조명이나 도로 상태가 양호한 주간에 진행하였으며, MICRON사의 CMOS카메라인 MT9V125를 이용해 해상도  $320 \times 240$ 의 영상으로 변환한 후, Intel Core2 Quad 2.33GHz, 4GB RAM 성능의 컴퓨터와 실험하였다.

제안한 차량 검출 기법의 우수성을 입증하기 위해, 차량이 만들어내는 그림자 영역 기반 차량 검출 기법[11]과 BDF기반 차량 검출 기법[12]의 결과 비교를 통해 차량 검출율과 수행 시간을 비교하여 실험하였다. 비교 기법에서 그림자 영역 기반 차량 검출 기법은 직접 구현하였으며, BDF 기반 차량 검출 기법은 프로그램을 제공받았다. 그리고 비교 실험에 사용한 영상은 다음 그림 17.에서 상황별로 정리해 보인다. 상황 1(그림 17.(a))는 단순한 도로와 배경을 갖는 고속도로 영상으로 그림자나 도로면의 표식 등이 거의 존재하지 않는다. 상황 2(그림 17.(b))는 시내 도로 영상으로 고속도로 영상과 비교하여 도로면에 다수의 그림자가 존재하고 복잡한 배경을 갖는다. 상황 3(그림 17.(c))는 복잡한 시내 도로 영상으로 다수의 그림자가 존재하며, 여러 차량이 인접하여 존재하고 있다. 상황 4(그림 17.(d))는 교량 하부를 통과하는 도로 영상으로 영상이 전반적으로 어둡고 특정 부분만 매우 밝게 나타는 영상이다. 각 상황별로 평균 500장 이상의 영상들을 사용하였다.



그림 17. 상황 별 참고 영상.  
Fig. 17. Reference images based on road condition.

표 1. 각 차량 검출 기법에 대한 상황별 검출율  
Table 1. Detection rate about each vehicle detection method

실험 환경	영상 개수 (frame)	검출율(%)		
		그림자 기반	BDF 기반	확장 에지 분석 기반
상황 1	520	93.6	95.5	95.2
상황 2	570	85.5	89.3	91.6
상황 3	550	83.2	83.5	88.6
상황 4	450	21.2	69.3	78.0
평균	522	70.8	84.4	88.36

표 1은 각 상황에 대하여 그림자 영역 기반 차량 검출 기법과 BDF 기반 차량 검출 기법 그리고 본 논문에서 제안하는 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법에 대한 상황별 검출율을 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 기법의 실험은 사전 실험을 통해 설정 된 최적 파라미터 값을 사용하였으며, 각 값들은  $\psi=5, \gamma=0.7, \xi=0.5, \frac{w}{l}=5, ex=1.5, a=2, n=7, \beta=0.3$ 이다. 검출 대상은 전방에서 관심 영역 내에 존재하는 차량을 대상으로 하며, 검출 결과 표시는 빨간색 사각형으로 표시하였다. 차량 검출율의 계산은 S. Sivaraman[13]에서 사용하는 방식에 따라 계산되었으며, 다음 수식에 따른다.

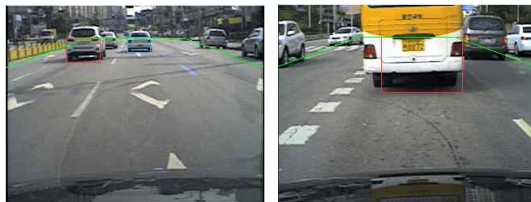
$$Rate = 1 - \frac{M-Region}{R-Region} \dots\dots\dots (9)$$

이때,  $M-Region$ 과  $R-Region$ 은 각각 측정된 차량

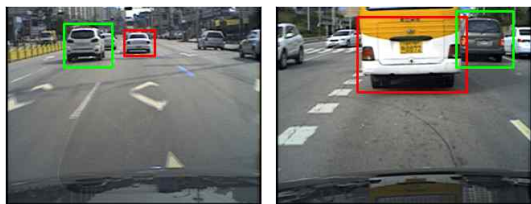
영역 안의 실제 차량의 픽셀 개수와 실제 차량의 총 픽셀 개수를 나타내며, *Rate*의 값이  $[-0.3, 0.3]$ 안에 존재할 때, 올바르게 검출된 것으로 간주 한다.



(a) 입력 영상



(b) 그림자 기반 차량 검출 영상



(c) BDF 기반 차량 검출 영상



(d) 확장 에지 분석 차량 검출 영상

그림 18. 두 개의 검출 기법 비교 결과 영상.  
Fig. 18. The result images of comparison of two detection method.

위의 표 1의 결과를 보면 비교적 단순한 환경의 상황 1에서는 세 기법 모두 90%이상의 높은 검출율을 보인다. 하지만 도로 환경이 점점 복잡해질수록 그림자 영역 기반 차량 검출 기법과 BDF 기반 차량 검출 기법의 검출율이 감소하는 것을 볼 수 있는데, 특히 그림자 영역 기반 차량 검출 기법의 검출율이 큰 폭으로 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법은 복잡한 환경에서도 강인하게 차량을 검출함을 확인할 수 있다. 그림자 기반 차량 검출 기법의 경우 영상 내에서 처음에 그림자

영역만을 이용해 차량 후보로 결정하기 때문에 잡음이 많이 존재하는 복잡한 영상에서 취약하다. 그리고 BDF 기반 차량 검출 기법은 사전에 학습된 차량 프로파일을 이용하기 때문에 조명의 변화나 배경의 복잡 정도에 영향을 많이 받는다. 그러나 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법에서는 능동적으로 수평에지분석과 그림자 영역을 동시에 고려하기 때문에 조명이나 환경적 요인 등의 잡음에 인한 오검출을 막을 수 있어 복잡한 도로 영상에서도 보다 높은 검출율을 보인다. 그리고 상황 4의 경우 비교 검출 기법들의 검출율이 20%와 69%대인 반면에 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법은 78%로 검출율이 보다 뛰어난 것을 볼 수 있다. 이는 그림자 기반의 차량 검출 기법은 상대적으로 어두운 영역을 찾기 때문에 어두운 영상에서 차량이 갖는 그림자 영역의 정확한 검출이 힘들다. 그리고 BDF 기반 차량 검출 기법은 학습할 때, 다양한 조명의 변화를 고려할 수 없기 때문에 검출율이 떨어진다. 반면에 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법은 비교적 높은 검출율을 얻을 수 있었다. 그림 18은 그림자 기반 차량 검출 기법과 본 논문에서 제안하는 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법의 결과를 나타낸다. 그림 18.(a)는 입력 영상으로 좌측의 영상은 비교적 단순한 시내 도로 영상이며, 우측의 영상은 비교적 근거리에서 대형 차량이 존재하는 경우를 보인다. 그림 18.(b)는 그림자 기반 차량 검출 기법의 결과 영상으로 비교적 단순한 도로 영상에서는 정확하게 검출되었다. 하지만 대형 차량이 근접해있는 경우, 일반 차량에 비해 차량과 도로 면과의 거리가 꽤 크기 때문에 부정확한 검출 결과를 보인다. 전방 차량의 거리는 측정할 수 있으나, 정확한 차량 폭은 정확한 측정이 불가능하다. 그림 18.(c)는 BDF 기반 차량 검출 기법의 결과 영상으로 두 가지 경우의 영상에서 비교적 실제 위치와 높이에 근사하게 검출이 되었다. 그림 18.(d)는 확장 에지 분석 기반 차량 검출 기법으로 두 가지 경우의 영상에 모두 실제 위치와 크기에 매우 근사하게 검출되었으며, 차량의 실제 거리와 차량 폭의 측정이 가능하다. 그림 19은 조명이나 그림자 영향이 강하게 존재하는 영상에서의 비교 실험 결과이다. 그림 19.(a)의 좌측 영상은 조명이 도로 면에 강하게 존재하여 그림자가 강하게 존재하는 경우이며, 우측 영상의 경우 교량 밑을 지나는 경우로 도로 면 전체가 어둡게 보이는 경우이다. 그림 19.(b)는 그림자 기반 차량 검출 기법으로 조명에 의해 그림자가 실제 차량 영역에서 어긋나 있어 검출 영역이 실제 차량 영역과 다르게 검출하고 있다. 그리고 교량 밑을 지나는 경우, 도로 면 전체가 어두운 색상을 가지고 있기 때문에 영상 내에서 올바른 차량 후보를 검출하지 못해 미검출되었다. 그림 19.(c)는 BDF 기반 차량 검출 기법

의 결과 영상으로 두 가지 경우의 영상에서 비교적 실제 위치에 근사하게 검출되었으나 실제 크기보다 더 크게 검출되었다. 그림 19.(d)는 확장 에지 분석 차량 검출 기법으로 두 개의 영상에서 모두 실제 위치와 크기에 근사하게 잘 검출되었다. 그리고, 교량 밑을 지나는 경우, 차량의 바닥 영역에서 어떠한 정보도 얻을 수 없기 때문에 세 가지 기법 모두에서 정확한 차량의 위치 및 거리를 측정하기 쉬지 않다.

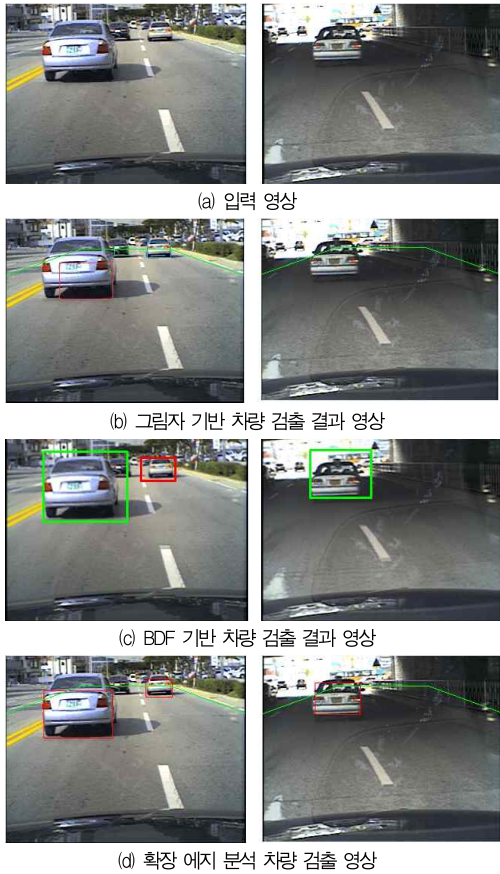


그림 19. 두 개의 검출 기법 비교 결과 영상  
Fig. 19. The result images of comparison of two detection method.

다음의 표 2에서 그림자 기반 차량 검출 기법과 BDF 기반 차량 검출 기법 그리고 확장 에지 차량 검출 기법의 수행 시간을 비교하여 나타내었다. 각각의 평균 수행 시간은 0.037과 0.026 그리고 0.017로 확장 에지 분석 차량 검출 기법이 약 2배 정도 속도가 더 빠르며, 초당 약 50장의 영상을 처리할 수 있어 실시간으로 이용하기에 충분한 처리 속도를 보였다.

표 2. 각 차량 검출 기법에 대한 상황별 평균 수행 시간  
Table 2. Average processing time about each vehicle detection method.

실험 환경	평균 수행 시간(s)		
	그림자 기반	BDF 기반	확장 에지 분석 기반
상황 1	0.021	0.025	0.012
상황 2	0.025	0.028	0.014
상황 3	0.045	0.031	0.015
상황 4	0.055	0.020	0.014
평균	0.037	0.026	0.017



그림 20. 실험 결과 영상  
Fig. 20. The result images of experiment.

## V. 결론

본 논문에서는 에지 정보와 그림자 성분을 이용하여 차량을 검출하는 기법을 제안하였다. 차량 검출의 실시간 처리를 위해서 검출에 앞서 도로 영역을 사전 정의를 통해 불필요한 배경 영역을 제거하여 오검출 및 연산량을 줄였다. 도로 영상에서 차량 바닥선을 획득하기 위해서 수평에지 및 그림자 영역을 사용하였고, 조명이나 잡음 등에 의한 영향을 극복하기 위해서 확장 에지 분석법을 이용하여 복잡한 도로 영상에서도 효율적으로 검출이 가능했다. 그리고 교량이나 터널 같은 전반적으로 어두운 영상에서 취약점을 드러내는 그림자 기반의 차량 검출 기법의 단점을 수평에지 정보를 사용하여 극복하였다. 하지만 조명이 정면에 위치하여 전방 차량의 그림자가 뒤로 길게 생성되면 수평에지를 구할 수 없어 차량 검출에 문제점이 있었다. 차량이 갖는 양쪽 외곽의 수직에지 성분을 갖는

장애물의 경우 차량의 조건에 부합되어 오검출이 되는 경우가 가끔 발생하였다. 앞으로의 연구에서는 본 논문에서 제안한 확장 에지 분석 기반의 차량 검출법을 통해 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 노력을 계속할 것이다. 또한 차량의 가장 큰 특징 색상 정보를 추가적으로 이용하여 보다 효율적이고 정확한 차량 검출 기법을 계속 연구할 것이다.

## 참고문헌

- [1] S. Park, T. Kim, S. Kang, and K. Heon, "A Novel Signal Processing Technique for Vehicle Detection Radar," 2003 IEEE MIT-S International Microwave Symp. Digest, Vol. 1, pp. 607-610, June 2003.
- [2] G. Alessandri, A. Broggi and P. Cerri, "Vehicle and Guard Rail Detection Using Radar and Vision Data Fusion," IEEE Intelligent Transportation Systems, Vol.8, pp. 95-105, March 2007.
- [3] H. Lim, "Lane departure identification on Highway with searching the region of interest on Hough Space," International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 1088-1091, 2007.
- [4] M. Tian, "Vision Based Lane detection for Active Security in Intelligent Vehicle," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, pp.507-511, December 2006.
- [5] A. Broggi, "The Single Frame Stereo Vision System for Reliable Obstacle Detection Used during the 2005 DARPA Grand Challenge on TerraMax," IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp.745-752, September 2006.
- [6] A. Benshair, M. Bertozzi, A. Broggi, A. Fascioli, S. Mousset and G. Toullminet, "Stereo vision-based feature extraction for vehicle detection," in Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2002, Paris, France, vol. 4, pp. 465-470, June 2002.
- [7] A. Benshair, "A Cooperative Approach to Vision-based Vehicle Detection," IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, pp. 209-214, August 2001.
- [8] 송광열, 이기용, 이준웅, 윤팔주, "에지분석과 에이다부스트 알고리즘을 이용한 차량검출," 한국자동차공학회 심포지엄, 27-34쪽, 대한민국, 2007년. 8월.
- [9] Zehang Sun, George Bebis, and Ronald Miller, "On-Road Vehicle Detection Using Evolutionary Gabor Filter Optimization," IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 6, NO. 2, pp.125-137, JUNE 2005.
- [10] R. Miller, Z. Sun, G. Bebis, "On Road Vehicle Detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, pp. 694-711, May 2004.
- [11] 한성지, 정환익, 한영준, 한헌수, "Real-Time Vehicle Detection Algorithm using Shadow and Edge Feature," 제어로봇시스템학회 학술대회, 339~341 쪽, 2010년 5월.
- [12] 유재형, 한영준, 한헌수, "차선과 도로영역 정보를 이용한 전방 차량 영역의 추출 기법," 한국지능시스템학회 논문지, 제 18권, 제 6호, 797-807쪽, 2008년 12월.
- [13] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, "A General Active Learning Framework for On-road Vehicle Recognition and Tracking," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010.
- [14] 이대호, 박영태 "단일 프레임에서 차량 검출을 위한 그림자 분류 기법," 정보과학회 논문지, 제 34권, 제 11호, 991-1000쪽, 2007년 11월.

## 저 자 소개



### 지 영 석

2006: 단국대 산업공학과 학사

2008: 숭실대 대학원 전자공학과

석사과정

관심분야: 영상처리, 임베디드 시스템



### 한 영 준

1996: 숭실대 전자공학과 학사

1998: 숭실대 전자공학과 석사

2003: 숭실대 전자공학과 박사

2009 ~ 현재: 숭실대 정보통신전자

공학부 부교수

관심분야: 로봇 비전, 영상처리,

비주얼서보잉



### 한 현 수

1991: University of Southern

California (공학박사)

1992 ~ 현재: 숭실대 정보통신전자

공학부 교수

1994: 일본기계기술 연구소 객원연구원

1998: 숭실대학교 어학원장

1999: 숭실대학교 정보통신전자공학

부학부장

관심분야: 자동화 시스템, 자료융합,

물체인식