

컴퓨터비전 기반의 야간 후방 차량 탐지 방법

A Computer Vision-based Method for Detecting Rear Vehicles at Night

노 광 현*, 문 순 환**, 한 민 홍***

Kwang-Hyun Rho*, Soon-Hwan Moon**, Min-Hong Han***

요 약

본 논문은 전조등의 특징을 이용하여 야간에 측후방에서 다가오는 차량을 탐지하는 방법을 설명한다. 야간 차량의 전조등은 검은색 배경의 야간 도로 영상에서 측후방 차량을 탐지하기 위한 좋은 특징이다. 입력 영상은 임계값 처리기 법에 의해 검은색 배경과 흰색 영역으로 이루어지는 이진 영상으로 변환되고, 모폴로지 연산 중 열림 연산을 이용하여 잡음을 제거한다. 분할된 흰색 영역들에 대해 기하학적 특징과 모멘트 특징을 이용하여 전조등의 특징량을 측정하고, 의사 결정 트리에 의해 전조등 후보로 적당한 대상체들을 분류한다. 대상체들간의 위상학적 관계를 분석하여 한 쌍의 전조등을 탐지함으로써 측후방 차량을 탐지한다. 실험 결과 전조등 특징을 이용한 야간 측후방 차량 탐지 방법이 효과 적임을 알 수 있었다. 제안한 방법은 야간 측후방 추돌경보시스템에 적용될 수 있으며, 향후에는 스테레오비전시스템을 사용하여 전조등 탐지 기반의 측후방 차량 거리 및 위치 측정에 관한 연구를 수행할 것이다.

Abstract

This paper describes the method for detecting vehicles in the rear and rear-side at night by using headlight features. A headlight is the outstanding feature that can be used to discriminate a vehicle from a dark background. In the segmentation process, a night image is transformed to a binary image that consists of black background and white regions by gray-level thresholding, and noise in the binary image is eliminated by a morphological operation. In the feature extraction process, the geometric features and moment invariant features of a headlight are defined, and they are measured in each segmented region. Regions that are not appropriate to a headlight are filtered by using geometric feature measurement. In region classification, a pair of headlights is detected by using relational features based on the symmetry of a pair of headlights. Experimental results show that this method is very applicable to an approaching vehicle detection system at nighttime.

Key words : Rear and rear-side vehicle, Headlight feature, Morphological operation, Moment invariant feature

I. 서 론

차량의 안전성을 증진시키기 위한 연구 중 차량 주변 장애물을 인지하여 추돌 및 충돌 사고를 사전에 대처하

기 위한 방법에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 주행 중인 차량에게 사고의 위험이 될 수 있는 장애물이나 이동체는 다양하지만 대부분이 주변 차량들이다. 이러한 이유로 전방, 후방, 측방에 위치하는 주변 차량의 탐지에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.

*한국전자통신연구원 이동통신연구단 **주성대학 산업시스템경영과

***고려대학교 산업시스템정보공학과

접수 일자 : 2004. 4. 03 수정 완료 : 2004. 7. 10

논문 번호 : 2004-1-12

주변 차량 탐지는 주간과 야간에 관계없이 가능해야 하는데 기존의 연구들은 주로 주간에 전방차량을 탐지하는 것이 주목적이었다. 야간에는 차량의 윤곽을 비롯한 대부분의 특징들을 추출하기 어렵기 때문에 주간 차량

탐지 방법들은 야간에 적용되기 어렵다. 따라서, 야간에 주변 차량을 탐지하기 위한 방법에 관한 연구가 필요하다. 탐지하여야 할 주변 차량은 그림 1과 같이 크게 전방 차량, 후방 차량, 측방 차량으로 분류되고, 본 논문에서는 탐지 대상을 야간시 측후방 차량으로 국한한다.

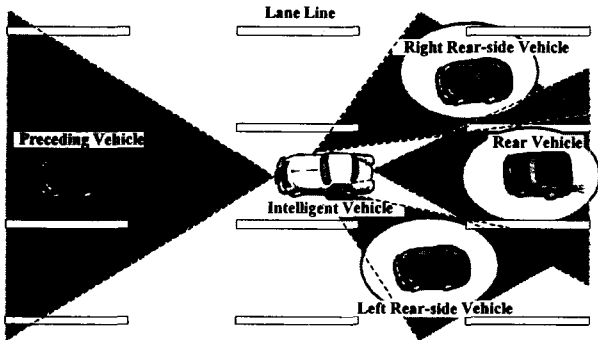


그림 1. 도로상의 주변 차량
Fig. 1. Surrounding vehicles on the road

군집 주행과 같은 응용을 위하여 차량에 특수한 표식 장치를 장착하는 방법 외에 야간에 차량을 탐지하는 방법은 적외선 카메라에서 획득한 야간 열영상을 분석하는 방법과 일반 CCD 카메라에서 획득한 야간 영상을 분석하는 방법으로 나뉜다. 적외선 카메라를 이용하는 방법은 차량 이외에도 사람과 동물 등을 탐지하는데 사용할 수 있다. 일부 자동차 메이커에서는 운전자의 야간 시계(night vision)를 향상시키기 위한 적외선 카메라를 차량에 장착하여 전방 열영상을 HUD(Headup Display)를 이용해 운전자가 전방 장애물을 인식할 수 있도록 전방 열영상을 보여주는 장치를 실제 적용하고 있다. 하지만, 적외선 카메라로 획득한 열영상에서 차량의 국소적인 특징을 추출하기는 어렵고, 전체적인 윤곽이나 형태를 추출할 수 있는데 노이즈가 많이 발생하기 때문에 정확한 차량 탐지 및 거리 측정이 쉽지 않다. 또한, 가격이 고가이기 때문에 대중화되기 위해서는 시간이 필요하다.

일반 카메라를 사용한 야간 주변 차량 탐지에 관한 연구가 몇 가지 있었지만 활발히 연구되지 않는 상황이며, 1) 특히, 측후방 차량 탐지에 관한 연구는 소수이다. 야간에 측후방 차량을 탐지하기 위한 연구에는 전조등의 광류 흐름(optical flow)을 이용한 방법이 있다. 2) 야간 주행시 안전 주행을 위해서는 전방의 모든 장애물이 탐지되어야 한다. 따라서, 이 경우에는 적외선 카메라의 열영상 분석을 통한 장애물 탐지가 필수적이다. 하지만, 측후방 장애물의 경우 차량이외에는 안전 주행에 문제가 되는 장애물이 거의 없다. 따라서, 이 경우에는 일반 카메라를 이용하여 차량을 탐지하는 것이 효과적일 것이다.

본 연구에서는 야간 도로 주행 중 측방과 후방에서 다가오는 차량을 탐지하는 방법에 대해 설명한다. 차량을 탐지하기 위한 특징으로 한 쌍의 전조등을 이용하였다. 일반적으로 차량은 야간에 전조등을 켜고 주행하며, 전조

등은 야간에 가장 쉽게 측후방 차량을 탐지할 수 있는 특징이다.

본 논문의 구성은 2절에서 야간 측후방 차량의 전조등 밝기 특징, 기하학적 특징, 공간적 특징, 상관적 특징에 대해 설명하고, 3절에서는 전조등의 탐지 절차를 설명한다. 4절에서는 전조등 탐지의 실험 결과를 설명하고, 5절은 결론 및 향후 연구 방향이다.

II. 야간 전조등 특징

야간에 차량 후방과 측방에 장착된 흑백 카메라로 획득한 도로 영상을 살펴보면 차량 전조등, 가로등, 간판등과 같이 밝은 불빛을 방출하는 대상들 이외의 배경은 어둡게 나타난다. 따라서, 야간 주행시 대부분의 운전자들은 전조등 불빛을 이용하여 측후방 차량을 인식한다.

본 연구에서도 야간 측후방 도로 영상에서 차량을 탐지하는데 전조등을 탐지하는 방법을 사용하였다. CCD 카메라에서 획득된 영상에서 전조등 불빛은 운전자가 측후방 차량을 탐지하는데 사용되는 특징이기 때문에 인간의 시각 탐지 기능과 컴퓨터 비전으로 구현하고자 하는 기능이 일치한다는 측면에서 효과적인 특징이다.

전조등을 탐지하기 위하여 전조등의 밝기 특징, 기하학적 특징, 공간적 특징, 상관적 특징을 사용하고, 각 특징들의 특징량을 수치화하여 전조등 탐지에 사용한다. 밝기 특징은 야간 도로 영상에서 전조등 후보 영역을 분할하는데 사용되고, 기하학적 특징은 전조등을 탐지하는데 사용된다. 공간적 특징은 전조등 탐지를 위한 영상 처리 영역을 줄이기 위해 사용하고, 상관적 특징은 한 쌍의 전조등을 탐지하기 위해 사용된다.

1. 밝기 특징

야간 측후방 도로 입력 영상은 256단계의 농도값을 갖는 흑백 영상인데, 전조등 영역 화소들의 농도값(gray-level)은 흰색(255)에 가까우며 균일하게 나타나기 때문에 배경이 검은색인 야간 도로 영상에서 전조등 후보 영역을 쉽게 분할할 수 있다.

그림 2의 왼쪽 두 영상은 야간 측후방 도로 영상 중 차량이 근거리에서 위치한 경우로서 전조등이 상당히 밝은 영상을 보이고 있다. 이 영상들의 화소 농도값 분포를 히스토그램으로 살펴보면 그림 2의 오른쪽과 같이 나타난다. 대부분의 화소들은 검은색 배경에 해당하고 전조등을 포함한 불빛에 해당하는 일부 영역들만 흰색으로 나타남을 알 수 있다. 따라서, 임계값 처리로 배경과 전조등 후보영역을 쉽게 구분할 수 있고, 230~240 사이의 값에서 구분이 발생함을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2의 측후방 도로 영상을 임계값 230으로 이진화한 결과이다. 명확한 전조등 형태가 구분되지는 않지만 256 레벨의 농도값을 갖는 야간 도로 배경으로부터 전조등 후보 영역을 분할할 수 있는 이진 영상을

쉽게 얻을 수 있음을 알 수 있다.

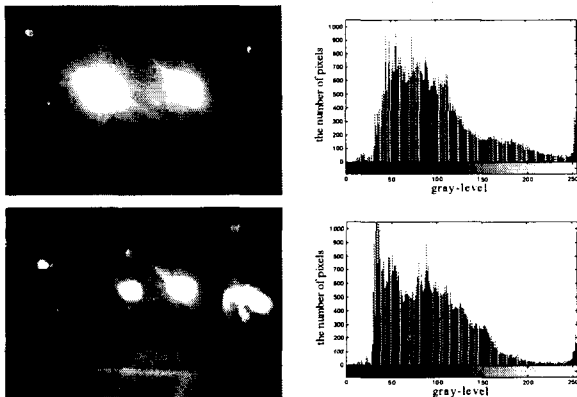


그림 2. 야간 측후방 도로 영상과 화소 농도값 분포
Fig. 2. Rear road images and gray-level histogram



(a) 후방 도로 이진 영상 (b) 측방 도로 이진 영상

그림 3. 이진화 영상 (임계값=230)
Fig. 3. Binary images (threshold=230)

2. 기하학적 특징

그림 4는 일부 차종의 야간 전조등 형태를 나타낸다. 이러한 전조등의 형태는 차량이 근거리에서 위치하면 차종별 차이가 발생하지만, 차량이 멀어질수록 차종별 차이를 구분하기 어렵다. 따라서, 전조등을 탐지하기 위해서 전조등 형태별로 정확하게 분류하는 방법은 적절하지 않다.



그림 4. 다양한 전조등 형태
Fig. 4. Various shapes of a headlight

차량의 거리에 무관하게 나타나는 전조등의 특징은 볼록한 다면체이며, 장축이 수평축이거나 원형태에 가깝다. 대부분의 전조등 형태가 폭이 높이보다 긴 직사각형 혹은 타원 형태라는 것이다. 이러한 특징을 전조등의 기하학적 특징량으로 수치화하여 전조등 탐지시 활용한다.

3. 공간적 특징

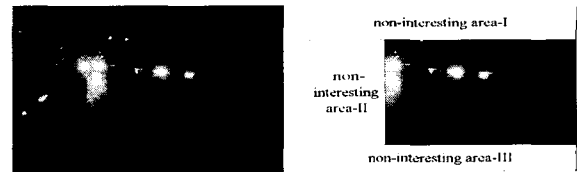
차량에 장착된 카메라가 고정되면 한 쌍의 전조등은

측후방 도로 영상에서 일부 영역에만 존재한다. 도로 왼쪽 영역에 해당하는 영상 위쪽 영역과 차량의 앞쪽 영역에 해당하는 영상의 아래쪽 영역에는 전조등이 존재할 수 없다.

따라서, 이러한 특징을 전조등의 공간적 특징(spatial attribute)으로 정의하고, 전조등이 존재하지 않는 영역에 대해서는 전조등을 탐지하기 위한 모든 영상 처리 과정에서 제외하여 처리 시간을 절약하도록 한다. 그림 5에 전조등의 공간적 특징을 나타내고 있다. 이 특징을 이용하여 전조등으로 간주할 수 없는 도로 주변의 가로등과 기타 광원을 제거하여 전조등 탐지 시간을 단축한다.

4. 상관적 특징

차량마다 존재하는 전조등은 한 쌍으로 존재하는데 이들은 상관적 특징(relational attribute)을 가지고 있으며, 이 특징은 한 쌍의 전조등을 탐지하는데 사용된다. 전조등은 차량마다 한 쌍으로 존재하고 도로면에 대해 수평으로 위치하며 차량 전방의 중앙에 대해 대칭으로 나타난다. 또한, 실세계 좌표계상에서 전조등의 위치는 도로면으로부터 일정 높이의 구간에 존재한다.



(a) 입력 영상 (b) non-interesting area
그림 5. 전조등의 공간적 특징

Fig. 5. Geometric feature of a headlight

첫 번째 특징은 한 쌍의 전조등의 수평성이다. 그림 6에서 좌측 전조등 중심점 A와 우측 전조등의 중심점 B를 연결한 선분의 기울기는 수평에 가까워야 한다. 즉, 영상 좌표계에서는 X축과 이 선분간의 기울기가 0도에 가깝게 나타나야 한다는 것이다. 이 특징은 카메라를 장착한 차량과 측후방에서 다가오는 차량이 동일한 경사의 도로를 주행하고 있다는 가정하에서 적용될 수 있다. 하지만, 실제 도로 상황에서는 도로의 굴곡 등에 의하여 약간의 기울기 차이가 발생할 수 있으므로 알고리즘 구현 시에는 작은 기울기 임계값을 설정하여 적용할 수 있다.

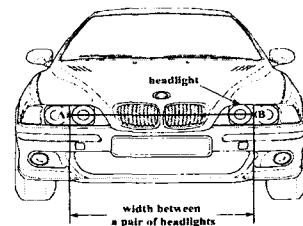


그림 6. 전조등의 상관적 특징
Fig. 6. Relational feature of a headlight

두 번째 특징은 두 전조등간 거리의 제한성이다. 두 개

의 전조등 중심점간의 실제 거리는 차종에 따라 다르지만, 일정 범위에 제한될 수 있다. 차종을 크게 승용차와 버스로 구분할 수 있는데 이들의 전조등간 거리는 차량마다 약간의 차이가 존재한다.

세 번째 특징은 두 전조등 형태의 유사성이다. 이 특징은 후방 차량 탐지에는 적용 가능하지만 측방 차량 탐지에는 적용하기 어렵다.

III. 야간 측후방 차량 탐지 절차

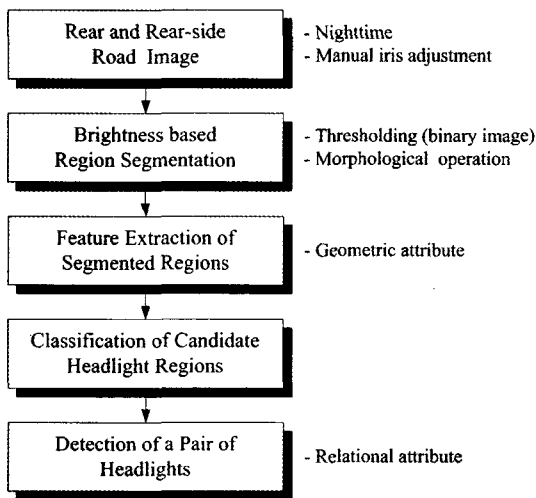


그림 7. 야간 측후방 차량 탐지 절차
Fig. 7. Rear vehicle detection process

모든 차량이 지니고 있는 고유 특징인 한 쌍의 전조등을 이용하여 야간에 지능형 차량의 측후방에서 다가오는 주변 차량을 탐지하는 절차는 그림 7과 같다. 탐지 절차를 간단히 설명하면 다음과 같다.

흑백 카메라에서 출력되는 아날로그 흑백 영상을 영상처리보드에서 입력 받아 디지털 흑백 영상으로 변환한다. 야간시 측후방 차량의 전조등은 강한 불빛으로 인한 번짐 현상(spatial blurring)으로 전조등의 원래 형태보다 크게 나타나기 때문에 이 문제를 해결하기 위해 조리개 조절이 가능한 흑백 카메라를 사용하였다. 조리개 조절을 통해 전조등 영역의 번짐 현상을 제거할 수 있다. 입력 영상은 전조등의 밝기 특징을 이용하여 임계값 처리(thresholding)로 전조등 후보 영역과 배경으로 이루어지는 이진 영상(binary image)으로 변환되고, 모폴로지 연산(morphological operation)인 열림 연산(opening operation)을 사용하여 전조등으로 간주할 수 없는 잡음 영역들을 제거하고 후보 영역들의 외곽선을 부드럽게 한다. 모든 영상 처리는 전조등의 공간적 특징(spatial attribute)을 이용하여 전조등이 존재할 수 있는 영역에 대해서만 수행된다.

분할된 영역들에 대해 전조등을 탐지하는데 필요한 특징을 정의하고, 분할된 전조등 후보 영역들의 특징량을

측정한다. 기하학적 특징(geometric attribute)을 이용한 특징에 대해 분할된 전조등 후보 영역들의 특징량(measurement)을 측정하고, 전조등으로 적당하지 않은 영역들은 제거한다. 전조등 후보 영역들의 상관적 관계(relational attribute)를 분석하여 한 쌍의 전조등을 탐지한다.

1. 야간 도로 영상 전처리

CCD 카메라에서 획득한 야간 측후방 도로 영상과 운전자의 눈으로 본 도로 영상에는 차이가 존재한다. 운전자의 눈으로 본 측후방 차량의 전조등은 그 형태를 명확하게 구분할 수 있다. 하지만, 일반 CCD 카메라로 획득된 도로 영상을 보면 그림 8과 같이 전조등 불빛의 산란과 이로 인해 영상 전체가 희미해지는 블리링 현상이 발생하기 때문에 전조등의 원래 형태를 구분하기 어렵다.

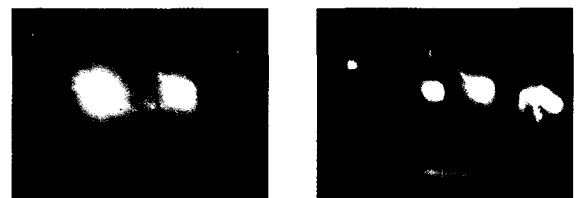


(a) 후방 차량 전조등 (b) 측방 차량 전조등

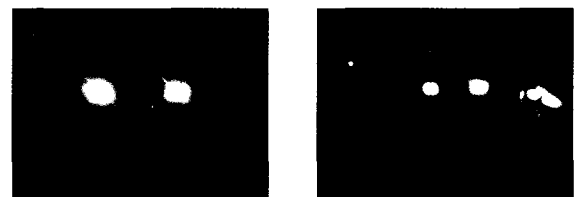
그림 8. CCD 카메라로 획득한 야간 측후방 차량 영상
Fig. 8. Rear vehicle images captured by a CCD camera

그림 8(a)와 같이 전조등은 원래 형태보다 크게 나타나며 이로 인해 서로 다른 차량의 전조등과 겹치는 현상이 발생하기 때문에 이러한 야간 영상에서 측후방 차량의 전조등을 정확하게 탐지하기 어렵다. 따라서, 성공적으로 전조등을 탐지하기 위해서는 명확한 형태의 전조등이 포함된 야간 영상을 얻는 것이 중요하다.

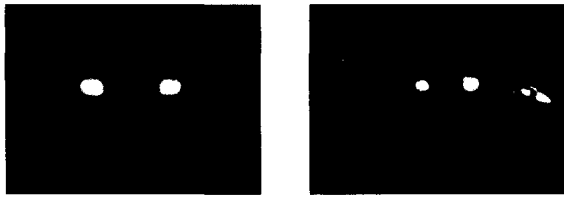
이것은 영상 처리보다 카메라 조절을 통해서 해결할 수 있는데 본 연구에서는 카메라의 조리개를 조절하는



조리개 개방 정도-1 (최대)



조리개 개방 정도-2



조리개 개방 정도-3



조리개 개방 정도-4 (최소)

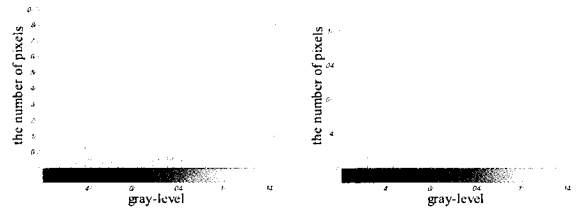
그림 9. 조리개 개방 정도 조절에 따른 야간 측후방 차량 전조등 영상

Fig. 9. Rear and rear-side vehicle images obtained by a B&W camera with different status of iris

방법으로 해결하였다. 조리개는 렌즈를 통해 들어오는 빛을 처음으로 제어하는 곳으로 CCD셀에 도달하는 빛을 통과시키는 구멍의 크기를 제어한다. 카메라의 조리개 조절은 수동 조절 방식과 자동 조절(auto iris) 방식이 있는데, 자동 조절 방식은 렌즈 안으로 들어오는 빛 전체를 감지해 평균적으로 환산하여 조리개 개방 정도를 조절하기 때문에 어두운 부분이 많거나 지나치게 밝은 부분이 많으면 원하는 부분에 노출을 맞추기가 어렵다. 이러한 경우에는 수동으로 조리개를 조절하는 것이 효과적이다. 야간 전조등 영상의 경우가 이에 해당하므로 본 연구에서는 적절한 전조등 형태를 얻기 위해 조리개의 개방 정도를 순차적으로 줄여가며 실험할 수 있는 수동 조절 조리개를 사용하였다.

그림 9는 동일한 카메라에서 동일한 차량에 대해 조리개의 개방 정도를 조절하면서 얻은 영상이다. 조리개를 완전히 개방한 상태와 일부만 개방한 상태에서 획득한 영상의 전조등 영역을 살펴보면 조리개를 개방 상태를 줄일수록 밝은 대상들 이외의 주변 사물들은 점점 어두워지고, 전조등의 형태는 원래 형태에 가깝게 나타남을 알 수 있다.

그림 10은 그림 9에서 조리개를 최대로 개방한 상태에서 획득한 영상의 히스토그램과 조리개를 최소로 개방한 상태에서 획득한 영상의 히스토그램을 나타낸다. 조리개를 최소로 개방한 상태에서 획득한 도로 영상의 히스토그램이 검은색 배경과 밝은 대상을 명확하게 구분 지을 수 있고, 영상 이진화를 위한 임계값을 쉽게 결정할 수 있다.



(a) 조리개 최대 개방 (b) 조리개 최소 개방

그림 10. 조리개 개방 정도에 화소 농도값 그래프
Fig. 10. Gray-level histograms with maximum and minimum iris openness

2. 야간 도로 영상의 영역 분할

영역 분할(region segmentation)은 야간 측후방 도로 영상에서 전조등 후보 영역을 추출하기 위한 첫 번째 과정으로 입력 영상의 이진화, 잡음 제거, 경계선 추출의 3 단계로 이루어진다.

카메라의 설치 위치와 시계각도(field of view)에 따라 전조등을 탐색하여야 할 영상의 영역이 변하기 때문에 전체 영역이 아닌 측후방 차량의 전조등의 공간적 특징(spatial attribute), 즉 영상내에서 전조등이 존재할 수 있는 영역을 설정하고 모든 영상 처리는 이 영역에서만 수행한다.

2.1 임계값 처리

임계값 처리(thresholding)로 입력 영상을 이진화한다. 전조등의 화소 농도값(gray-level)은 흰색(255)에 가깝기 때문에 임계값 결정이 용이하다. 조리개 개방 정도를 조절한 후에도 전조등 주위에서 약간의 블러링 현상이 나타나는데 이 영역의 화소값들은 흰색에 가까운 농도값을 갖지만 전조등 영역의 화소값보다는 작은 농도값을 갖기 때문에 이 경계에 해당하는 농도값을 임계값으로 정하면 된다. 이 값은 대략 220~230 사이의 값으로 설정하면 된다.

야간 도로 영상은 식 (1)에 의해 검은색 배경과 광원이 존재하는 영역으로 이루어지는 이진 영상으로 변환된다. $f(x, y)$, $g(x, y)$ 는 각각 임계값 처리전, 처리후의 화상 (x, y) 의 장소에 있는 화소의 농도값을 나타내고, T 는 임계값을 나타낸다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

그림 11(c)는 야간 측후방 도로 영상인 그림 11(a)를 이진화한 결과이다.

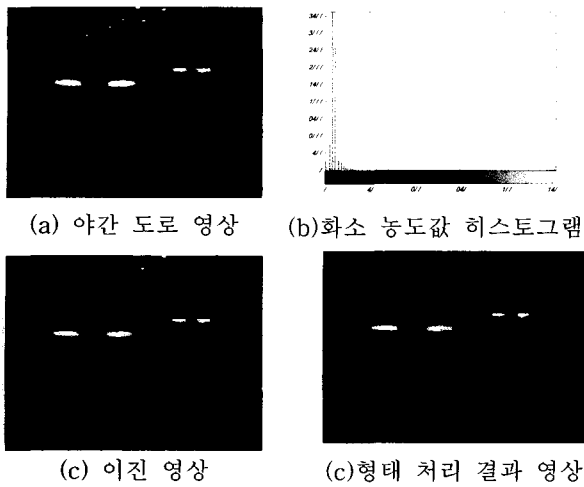


그림 11. 야간 후방 영상 영역 분할 과정
Fig. 11. Images segmentation process

2.2 형태 처리에 의한 잡음 제거

임계값 처리에 의해 변환된 이진 영상을 살펴보면 고려할 점이 두 가지가 존재한다. 첫번째는 그림 11(a)에 나타나는 것과 같이 근거리 전조등으로 고려하기에 적합하지 않은 작은 영역이 이진 영상에 다수 존재한다는 점이다. 멀리 위치하는 측후방 차량의 전조등이나 가로등 영역은 크기가 작기 때문에 근거리 차량의 전조등 탐지 시 고려하지 않아도 된다. 따라서, 이러한 영역들을 잡음으로 간주하여 제거해도 된다. 두 번째로 고려할 점은 전조등 후보 영역들의 윤곽이 실제 전조등의 윤곽과는 다르게 완만하지 않다는 점이다. 전조등의 윤곽은 일반적으로 완만하게 나타나기 때문에 야간 조명의 산란으로 인한 블러링 현상으로 전조등 후보 영역들의 윤곽이 부드럽지 않게 나타난다.

앞에서 언급한 두 가지 문제점을 동시에 해결하기 위해 형태처리기법 중 식 (2)의 열림 연산(opening operation)을 적용하여 흰색 잡음을 제거하고, 전조등 후보 영역들의 외곽선을 부드럽게 한다.3)

$$g_M(x, y) = \max_{R^1} \{ \min_{R^2} \{ g(x, y) \} \} \quad (2)$$

여기서, $g(x, y)$ 는 야간 이진 영상
 $g_M(x, y)$ 는 열림 연산을 수행한 이진 영상

열림 연산은 보통 전체적인 밝기값들과 큰 밝은 특징들은 비교적 그대로 두는 반면, 작고 밝은 상세 부분들을 제거하기 위해 적용된다. 이 연산은 침식 연산과 확대 연산을 순차적으로 수행하는 것으로, 처음에 적용되는 침식 연산(erosion operation)은 작은 상세 부분들은 제거하나 영상을 어둡게도 한다. 뒤이은 확대 연산(dilation operation)은 침식에 의해 제거된 상세 부분들을 살리지 않으면서 영상의 밝기를 다시 증가시킨다.

형태 처리에는 3x3크기의 convolution mask를 사용하

였고, n_1, n_2 를 각각 2회로 설정하였다. 탐지 대상의 전조등은 일정 이상의 크기이고, 잡음으로 간주하는 원거리의 전조등을 포함한 다른 광원들의 크기는 작기 때문에 열림 연산을 위해 침식 연산을 2회 수행한 후 확대 연산을 2회 수행하였다. 각각의 연산을 2회 수행하면 대부분의 잡음이 제거된다. 침식 및 확대 연산의 적용 횟수는 카메라의 초점거리와 탐지하고자 하는 차량의 최대 거리에 따라 새롭게 조정되어야 한다. 그림 11(c)에 대해 열림 연산을 적용한 결과가 그림 11(d)와 같이 나타난다. 원거리 차량의 전조등이나 가로등과 같이 작고 밝은 영역들은 제거되고, 상대적으로 큰 영역들은 그대로 유지되며 윤곽이 부드럽게 됨을 볼 수 있다.

2.3 경계선 추출

형태처리 수행 후 남은 영역들은 전조등 후보 영역이 되고, 각 영역에서 전조등을 탐지하기 위한 특징을 추출하기에 앞서 각 후보 영역들의 경계선을 추출하여 영역 분할 과정을 마친다. 경계선 추출을 위해서 4방향 체인코드(chain code) 기법을 사용하고, 체인 코드 알고리즘에 간단한 산술 명령을 첨가하여 각 영역의 경계선 추출과 동시에 면적(총화소수)을 계산한다.

3. 특징 추출 및 분류

본 절에서는 측후방 차량을 탐지하기 위해 사용할 전조등 영역의 기초 데이터를 생성하는 과정으로서, 전조등의 특성을 나타낼 수 있는 특징량을 구하는 기법을 기술한다. 일반적으로 영상 탐지에 있어서 특징 추출 단계는 어려운 처리 과정에 속하며, 그 성능은 처리된 대상체에 매우 의존적이다.

영역 분할 과정을 통하여 다수의 영역들이 분할되지만 대부분의 영역들은 전조등 패턴에 적합하지 않다. 전조등의 형태는 일정하지 않을 뿐만 아니라 차량의 거리에 따라 크기의 변화가 심하다. 따라서, 전조등의 정확한 분류보다는 전조등으로 적합하지 않은 영역들을 분리할 수 있는 특징량

을 정의하여 추출한다.

3.1 특징량 정의

기하학적 특징들 중 전조등을 탐지하기 위한 특징량으로 대상체의 면적(area), 면적비(area_ratio), 장단축 길이, 장축의 기울기, 장단축 종횡비(axis_ratio)를 사용하였다.

첫 번째 특징량은 대상체의 면적(area)으로서 대상체 내의 모든 화소의 개수로 정의된다. 본 연구에서는 근거리 전방 차량을 탐지 대상으로 하기 때문에 탐지 대상인 전조등의 크기도 일정 크기 이상이어야 한다.

두 번째 특징량은 면적비(area_ratio)로서 대상체의 면적과 대상체를 포함하는 최소 직사각형의 면적을 의미하는 box_area와의 비를 의미한다. 일반적으로 전조등의 형태가 직사각형에 가깝기 때문에 전조등 후보가 되기 위해서는 이 값이 1에 가까워야 한다.

$$area_ratio = \frac{area}{box_area}$$

세 번째 특징량은 도형의 장축과 단축의 길이이다. 추출된 폐곡선 영역을 포함하는 최소 직사각형의 폭과 높이를 구한 후 긴 쪽을 장축 a , 짧은 쪽을 단축 b 로 정의하고, 단위는 픽셀수이다.

네 번째 특징량은 장축의 기울기이다. 일반적으로 전조등의 장축은 수평이거나 수직이다. 따라서, 추출된 영역의 장축 기울기가 수평이나 수직에 가깝게 나타나지 않으면 전조등 후보 영역으로 간주하지 않는다.

다섯 번째 특징량은 대상체의 장축과 단축의 종횡비(axis ratio)이다. 이 특징은 한 쌍의 전조등을 탐지하는데 사용된다. 일반적으로 한 쌍의 전조등은 형태가 차량 후면 중심을 기준으로 대칭이기 때문이다.

$$axis_ratio = \frac{b}{a}$$

장단축 길이와 장축의 기울기는 모멘트를 이용하여 측정한다. 이러한 특징량들은 도형의 형상을 구분하는데 중요하게 적용할 수 있는 모멘트를 이용한 특징을 사용하여 정의할 수 있다. 확률론에서 정의된 모멘트(moment) 개념은 영상 처리시 대상체의 형태에 대한 특징량을 구하는데 매우 실용적이고 유용한 방법으로 사용되고 있다.4)

3.2 후보 영역 분류

분할된 모든 영역에 대해 앞에서 정의한 5가지의 특징량을 측정 후 전조등 후보가 되기 위해 미리 정한 각 특징량들의 임계값과 비교하여 전조등 후보로 적합하지 않은 영역들은 제거한다. 이 과정은 그림 12와 같이 decision tree classification 방법을 사용한다. 5가지 특징량 조건을 모두 만족하는 영역들만 전조등 후보 영역으로 고려하도록 한다. $M_i (i = 1, \dots, 5)$ 는 각 특징들의 특징량이고, α_i 는 각 특징량의 임계값이다.

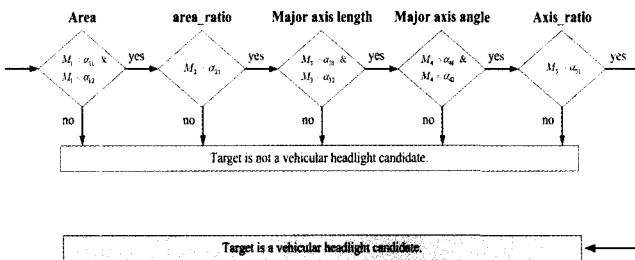


그림 12. 전조등 탐지를 위한 의사 결정 트리

Fig. 12. Decision tree for headlight detection

위의 과정을 통과한 전조등의 특징을 만족하는 각각의 영역을 $P_i (i = 1, \dots, n)$ 라고 정의하고, P_i 의 무게중심 좌표를

$(C_x(P_i), C_y(P_i))$ 라 정의한다.

4. 전조등 탐지

전 단계들 통과한 n 개의 후보 영역들 중에서 전조등의 상관적 특징을 이용하여 한 쌍의 전조등을 탐지한다. 서로 다른 후보 영역 $P_i, P_j (i \neq j)$ 에 대해 아래 특징들을 사용하여 모든 조건을 만족하며 가장 가까이 위치하는 전조등을 찾는다.

첫 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 의 수평 정도이다. 한 쌍의 전조등은 도로면에 대해 평행하다. 따라서, 한 쌍의 전조등이 되기 위해서는 두 전조등 영역의 무게중심을 이은 직선의 기울기인 식 (3)의 θ 값이 0에 가까워야 한다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{C_y(P_i) - C_y(P_j)}{C_x(P_i) - C_x(P_j)} \right)$$

(3)

두 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 형태의 유사성이다. 식(4)와 같이 두 영역의 종횡비(axis ratio)의 비율이 1에 가까워야 한다.

$$pattern\ similarity = \frac{axis\ ratio\ of\ P_i}{axis\ ratio\ of\ P_j} \tag{4}$$

세 번째 특징은 두 후보 영역 P_i 와 P_j 중심간의 수평 거리가 y 좌표의 무게중심에 따라 일정 범위내에 포함되어야 한다는 것이다. 원근 투영에 의해 전방 차량이 멀어질수록 두 전조등의 수평 간격은 작아진다. 따라서 도로면이 수평을 유지한다면 영상내의 두 전조등 중심점 수평거리는 각각의 y 좌표에서 일정 범위에 존재하여야 하고 이를 벗어나면 전조등으로 선택할 수 없다. 식 (5)의 함수 $F_{Min}(y), F_{Max}(y)$ 는 임의의 y 좌표에서 허용되는 두 전조등의 수평거리 최소값과 최대값을 의미한다.

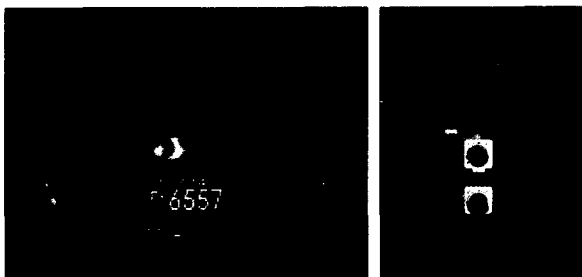
위의 세 가지 위치 특징을 만족하는 모든 후보 전조등을 구한 후 가장 가까이 위치하는 것을 추후방 차량의 전조등으로 결정한다. 가장 가까이 위치하는 한 쌍의 전조등을 탐지한 후에는 가장 최근에 탐색된 전조등 위치를 기준으로 탐색 영역을 좀더 축소하여 위의 과정을 반복한다. 연속적으로 추출되는 두 전조등 영역 중심점의 평균점을 가중평균

$$F_{Min} \left(\frac{C_y(P_i) + C_y(P_j)}{2} \right) \leq |C_x(P_i) - C_x(P_j)| \leq F_{Max} \left(\frac{C_y(P_i) + C_y(P_j)}{2} \right) \tag{5}$$

기법을 사용하여 계속 갱신하도록 한다. 새롭게 추출되는 일련의 두 전조등 평균점이 이전의 가중평균점과 일정이상 차이가 날 경우에는 새로운 차량이 감지된 것으로 간주하고 재탐색을 하도록 한다.

IV. 실험 결과

야간 측후방 차량 탐지 실험을 수행하기 위해 흑백 카메라를 그림 13과 같이 자동차 트렁크와 사이드미러 하단에 설치하였다. 향후, 측후방 차량의 거리 측정을 수행하기 위해 스테레오 카메라를 설치하였고, 본 연구에서는 두 카메라 영상 중 한 영상만을 사용하여 차량 전조등을 탐지하였다. 카메라에서 획득한 야간 측후방 도로영상을 녹화하여 실내에서 전조등 탐지를 실험하였다.

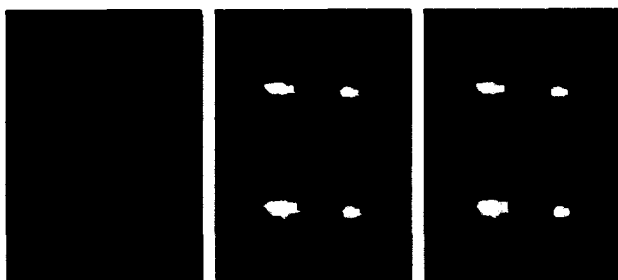


(a) 후방용 카메라 (b) 측방용 카메라

그림 13. 측후방 차량 탐지용 카메라

Fig. 13. Cameras for rear vehicle detection

야간 도로상에 존재하는 광원의 형태를 명확하게 획득할 수 있도록 두 카메라의 조리개를 수동으로 동일하게 조절하였다. 두 대 카메라의 EIA RS170 영상신호를 4화면 분할기에 입력시켜 하나의 영상신호로 변환시킨 후 이 영상출력신호를 PC Pentium-II 350MHz에 설치되어 있는 영상처리보드인 Matrox사의 Meteor-I에 입력시켰다. 두 영상의 해상도는 320x240x256 (gray-scale)이고, Visual C++로 구현된 알고리즘으로 통해 측후방 차량을 탐지하는데 각각 약 0.083초(12 frames/sec)의 처리 속도가 소요되었다. 이 정도의 처리 속도가 나오는 것은 영역 분할시 계산량이 많은 형태 처리를 수행하기 때문이다. 그림 14는 야간 측방 차량의 전조등 탐지 과정을 순차적으로 보여준다. 두 대의 카메라를 설치하였기 때문에 그림 14(a)와 같은 영상을 얻게 된다. 임계값 처리에 의해 그림 14(b)를 얻게 되고, 형태처리 과정 및 특징 추출 과정을 통해 그림 14(c)와 같이 한 쌍의 전조등을 탐지하게 된다. 입력 영상에 나타난 흰색 박스는 최종 탐지 결과를 입력 영상에 나타낸 결과이다.



(a) 입력 영상 (b) 이진 영상 (c) 탐지 결과

그림 14. 측방 차량의 전조등 탐지 과정

Fig. 14. Process for detecting a pair of headlight

제안된 알고리즘으로 탐지할 수 있는 측후방 차량까지의 거리는 약 20m이었다. 이 거리는 사용된 카메라의 초점 거리와 전조등 후보 영역 분할에 사용되는 임계값에 따라 변화시킬 수 있다. 카메라의 초점거리를 증가시키면 원거리의 측후방 차량을 탐지할 수 있지만, 카메라의 화각이 좁아지므로 차량을 탐지할 수 있는 영역이 좁아지고, 초점거리를 감소시키면 넓은 영역에서 차량을 탐지할 수 있지만 원거리 차량을 탐지하기 어렵다. 전조등 후보 영역 분할에 사용되는 임계값 조정에 의해서도 원거리에 위치하기 때문에 작게 나타나는 전조등을 탐지할지 여부가 결정된다. 전조등 탐지에서 주의할 점은 그림 14의 그림과 같이 카메라에 가까운 쪽의 전조등이 더 크게 나타난다는 것이다. 따라서, 측후방 차량이 근거리에 위치할 때는 차량의 위치에 따라 동일한 차량의 한 쌍의 전조등 크기가 다르므로 알고리즘 구현시 기하학적 특징량의 임계값의 범위를 넓게 설정해야 했다.

V. 결론

본 논문에서는 야간 운전시 운전자가 측후방 차량을 탐지하는데 이용하는 전조등의 밝기 특징, 기하학적 특징, 공간적 특징, 상관적 특징을 이용하여 컴퓨터비전 기반으로 야간 측후방에 존재하는 차량을 탐지하는 방법 및 실험 결과에 대해 설명하였다. 카메라의 조리개 조절을 통해 전조등을 구분하는데 적절한 영상 획득을 시도하였고, 형태 처리 기법을 통해 다수의 영상 잡음을 제거하고 전조등의 형태를 정확하게 추출하도록 하였다. 실험 결과 야간에 근거리 후방 차량과 측방 차량을 성공적으로 탐지할 수 있었고, 향후에는 스테레오 비전시스템을 사용하여 전조등 탐지 기반의 측후방 차량의 거리 및 위치 측정에 관련된 연구를 수행할 것이며, 탐지 대상을 오토바이나 전조등이 하나만 켜진 차량까지 확대할 것이다. 제안된 방법은 적외선 카메라와 함께 사용되어 야간 측후방 충돌경보시스템에 적용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] 노광현, 한민홍, "저속주행환경에서 컬러비전 기반의 근거리 전방차량추적," 정보처리논문지, 제7권, 제11호, pp. 3037-3047, 2000.
 [2] Takahiro OIKAWA, Koji ISHII, Tatsumi OTSUKA, Masato NAKAJIMA, "Vehicle Rear and Rear-Side Collision Warning System Using Optical Flows," Proc of Intelligent Transport System, 1995.
 [3] P.Soiile, Morphological Image Analysis Principles and Applications, Springer, 1999.

[4] Ferdinand van der Heijden, Image Based Measurement Systems, WILEY, 1995.



노 광 현(Kwang-Hyun RHO)

1995년 고려대학교 산업공학과(공학사)

1997년 고려대학교 산업공학과(공학석사)

2001년 고려대학교 산업공학과(공학박사)

2001년 10월 ~ 2002월 10월 Ecole des

Mines de Paris Robotic Center Post-Doc

2003년 ~ 현재 한국전자통신연구원 연구원

주관심분야 : 지능형 자동차, 컴퓨터비전, 지능 로봇, 임베디드 시스템, 이동 통신



문 순 환(Soon-Hwan Moon)

1989년 울산대학교 산업공학과(공학사)

1992년 고려대학교 산업공학과(공학석사)

1997년 고려대학교 산업공학과(공학박사)

1997년 ~ 현재 주성대학 산업시스템경

영과 교수

주관심분야 : 지능형 로봇, 컴퓨터비전



한 민 홍(Min-Hong Han)

1964년 서울대학교 기계공학과(공학사)

1973년 University of Minnesota

산업공학(공학석사)

1985년 Georgia Institute of technolog

산업공학과(공학박사)

1982년 숭실대학교 산업공학과 조교수

1985년 ~ 1988년 Texas A&M University 산업공학과 조교수

1988년 ~ 1988년 포항공과대학 산업공학과 부교수

1991년 ~ 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 정교수

주관심분야 : 지능형 자동차, 컴퓨터비전, 인공지능, 지능 로봇, ITS