

논문 2012-49SP-3-1

영상 기반의 차량 검출 및 차간 거리 추정 방법

(Vision-based Vehicle Detection and Inter-Vehicle Distance Estimation)

김 기 석*, 조 재 수**

(Giseok Kim and Jae-Soo Cho)

요 약

본 논문에서는 영상 센서를 이용한 강인한 차량 검출 및 차간거리 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 차량 검출 알고리즘은 차량의 가장 큰 특징인 차량 하단의 그림자부분과 차량의 뒷바퀴 부분을 추출하기 위해 Haar-like 특징들과 차량 뒷부분의 방향성 에지특징을 동시에 활용하기 때문에 더욱 강인한 차량 검출 효과가 있다. 차량의 그림자에 해당하는 Haar-like 특징에 추가적인 방향성 에지특징은 차량이 아닌 부분을 잘못 검출하는 오검출률(false-positive error)을 현격히 줄이는 효과가 있고, 차량 추적기법을 통해 전체적인 수행 속도를 크게 개선한다. 그리고 차간거리 추정 알고리즘에서는 먼저 영상에 나타난 차량의 위치를 통해 추정하는 방법과 차량의 폭을 이용한 두 방법의 장단점을 분석한 후, 차량의 위치를 이용하는 방법이 가지고 있는 문제점과 차량의 폭을 이용한 방법의 단점을 극복하면서, 차간거리의 정확도를 높일 수 있는 개선된 방법을 제안한다. 제안된 차량 검출 및 차간거리 추정 알고리즘의 효용성을 입증하기 위해 다양한 실험영상들을 통해 그 효과를 입증한다.

Abstract

In this paper, we propose a vision-based robust vehicle detection and inter-vehicle distance estimation algorithm for driving assistance system. We use the haar-like features of car rear-shadows, as well as the edge features for detecting of vehicles. The use of additional vehicle edge features greatly reduces the false-positive errors in the vehicle detection. And, after analyzing the conventional two inter-vehicle distance estimation methods: the location-based and the vehicle width-based, an improved inter-vehicle distance estimation algorithm which has the advantage of both method is proposed. Several experimental results show the effectiveness of the proposed method.

Keywords : vision-based vehicle detection, inter-vehicle distance estimation, driver assistance system

I. 서 론

주행 중 전방 차량에 대한 차간 거리를 경보해줄 수 있는 운전자 보조 시스템은 전방 차량과의 후면-정면 간 충돌을 막는데 큰 역할을 할 수 있다. 후면-정면 간 충돌은 전체 교통사고에서 매우 큰 비중을 차지한다(미국 28.5%, 독일 28%). 사고 원인의 91%는 졸음운전, 운

전 중 통신기기 사용 등 운전자 부주의에 의한 것으로서, 만약 1초 빠른 상황 예측이 가능하다면 약 90%의 사고를 막을 수 있다고 한다.^[1]

영상센서 외에 레이더와 같은 다른 센서를 이용하면 복잡한 영상 처리 알고리즘 없이도 쉽게 전방 차량에 대한 거리를 측정할 수 있지만, 영상센서를 이용하는 데는 다른 여러 가지 이점들이 있다. 이러한 영상센서의 이점들은 선행 연구들^[2]에 의해 자세하게 제시되었다.

영상을 이용하면 거리 정보 뿐 아니라 전방 물체가 차량인지, 다른 장애물인지, 또한 차량이라면 어떤 차량

* 정회원, ** 정회원-교신저자, 한국기술교육대학교
(Korea University of Technology and Education)
접수일자: 2011년9월1일, 수정완료일: 2012년1월30일

인지, 물체의 종류에 대한 정보를 얻을 수 있으며, 도로 상태나 환경에 대한 정보까지 획득할 수 있다. 이러한 추가적인 정보를 활용하여 더욱 다양하게 운전자를 보조해 줄 수 있는데, 예를 들어 차선 인식을 통한 차선 이탈 방지 시스템을 동시에 구축할 수 있고, 영상 기록 장치를 추가해서 차량 블랙박스로 활용할 수도 있다. 영상을 이용한 차간 거리 추출에 대한 연구는 사실 많이 이루어지지 않는 것 같다^[3~4]. 그 이유는 영상만으로 정확한 거리를 추출하기가 매우 어렵고, 정확도 측면에서 실용성도 많이 떨어지기 때문이다.

카메라 두 대를 이용한 스테레오 비전을 활용해 깊이 정보를 얻어낼 경우 전방 차량에 대한 거리 측정이 매우 용이해질 수 있다.^[5] 그러나 스테레오 비전을 활용해 얻을 수 있는 깊이 정보는 약 20m정도로 제한되어 있는 반면에 대부분의 주행 차량은 20m이상 떨어져 있다. 이러한 현실적인 상황을 고려할 때, 스테레오 비전으로 차간 거리를 추정하는 것은 다소 부적합하다.

영상을 이용한 차간 거리 측정은 먼저 1)영상에서 차량을 검출하고 추적하는 과정과, 2)영상에 나타난 차량에 대해 다양한 기하학적 정보를 이용해 차간 거리를 추정하는 과정으로 나눌 수 있다. 먼저 입력영상에서 차량을 검출하는 연구는 크게 학습된 데이터를 이용하는 방법^[3, 6~10]과 차량의 에지 또는 명암, 대칭성 등의 특징들을 이용해 차량을 찾아내는 방법^[9~11]으로 나눌 수 있다. 학습된 데이터를 이용하는 연구들에서는 수많은 차량 학습 데이터를 활용해 약 분류기(weak classifiers)를 조합하는 부스팅(boosting) 방법을 주로 사용한다. 이는 일정 수준 이상의 성능을 보장해 주지만 차량에 대한 많은 학습데이터베이스를 수집하는데 비용이 많이 들고, 학습 데이터가 방대하기 때문에 하드웨어 자원을 많이 소모한다는 단점이 있다. 이에 대해 본 연구에서는 이러한 학습의 문제점을 해결하면서도 비교적 간결하고 검증된 차량 특징들을 활용하여 차량 검출을 위한 후보 영역을 줄이고, 추적 기법(tracking)을 통해 차량 검출을 보완하여 수행속도를 크게 개선한다.

차량의 가장 큰 특징인 하단의 그림자부분과 차량의 뒷바퀴 부분만을 추출하기 위한 연구^[6~7, 12]도 다수 진행되었고, 이들 대부분은 haar-like 특징을 이용했다. 또 에지를 이용한 윤곽추출^[10~11]을 응용해 차량 검출을 시도한 연구도 있었다. 본 논문에서는 차량에지의 방향성 특징정보까지 활용하여 차량 검출의 정확도를 더 높였다.

그리고 차간거리 추정의 경우 영상에 나타난 차량의 위치를 통해 추정하는 방법^[4]과 차량의 넓이를 이용한 방법^[3] 모두를 활용하여 기존의 차간 거리 추정 방법이 가지는 단점들을 보완했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 차량 검출 방법에 대해 자세하게 기술하고, III장에서는 차간 거리 추정 방법에 대해 설명하고 이를 실험으로 검증한다. IV장에서는 제안하는 차량검출 및 차간거리 추정 알고리즘의 효용성을 검증하기 위해 수행한 다양한 실험결과를 보여주고, 마지막으로 V장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 설명한다.

II. 차량 검출

본 논문에서 제안하는 차량 검출 및 차간 거리 추정 시스템에 대한 전체적인 블록도는 그림 1.과 같다. 먼저 적응적 윈도우(adaptive sliding window)^[7]을 통해 차량이 나타날 수 있는 후보 윈도우를 선정한다. 선정된 후보 윈도우에 대해 차량의 밝기 분포 특징과 방향성 에지의 분포를 이용하여 차량을 검출한다. 검출된 차량에 대한 정보는 갈만 필터를 통해 최종적으로 확정된다. 이 후에 각각의 검출된 차량에 대해 영상에 나타난 차량 위치와 차량의 폭(width)을 활용해 최종적인 차간 거리를 추정하게 된다.

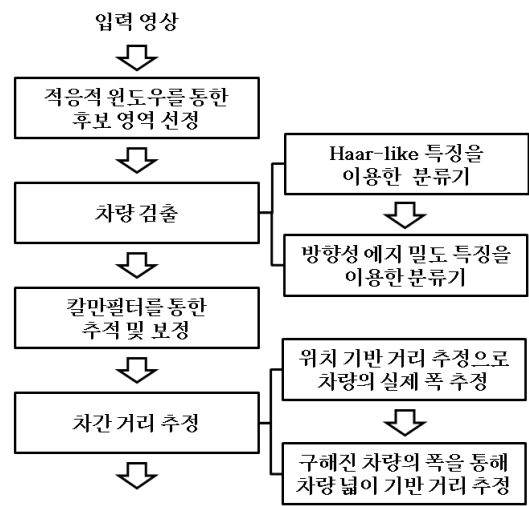


그림 1. 제안하는 차간 거리 추정 알고리즘의 전체적인 블록도

Fig. 1. A block diagram of the proposed vehicle distance estimation algorithm.

1. Haar-like 특징과 에지 특징을 이용한 차량 검출
 주행 상태에서 앞 차량을 카메라로 촬영할 때 영상에서 나타나는 차량의 가장 큰 특징은 차량 하단에 나타나는 그림자와 뒷바퀴의 명암이다. 또한 차량의 범퍼 부분은 후면으로 노출되어 밝기가 대체로 크게 나타나고 차량의 가장 윗면에서도 반사가 일어나 다른 주변보다 밝다. 그림 2에서 나타낸 것과 같이 전방 차량에서 나타나는 일정한 패턴의 밝기 특징을 이용하여, 1차적으로 입력영상에서 차량을 검출하고, 1차적으로 검출된 영역에서 2차적으로 그림 3과 같이 차량에 나타나는 방향성 에지성분 특징을 이용하여 최종적인 차량을 검출하게 된다.

차량 검출의 정확도를 높이기 위해 차량의 또 다른 특징으로 방향성 에지를 활용했다. 번호판, 유리창, 범퍼 등 차량의 안쪽에서 드러나는 영상 특징 대부분이 가로 방향으로 많은 에지 성분을 가지고 있기 때문에 일정량 이상의 가로 방향의 에지를 가지고 있는 윈도우만 차량이 있는 것으로 간주할 수 있다(그림 3.(a)). 반면에 세로 방향의 에지의 경우, 차량 내부에서는 거의 드러나지 않는 반면에 차량의 좌우 측면에서 대칭적으로 두드러지게 나타나게 된다(그림 3.(b)). 이러한 차량의 에지 특징을 활용하기 위해 차량의 외곽 영역(그림 3.의 적색 빗살무늬)과 내부영역(그림 3.의 적색 가운데)을 설정하고 해당 영역에서 일정량 이상의 에지가 나타나는지, 어떤 방향의 에지가 더 많이 나타나는지를 측정하여 차량이 있는 영역인지 아닌지를 구분한다.



그림 2. 기본적인 차량의 Haar-like 특징들
 Fig. 2. Typical Haar-like features of vehicles.



(a) 가로 방향의 에지특징 (b) 세로 방향의 에지특징
 (a) horizontal edge feature (b) vertical edge feature

그림 3. 차량 뒷부분에 나타나는 추가적인 에지특징들
 Fig. 3. Additional edge features of rear-vehicle.



(a) (b)

그림 4. 차량 검출 비교 결과
 (a) Haar-like 특징만 사용, (b) Haar-like 특징과 방향성 에지 특징을 모두 사용

Fig. 4. A comparison of vehicle detection (a) using only Haar-like features and (b) using both of Haar-like features and directional edge features.

안쪽 영역에서는 임계값 이상의 가로 방향의 에지가 나타나야 하며 이는 세로 방향의 에지 성분보다 비율이 높아야 한다. 반대로 차량의 외곽에서는 차량과 도로면의 경계에 의해 세로 방향의 에지 성분이 임계값 이상으로 나타나야 하며, 가로 방향의 성분보다 더욱 강조되어야 한다. Haar-like 특징에 의해 1차적으로 검출된 차량 후보 영역에서 2차적으로 이러한 차량의 에지 특징을 적용해서 차량의 오검출률을 줄이고, 효율적인 연산을 위해 적분 이미지(integral image)^[13] 개념을 이용해서 검출 시간을 단축한다.

그림 4는 이러한 특징들을 활용해 차량을 검출했을 때의 결과를 서로 비교한 것이다. 그림 4.(a)는 엄선된 Haar-like 특징만 가지고 차량을 검출했을 때의 결과이며, 그림 4.(b)는 Haar-like 특징과 에지 밀도 특징을 모두 이용한 검출의 결과이다. 그림 4의 실험 예와 같이 주행 중인 차량의 Haar-like 특징과 에지 밀도 특징을 모두 이용했을 때, 오검출률이 줄어든 것을 여러 실험 결과에서 확인할 수 있다.

2. 칼만필터를 이용한 차량의 위치와 크기 추적
 검출된 차량은 칼만필터^[14]를 통해 추적하게 된다. 주

행 중인 차량은 움직임이 크지 않고 일정하므로 칼만필터를 사용하는 것이 매우 적절하다. 칼만필터를 통해 차량의 다음 위치와 차량의 크기(영상에서의 윈도우 크기)를 예측하고, 각 프레임에서 검출된 차량이 예측 범위 내에 있을 경우 검출된 차량의 위치와 차량의 크기를 칼만필터로 보정한다. 예측 범위에서 차량이 검출되지 않으면 예측값을 그대로 활용해서 추적을 계속하게 되고, 일정 프레임 수 이상 예측 범위에 차량이 검출되지 않으면 차량이 영상 밖으로 사라졌거나 처음부터 잘못 검출한 것으로 간주하고 해당 차량에 대한 추적을 포기한다. 이러한 과정을 통해 각각의 프레임에서 독립된 차량 검출이 프레임간의 연관성을 얻게 되고, 연속된 프레임 중간에 검출되지 못한 차량의 위치나, 잘못 검출된 차량에 대한 보정이 이루어지게 된다. 칼만필터의 상태 변수는 차량의 중심점 좌표 (cx, cy) , 그리고 차량의 폭(width) w 가 사용된다. 차량의 높이는 차량의 폭에 일정한 비율을 곱하면 구할 수 있다. 그래서 칼만필터의 상태변수는 중심점 좌표와 폭에 대한 시간 변화분을 포함한 $x = [cx \ cy \ w \ \frac{dcx}{dt} \ \frac{dcy}{dt} \ \frac{dw}{dt}]^T$ 가 된다. 이러한 상태변수를 적용하여 차량의 중심점과 차량의 폭(width)을 매 프레임마다 칼만필터를 활용하여 예측한다.

III. 차간 거리 추정

다른 측정이나 센서 없이 오직 영상을 통해서 전방 차량과의 거리를 추정하기 위한 연구는 지금까지 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 영상에 나타난 차량의 폭(width)을 이용하는 방법이다.^[4] 여기서 차량의 폭은 일반적으로 범퍼나 뒷바퀴를 기준으로 한다. 차간 거리와 영상에 나타나는 차량의 폭은 거의 반비례하기 때문에 차간 거리가 멀어질수록 영상에 나타나는 차량의 폭은 좁아진다. 이 추정 방법은 시간에 따른 차량의 거리 변화를 비교하고 예측하기는 좋으나 절대적인 차간 거리값을 얻기 위해서는 차량의 실제 폭과 카메라의 초점 거리를 정확하게 알고 있어야 한다. 현실적으로, 차간 거리의 절대적인 실제 수치를 얻기 위해서는 대상 차량의 폭이 일정하다고 가정할 수밖에 없다.

두 번째 방법은 영상에 나타난 차량의 세로축 위치 기반의 추정 방법이다^[3] 차간 거리가 멀어질수록 영상에 나타난 차량은 더 높은 곳-지평선과 가까운 곳에 위

치하게 된다. 이 방법은 도로가 평평하고, 카메라의 설치 각도, 위치가 변하지 않으며, 차량이 바닥에 붙어 있다는 가정만 성립하면, 차량의 종류나 크기와 상관없이 절대적인 수치 계산이 가능하다. 반면에 이 방법은 거리가 멀어질수록 작은 화소 차이에 의해서도 거리 추정 값이 크게 변하기 때문에 노이즈에 매우 민감하고 정밀한 추정이 어렵다. 본 논문에서는 이 두 방법을 모두 활용하여 견고하면서도 정확한 차간 거리 추정 방법을 제안한다.

1. 차량 폭을 이용한 차간 거리 추정 방법

먼저 차량의 폭을 이용한 첫 번째 방법은 그림 5와 같이 차량이 카메라에 투영되는 모델로 설명할 수 있다. 그림 5는 차량이 영상 평면에 투영될 때의 모습을 나타낸 것이다. W 는 차량의 실제 폭을 나타내고, D 는 카메라와 차량이 떨어진 실제 거리, w 는 차량이 영상 평면에 투영되었을 때의 차량 폭(width), 그리고 f 는 화소로 환산했을 때의 초점 거리이다. 이 때 식 (1)과 같은 비례식이 성립한다.

$$W : D = w : f \quad (1)$$

여기서 실제 차량과의 거리를 구하는 식은 (2)가 된다.

$$D = \frac{f \cdot W}{w} \quad (2)$$

항상 같은 카메라로 촬영하므로 초점거리 f 는 일정한 상수값이 되고, 차량의 실제 폭이 항상 동일하다고 가정했을 때, W 도 상수가 되어 다시 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

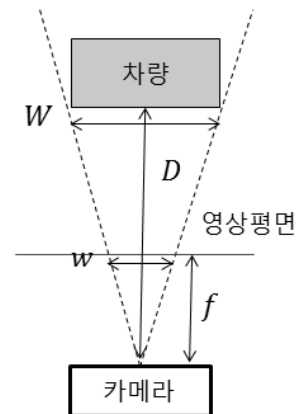


그림 5. 실제 차량이 카메라 영상에 투영되는 모델
Fig. 5. Projection model of the camera system.

$$D = \frac{R}{w}, \quad \text{여기서, } R = f \cdot W \quad (3)$$

R 은 결국 특정한 차량에 대해 차량의 실제 폭과 카메라의 초점 거리의 곱으로서, 동일한 차량, 동일한 카메라일 경우 차량의 거리와 상관없이 항상 일정한 값을 가진다. 본 논문에서는 동일한 차량에 대해 다양한 거리에서 촬영한 영상을 가지고 R 을 직접 계산해 봄으로써 동일한 차량에 대해 항상 일정한 값을 가지는 것을 직접 검증해 보았고, 표 1.과 그림 6에 그 결과를 나타내었다.

차량 폭 기반의 차량거리 추정 방법만으로 실제 차간 거리를 구하기 위해서는 결국 R 값을 상수로 정할 수밖에 없다. 이는 곧 모든 차량의 넓이가 동일하다고 가정하게 되는 것이며, 이 때문에 추정 거리와 실제 거리 간의 오차가 생길 수밖에 없다.

표 1. 차량 거리와 상수값 R 의 관계
Table 1. An example of relation of vehicle distance and constant value, R .

실제 측정 거리 $D(m)$	영상에 표시된 차량 폭 w (화소)	상수값 R ($R = D \cdot w$)
10.0	257	2570
10.5	242	2541
11.0	228	2508
11.5	224	2576
12.0	208	2496
12.5	197	2462.5
13.0	194	2522
13.5	186	2511
14.0	176	2464



(a) 10m (257 화소) (b) 14m (176 화소)

그림 6. 카메라와 차량의 거리 변화에 따른 차량 폭의 변화

Fig. 6. The differences of vehicle-widths according to the vehicles's distance.

2. 차량 위치 기반의 거리 추정 방법

영상에 나타난 차량의 위치를 이용한 차량 거리 추정 방법은 그림 7.에 나타냈다. 카메라가 고정된 높이에서

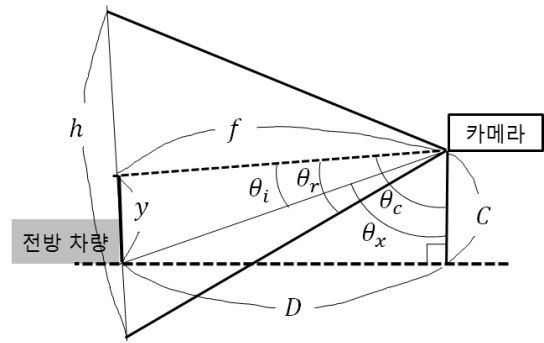


그림 7. 위치 기반의 거리 측정
Fig. 7. Position-based vehicle distance estimation.

전방차량을 촬영하고 있는 모습을 옆에서 그린 것이다. 여기서 h 는 이미지의 높이(화소)를 나타내며 D 가 추정하고자 하는 실제 차량과의 거리(m)이다. C 는 카메라의 설치 높이, θ_x 는 전방 차량의 바닥 지점과 카메라 설치지점과의 각도, θ_c 는 카메라가 바라보는 방향이 이루는 각도, θ_i 는 카메라의 중심과 전방차량이 이루는 각도이다.

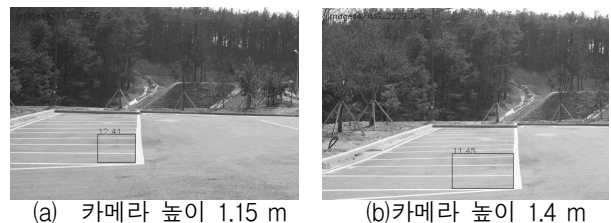
여기서 차량과의 거리 D 는 식 (4)와 같다.

$$D = C \cdot \tan(\theta_x) \quad (4)$$

$$\theta_x = \theta_c - \theta_i \quad \text{이고, } \theta_i = \tan^{-1} \frac{y}{f} \quad (5)$$

$$f = \frac{h}{2 \tan \theta_r} \quad (6)$$

여기서 h 는 영상의 전체 높이, y 는 영상의 중점으로 부터 전방 차량의 바퀴가 닿는 부분까지의 거리이며 단위는 화소이다. f 는 카메라의 화소 단위의 초점 거리이며 그림 5.에 표현된 것과 동일하다. θ_r 은 카메라의 세로 방향 화각의 $\frac{1}{2}$ 이다.



(a) 카메라 높이 1.15 m (b)카메라 높이 1.4 m

그림 8. 차량 위치 기반 수식 검증(카메라 각도(θ_c) 89도, 화각(θ_r) 14도),

Fig. 8. Verification for the position-based distance estimation(angle of camera setting(θ_c) 89°, angle of view(θ_r) 14°).

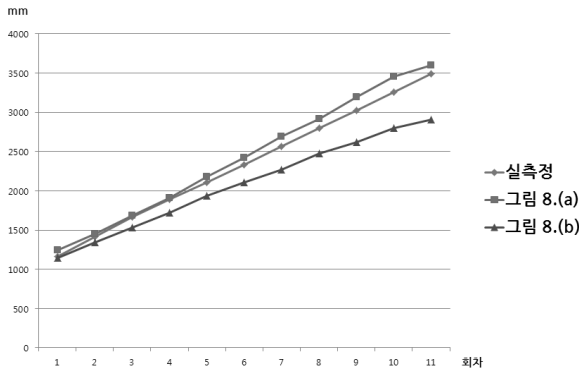


그림 9. 표 2에 대한 그래프

Fig. 9. A graph of Table 2.

표 2. 거리에 대한 실제 측정값과 영상을 통한 실제 측정값 비교

Table 2. A comparison of real distance measurement and estimation of the proposed method.

단위 (m)		
실측정	그림 8.(a)	그림 8.(b)
11.68	12.41	11.45
14.16	14.53	13.40
16.64	16.82	15.32
18.92	19.08	17.17
21.04	21.76	19.35
23.34	24.23	21.07
25.65	26.90	22.67
27.96	29.20	24.72
30.27	31.93	26.24
32.58	34.51	27.96
34.88	35.97	29.10

본 논문에서는 식 (4)~(6)에 대한 검증을 위해 그림 8.과 같이 실제 평평한 바닥에 일련의 선의 위치와 실제로 줄자를 이용해서 측정된 거리와 차량의 위치 기반 거리 추정 알고리즘을 적용해 얻어낸 결과가 같은지를 비교 검증했다. 그 결과 오차범위 내에서 차량 위치 기반의 거리 추정 방법(수식)이 정확하다는 것이 확인되었다. 이 결과는 그림 9.와 표 2.에 나타내었다.

그림 9.의 그래프와 표 2. 에서 나타난 것과 같이 본 연구에 나타난 수식을 이용하면 실측 거리에 비례하는 영상 측정 결과를 얻을 수 있다. 다만 일정한 오차 간격이 계속적으로 나타나는 것은 카메라의 높이나 각도와 같은 파라미터에 대한 측정 오차가 반영된 것으로 위치 기반의 측정 방법은 환경 파라미터에 매우 민감함을 보여주고 있는 것이다. 거리가 멀어질수록 이러한 파라미터의 영향을 더 크게 받게 되어 영상에서 단 1화소만

차이가 나도 거리 추정 결과에 큰 영향을 주게 된다. 즉, 차량의 크기와 종류에 상관없이 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법이지만 실제로 적용함에 있어서는 노이즈나 파라미터값의 셋팅에 매우 민감하게 작용하기 때문에 다소 실용성이 떨어지는 문제가 있다.

3. 두 방법을 결합한 차간 거리 추정

앞에서 설명한 두 가지 차간 거리 추정 방법에 대한 특징은 표 3.과 같이 정리할 수 있다. 차량 폭 기반의 방법과 차량 위치 기반의 거리 추정 방법은 각각의 장단점을 지니고 있다. 그래서 본 논문에서는 두 방법을 결합하여 상호간의 단점을 보완하고자 한다. 먼저 기본적으로 차량 폭 기반의 거리 추정을 통해 차간 거리를 추출하지만 여기서 사용되는 R 값을 기존의 연구처럼 미리 지정하는 것이 아닌 위치 기반의 방법으로 얻어진 차간 거리와 측정된 차량의 폭을 이용해 R 을 추정하고, R 값이 연속적으로 특정 범위 이내의 오차를 보이면 R 을 확정하고 이를 통해 차량의 폭을 이용한 거리 추정 방법으로 차간 거리를 최종적으로 예측하게 된다.

R 값이 아직 확정되지 않았을 때는 위치 기반의 거리 추정 방법을 써서 차간 거리를 측정한다. 여기서 측정된 차간 거리를 통해 역으로 후보 R^- 값을 구하고, 이 후보 R^- 값을 누적시켜 과거 $t-n$ 프레임으로부터 현재 t 프레임까지의 평균 μ 와 표준편차 σ 를 구한다. σ 가 임계값 σ_{th} 미만일 때 μ 를 해당 차량에 대한 R 값으로 확정한다. R 값이 확정되고 나면 차량 폭 기반의 거리 추정 방법을 이용하여 차간 거리를 추정한다. 이렇

표 3. 차간 거리 추정 방식의 장단점 요약

Table 3. Summary of pros and cons of the vehicle distance estimation methods.

	차량 폭 기반	차량 위치 기반
장점	<ul style="list-style-type: none"> ● 노이즈에 비교적 덜 민감하다. ● 바닥의 굴곡과 관계없이 추정 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 차량의 종류, 물체의 종류와 상관없이 거리 추정이 가능하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> ● 차량의 실제 폭을 알 수 없다면 실제 정확한 차량 거리를 알 수 없다. ● 실제 차종이 다양하고, 차량 폭이 다르다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 노이즈에 대한 영향을 비교적 크게 받는다. ● 카메라가 위치한 곳과 앞차가 위치한 바닥이 평평하다고 가정한다.

표 4. 두 방법을 결합한 차간 거리 추정 알고리즘
Table 4. The pseudo code of combined vehicle distance estimation.

연속된 t 프레임 영상 영상에 대해

- for 각각의 추적중인 차량 v
 - if $R_v == \text{null}$
 - 위치기반의 차량 검출로 거리 추정
 $D_v(t) = C \cdot \tan(\theta_x(t))$
 - 추정된 $D_v(t)$ 를 통해 R^- 값 도출
 $R_v^-(t) = D_v(t) \cdot w_v(t)$
 - $R_v^-(t-1..t)$ 의 표준편차 $\sigma_v(t)$, 평균 $\mu_v(t)$
 - if $\sigma_v(t) < \sigma_{th}$ then $R_v = \mu_v(t)$
 - else
 - 차량 폭 기반의 방법으로 차간 거리 추정
 $D_v(t) = \frac{R_v}{w_v(t)}$
- for 모든 추적중인 차량의 쌍(a, b)
 - if $y_a(t) < y_b(t)$ and $D_a(t) < D_b(t)$
then $R_a = \text{null}, R_b = \text{null}$

게 얻어진 R 값은 지속적으로 보정을 하게 된다. 이 때 위치 기반의 차량 검출 알고리즘은 차량간의 상대적인 거리를 추정한다. 만약 임의의 두 차량에 대해서 어느 한 차량의 이미지의 중점으로부터 바퀴가 닿는 부분까지의 화소 거리인 y 값이 다른 차량의 y 보다 작을 경우 거리가 더 멀어야 하지만 정해진 R 을 이용한 차간 거리 추정의 결과가 이에 반대되어 나올 경우 다시 R 을 계산하게 된다. 또한 차량에 대한 검출이 지속적으로 실패하여 추적이 이루어지지 못한 경우 해당 차량에 대한 데이터를 모두 삭제하므로 다시 R 을 추정해야 한다. 이에 대한 구체적인 구현알고리즘을 표 4.에 정리해서 나타내었다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 직접 고속도로 상에서 차량영상을 촬영하여, Intel사의 T6400 프로세서(Dual Core, 2.0GHz)를 싱글 프로세스 방식으로 실험했다. 표 5.는 차량 검출 에 대한 실험 결과이고, 그림 10은 제안한 차량 검출 및 차간 거리 추정 알고리즘 실험 결과이다. 320x240의 입력 영상에 대해서 실험한 결과 평균 32.2 frame/sec의 처리 속도를 보였다. 제

표 5. 제안된 차량 검출 실험 결과
Table 5. The results of the proposed vehicle detection.

트럭, 대형차량	승용차	전체
711/876 (81.6%)	2427/2459 (98.7%)	3138/3335 (94.9%)



그림 10. 제안한 차량 검출 및 차간 거리 추정 알고리즘 실험 결과

Fig. 10. The experimental results of the proposed vehicle detection and distance estimation method.

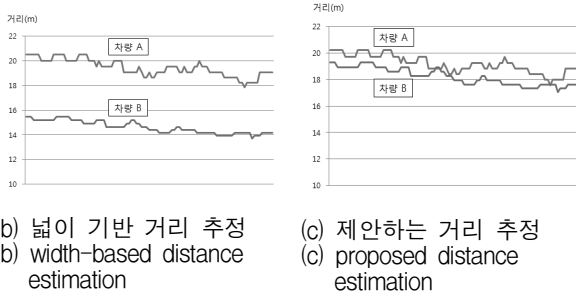
안한 차량 검출 알고리즘으로 실험 영상에 대해 차량을 추출한 결과 뒷유리가 존재하는 승용차, 승합차의 경우 약 98%의 높은 차량 검출률을 보였다. 반면에 대형 트럭과 같이 차량 뒷면에 예지 성분이 많지 않은 경우에는 68%정도의 낮은 차량 검출률을 보였다. 49개의 물체를 차량으로 오인하여 오검출이 발생하였으며, 영상의 모든 곳의 모든 크기의 영역이 잠재적인 Negative라고 생각했을 때, 오검출율은 매우 낮은 수치이다.

대형 차량(버스, 화물차 등)에서는 일반적인 승용차량에서 볼 수 있는 가로 방향의 엷지 성분이 뚜렷하게 나타나지 않는다. 때로는 차량 가운데에서 세로 방향의 엷지 성분이 가로 방향의 엷지 성분보다 더 많이 나타나는 경우도 볼 수 있다. 때문에 제안한 알고리즘은 승용차 위주의 검출로 적당하며 도로 상의 다양한 차량과 이륜차 등을 동시에 식별하는데 있어서는 한계를 드러냈다.

차간 거리 추정 알고리즘을 객관적으로 평가하기 위해서는 먼저 기반 데이터(ground-truth), 즉 영상에 보이는 모든 차량에 대한 실제적인 측정 거리 데이터가 확보되어야 하는데, 이 부분에 있어서는 많은 애로사항이 있다. 영상이 아닌 다른 일반적인 센서를 통한 거리 측정도 전방의 차량에 대해서만 가능하고, 또한 이것을 영상과 동기화해야 하는 문제가 있다. 때문에 기존의 어떠한 거리 추정 알고리즘 연구에서도 이러한 기반 데이터가 확보된 바가 없었으며, 이에 따라 거리 추정 방법에 대한 객관적인 검증도 찾아보기 어렵다. 이러한



(a) 두 차량에 대한 영상
(a) An example image of two vehicles



(b) 넓이 기반 거리 추정
(b) width-based distance estimation

(c) 제안하는 거리 추정
(c) proposed distance estimation

그림 11. 동일한 거리의 두 차량에 대한 실험 결과
Fig. 11. The experimental results of two vehicles located on the same distance.

문제에 대해 본 논문에서는 앞서 표 1.과 표 2.에서 밝힌 바와 같이 차량이 정지된 상태에서의 거리 추정에 대한 검증을 수행했다. 이에 따라 기존의 방법은 상식적인 오차 범위 내에서 정확한 값이 도출됨을 알 수 있었으며 제안하는 거리 추정 방법 또한 기존의 모델 및 수식을 응용한 것으로서 그 결과를 신뢰할 수 있다고 판단된다.

제안한 방법이 기존의 방법보다 더 우수함을 입증하는 실험은 그림 11.에 나타내었다. 그림 11(a)에서 보듯이 같은 거리상에서 주행하도록 하는 두 차량에 대한 거리 추정을 수행했다. 실험 대상인 두 차량과 촬영자의 차량 모두 일정한 거리를 유지한 상태에서 주행 중에 있기 때문에 거리 추정 결과는 일정하게 유지되어야 하며, 두 차량 모두 거의 같은 거리 값이 나와야 한다. 그러나 넓이 기반의 방식만 사용했을 때는 다소 부정확한 결과가 나온다. 먼저 두 차량의 넓이가 다르기 때문에 동일한 거리로 떨어져 있음에도 불구하고 약 5m 정도의 차이를 보이며 각각 다른 거리만큼 떨어진 것으로 결과가 나오고 있다. 반면에 제안한 알고리즘의 경우에는 각 차량의 넓이가 다름을 인식하고 각각 다른 계산을 적용하기 때문에 기대하는 결과와 같이 거의 동일한 거리로 인식된다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존의 단순하고 많은 차량 학습 데이터베이스를 요구하는 차량 검출 학습 알고리즘 대신에 차량의 기본적인 Haar-like 특징과 차량 뒤쪽의 에지 특징을 활용하여 차량을 검출하는 알고리즘을 제안하였고, 차간 거리 추정에서 차량의 폭 기반 방법과 위치 기반 방법의 장단점을 분석하여 각각의 장점을 모두 활용하는 차간 거리 추정 알고리즘을 제안했다. 제안된 알고리즘에 대해서 많은 실험영상을 통해 그 효용성을 검증했다.

차간 거리 추정에 있어서 기존의 차량 폭 기반의 방법과 차량 위치 기반의 방법이 가지고 있는 상호 보완적인 관계를 가지고 새로운 거리 추정 알고리즘을 제안함으로써 더욱 정확하고 강인한 차간 거리 추정이 가능하게 되었다.

운전자 안전 보조 시스템에서 전방 차량과의 충돌을 미리 예측하고 이에 대한 경보를 울리기 위한 본래의 연구 목적 뿐 아니라 전방 차량에 대한 감시와 거리 추정이 필요한 또 다른 응용 분야에도 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것이다. 하지만, 본 연구에서 제안한 차량 검출 방법은 야간 상황에서는 사용할 수 없는 단점이 있다. 야간 상황에서 카메라 영상을 이용하여 차량을 검출하는 알고리즘은 추후 연구할 예정이다.

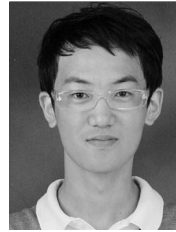
참고 문헌

- [1] National Transportation Safety Board, "Special Investigation Report - Highway Vehicle- and Infrastructure-based Technology For the Prevention of Rear-end Collisions," NTSB Number SIR-01/01, May 2001.
- [2] E. Dagan, O. Mano, G. P. Stein, and A. Shashua, "Forward Collision Warning with a Single Camera," Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, pp. 37-42, Parma, Italy, June 2004.
- [3] J. Choi, "Realtime On-Road Vehicle Detection with Optical Flows and Haar-like Feature Detector", a final report of a course CS543 (Computer Vision, prof. Li Fei-Fei), 2006.
- [4] M.-C. Lu, Tsai, C.-P., M.-C. Chen, Y. . Lu, W.-Y. Wang, and C.-C. Hsu, "A practical nighttime vehicle distance alarm system," Systems, Man and Cybernetics, 2008. SMC 2008. IEEE International Conference on, Singapore,

October, 2008.

- [5] A.H.A. Hasan, R.A. Hamzah, and M.H. Johar, "Stereo Vision-based feature extraction for vehicle detection," Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE, vol. 2, pp. 465-470, Versailles, France, June 2002.
- [6] D. C. Lee, and T. Kanade. "Boosted Classifier for Car Detection", unpublished, <http://www.cs.cmu.edu/~dclee/>, 2007.
- [7] A. Haselhoff, and A. Kummert, "A vehicle detection system based on Haar and Triangle features," Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE, Shaanxi, China, June. 2009.
- [8] X. Wen, H. Zhao, N. Wang, and H. Yuan, "A Rear-Vehicle Detection System for Static Images Based on Monocular Vision," ICARCV '06. 9th International Conference on, Singapore, December 2006.
- [9] S. Zehang, G. Bebis, and R. Miller, "Monocular precrash vehicle detection: features and classifiers, Image Processing," IEEE Transactions on, pp. 2019 - 2034, July 2006.
- [10] 송광열, 이기용, 이준웅, "에지 분석과 에이다부스트 알고리즘을 이용한 차량 검출", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 17, no. 1, pp. 1-11, 2009년 1월
- [11] D. Alonso, L. Salgado, and M. Nieto, "Robust Vehicle Detection Through Multidimensional Classification for on Board Video Based Systems," Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on, vol 6. pp. 321-324, Texas, U.S.A., September 2007.
- [12] C. Papageorgiou, M. Oren, and T. Poggio. "A general framework for object detection." International -Conference on Computer Vision, Bombay, India, January 1998.
- [13] P. Viola and M. Jones, "Robust Real-time Object Detection," International Journal of Computer Vision (IJCV), July 2001.
- [14] G. Welch, and G. Bishop. "An Introduction To the Kalman Filter." Technical Report TR95-041, University of North Carolina at Chapel Hill, July 2006.

저 자 소 개



김 기 석(정회원)

2010년 2월 한국기술교육대학교
인터넷 공학과(공학사).

2010년 3월~현재 한국기술교육
대학교 대학원 컴퓨터
공학석사 과정.

<주관심분야 : Object detection and tracking,
Pattern Recognition, Programming Language>



조 재 수(정회원)-교신저자

1993년 2월 경북대학교
전자공학과(공학사).

1996년 2월 한국과학기술원 전기
및 전자공과(공학석사).

2001년 2월 한국과학기술원 전기
및 전자공학(공학박사).

2001년 3월~2003년 7월 (주)삼성전자.

2003년 9월~현재 한국기술교육대학교
컴퓨터공학부 부교수.

<주관심분야 : Automatic Video Tracking,
Visual Surveillance, Pattern Recognition,
Machine Learning>