

단일 프레임에서 차량 검출을 위한 그림자 분류 기법

(Shadow Classification for Detecting Vehicles in a Single Frame)

이 대 호 [†] 박 영 태 ^{††}
(Daeho Lee) (Youngtae Park)

요 약 본 논문에서는 단일 프레임의 교통 영상에서 차량을 검출하는 새로운 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 동작 환경에 관계없이 여러 형태로 분류된 그림자를 추출한다. 차량의 색상과 조명 조건에 관계없이 차량이 도로와 접한 부분에는 어두운 그림자 형상을 가진다는 사실을 이용하여 그림자 분류를 수행한다. 추출된 그림자는 차량의 존재 유무를 판단할 강력한 능력을 가지고 있으며, 배경 영상과 다른 시간적 정보들을 이용하지 않으므로, 기상 및 교통 정체가 빠르게 변화하는 상황에서도 높은 검출 성능을 보장한다. 차량 위치에 존재하는 밝은 정보와 그림자 영역과의 간단한 증거 추론 기법에 의해 차량을 검출할 수 있다. 6개의 다른 동작 환경의 실험에서 4% 이하의 오검출율을 보이고, 0.9%에서 7.2%의 미검출율을 보였다. 또한, 작은 크기의 영상에 대해 초당 70 프레임 이상의 처리가 가능하므로, 다양한 교통 정보를 실시간으로 측정하는 기법에 사용될 수 있다.

키워드 : 그림자 분류, 교통 정보 처리, 차량 검출, 증거 추론

Abstract A new robust approach to detect vehicles in a single frame of traffic scenes is presented. The method is based on the multi-level shadow classification, which has been shown to have the capability of extracting correct shadow shapes regardless of the operating conditions. The rationale of this classification is supported by the fact that shadow regions underneath vehicles usually exhibit darker gray level regardless of the vehicle brightness and illuminating conditions. Classified shadows provide string clues on the presence of vehicles. Unlike other schemes, neither background nor temporal information is utilized; thereby the performance is robust to the abrupt change of weather and the traffic congestion. By a simple evidential reasoning, the shadow evidences are combined with bright evidences to locate correct position of vehicles. Experimental results show the missing rate ranges from 0.9% to 7.2%, while the false alarm rate is below 4% for six traffic scenes sets under different operating conditions. The processing speed for more than 70 frames per second could be obtained for nominal image size, which makes the real-time implementation of measuring the traffic parameters possible.

Key words : Shadow classification, Traffic information processing, Vehicle detection, Evidential reasoning

1. 서 론

컴퓨터비전을 이용한 교통 모니터링 시스템은 도로 정체 상황을 감지하여 교통량을 분배하므로 체계적인

교통 제어를 가능하게 한다. 이러한 이용 분야는 지능형 차량/고속도로 체계(IVHS; intelligent vehicle/highway system), 첨단 교통 정보 체계(ATIS; advanced traveler information system), 첨단 교통 관리 체계(ATMS; advanced traffic management system) 등이 있다. 교통량, 속도, 점유율 등을 제공하는 유도 루프 검지기와의 비교하여 영상 처리를 이용하는 기술은 크게 두 가지 장점을 가지고 있다. 한 대의 카메라에 의해 모든 차선을 동시에 모니터링 할 수 있으며, 도로 밑에 매설되는

· 이 논문은 2004년도 경희대학교 지원에 의한 연구 결과임

† 종신회원 : 경희대학교 교양학부 교수
nize@khu.ac.kr

†† 정 회 원 : 경희대학교 전자정보대학 교수
ytpark@khu.ac.kr

논문접수 : 2006년 4월 19일

심사완료 : 2007년 9월 5일

루프 검지기보다 유지 및 보수가 편리하다. 이러한 교통 모니터링 시스템의 핵심 기술은 실시간으로 정확히 차량의 위치, 계수 및 속도를 측정하는 것이다.

교통 영상에서 차량을 검출하는 것, 즉 물체를 분할하는 것은 컴퓨터비전 분야에서 가장 기본적이며 중대한 문제이다. 분할은 영역 기반, 에지 기반 등의 다양한 기법[21]이 있으나, 자연 영상에서는 조명, 기상, 그림자, 반사 등의 변화에 성능의 변화가 크다. 일반적인 차량의 형상은 지붕, 후두, 트렁크, 창, 바퀴 등을 포함하고 있으며, 영상의 특성이 모두 다르기 때문에 배경으로부터 쉽게 분할하기 어렵다. 또한, 차량이 겹쳐 보이거나, 다른 차량의 그림자에 걸쳐 있을 경우에는 정확히 차량 영역을 분할하는 것이 더욱 어렵다.

현재까지 교통 영상에서 차량을 검출하는 많은 기법들이 보고되었으며, 차량 분할의 어려운 문제를 해결하기 위하여 시간적 특성과 공간적 특징이 이용되었다. Dubuisson[1]은 두 프레임간의 컬러 영상 차이를 이용한 분리-합병 분할 기법으로 차량 영역을 검출하고, 이웃의 작은 영역을 그룹화하여 정확한 차량의 형상을 분리하였다. 두 측정 지점에서 검출된 다른 프레임의 두 개의 차량 형상은 연관 그래프 정합에 의해 정합을 시도하고, 일치하면 측정 지점의 거리를 두 프레임의 시간 차이로 나누어 속도를 산출하였다. Gloyer[2]의 고속도로 모니터링 기법에서는 차량을 배경 영상과의 차이에 의해 검출하고 추적하였다. 차량의 속도는 오프라인 영상 자료로부터 얻어진 도로의 3차원 모델에 추적 차량을 매핑하여 산출하였다. Ikeda[3]도 배경 영상을 이용하였으며, 겹쳐진 차량을 분해하기 위하여, 차영상에서 검출된 차량 증거의 정황 정보에 기반한 분리-병합 규칙을 이용하였다. 차량의 진행 방향에 수직인 영역에서 누적된 시공간 영상을 이용하여 차량의 속도를 측정하는 방법도 사용되었다[4-6].

2차원 혹은 3차원 모델에 기반한 차량 분류 기법들도 제안되었다. Koller[7]는 카메라의 위치와 회전각을 알고 있다는 가정하에서, 단원 3차원 스피라인으로 표현된 차량의 형상을 후보 영역의 수직 좌표와 비교하여 차량을 검출하였다. 모델과 물체와의 2차원 변환 계수들은 단일 차량의 Hough 공간에서 계산하거나[8] 특징점 기반 정합으로 얻을 수 있다[9,10]. 3차원 모델을 이용하는 기법에서, Kollnig[11]는 칼만 필터 구조에서 MAP(Maximum a Posteriori) 추정을 이용한 3차원 자세 추정을 하기 위하여, 다음 프레임의 관심 영역과 선분 모델을 정합하였다. 또한, 광류의 군집화에 의한 ASSET-2 시스템[12]은 병렬 처리기를 이용하여 움직이는 물체를 검출하고 추적하였다.

위에서 언급된 대부분의 기술들은 전체 영상을 처리

하기 때문에 연산량이 많아서 실시간 처리를 위해서는 병렬 처리 하드웨어를 사용하여야 한다. 또한, 교통량이 많거나, 긴 그림자가 걸쳐 있는 경우, 혹은 차량이 겹쳐서 보여지는 경우에는 배경 영상 감산 기법을 적용하여 정확한 차량 영역을 검출하기 어렵다.

상용 시스템으로는 WADS(Wide Area Detection System)[13]과 Autoscope[16,17]를 들 수 있으며, 차량의 진행 방향으로 미리 설정된 두 개의 검지 영역에서 차량을 검출하는 기법이다. 단지 작은 국부 영역만 처리하므로 병렬 처리 하드웨어 없이도 실시간 처리가 가능하다. 만일 그림자의 영향이 작고 교통량이 많지 않다면 차량은 정확히 검출될 수 있으며 차량 계수, 속도, 길이, 차간 거리와 도로 점유율과 같은 교통 정보를 허용하는 오차 범위 내에서 정확히 산출할 수 있다. 그러나 그림자의 영향이 크거나 정체 상황이 발생하면 검출 오류는 크게 증가한다. 스테레오 비전을 이용하여 그림자 영역을 처리하는 기법[14,15]이 있으나 두 대의 카메라와 정확한 보정이 필요하다.

본 논문에서는 단일 프레임에서 차량을 정확히 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 위에서 언급된 문제점들을 해결할 수 있으며 아래와 같은 특징을 가진다.

- 1) 배경 영상을 사용하지 않는다.
- 2) 단일 프레임 영상의 정적인 정보만 사용한다.
- 3) 그림자의 방향과 크기의 정보를 사용하지 않고 그림자를 처리하는 강력한 능력을 가진다.
- 4) 심하게 겹치지 않는다면 겹쳐진 차량도 분리한다.
- 5) 사용자가 입력하는 설정 값의 종류를 최소화한다.
- 6) 실시간 처리가 가능한 처리 속도를 가진다.

2. 영상 변환

본 논문에서는 그림 1과 같이 동작 환경이 다른 11곳에서 교통 영상을 획득하여 실험하였다. 이 영상들은 카메라 방향, 거리, 교통량과 그림자 조건이 다르며 이러한 동작 환경을 표 1에서 보인다.

에피폴라(epipolar) 기하[19]를 이용하여, 그림 2와 같이 교통 영상을 차량의 진행 방향이 수직 방향이 되도록 변환한다. 에피폴라 라인은 도로의 좌우 경계선을 이용하여 초기에 수동으로 설정한다. 또한, 도로 외부의 영역은 활성 영역 경계(active region boundary)를 지정하여 제거한다. 변환된 영상의 수직 좌표에 비례하여 차량의 길이가 나타나므로, 본 논문에서 수직 좌표 y 에 대한 정규화된 길이 대 폭의 비율($R(y)$)을 식 (1)과 같이 정의한다. 식 (1)에서 R_{min} 과 R_{max} 는 각각 변환된 영상의 상, 하의 위치에서 설정된 일반적인 승용차의 길이 대 폭의 비율이고 H 는 변환된 영상의 높이이다.

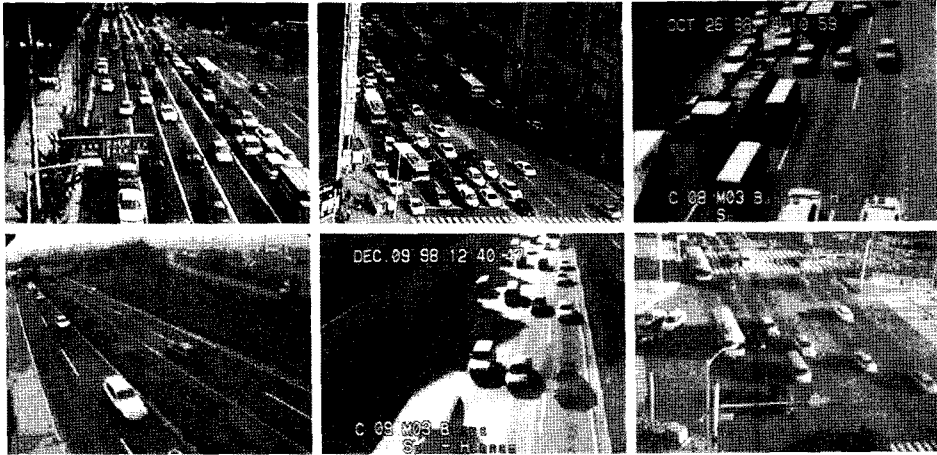


그림 1 실험에 사용된 대표적인 교통 영상

표 1 그림 1의 교통 영상의 동작 조건(그림의 순서는 좌상에서 우하 방향)

실험군	카메라 방향	거리	정체	그림자
1	left	medium	high	minor
2	left	long	high	minor
3	right	short	high	medium
4	left	medium	low	minor
5	right	medium	medium	severe
6	left	long	medium	severe

$$R(y) = \frac{R_{max} - R_{min}}{H} y + R_{min} \quad (1)$$

본 논문에서는 검출된 차량의 길이를 측정하기 위하여 정규화된 길이 비율(μ)을 식 (2)와 같이 정의하여 사용한다. 식 (2)에서, B 는 일반적인 승용차의 폭이고, D 는 검출된 차량의 길이이고, y 는 수직 좌표이다.

$$\mu(D, y) = \frac{D}{R(y)B} \quad (2)$$

차량의 길이가 다양함을 고려하여, μ 가 0.7에서 1.3의 범위는 승용차와 같은 소형차로, 1.5에서 2.0의 범위는 버스나 트럭과 같은 대형차로 지정한다.

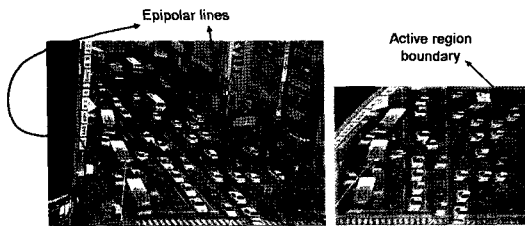


그림 2 에피폴라 기하와 활성 영역 경계를 표시한 변환된 영상

3. 그림자 분류

그림자 정보는 교통 영상을 낮은 임계치에 의해 이진화된 영상에서 얻을 수 있다. 국부적인 조명 조건이 다르므로 전역 임계치를 사용해서는 국부적인 그림자를 정확히 분리하기 어렵다[20]. 그림 3에 보인 것과 같이 낮은 임계치는 인접한 차량의 그림자를 분리하는데 효과적이나 그림자 형상을 찾지 못하거나 분리되어 나타날 수 있다. 높은 임계치를 이용하는 경우에는 근접한 그림자 영역이 병합되어 나타나므로 그림자 형상을 분리할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 다중 임계치를 이용하여 그림자 형상을 분리한다. 각 임계치에 의해 얻어진 분리된 어두운 증거는 6개중의 한 가지 그림자 형상으로 분류한다. 그리고 그림자 형상의 우선권 정보를 이용하여 확실한 그림자 형상을 선택한다. 실험에 의해 국부 조명 조건에 관계없이 3개의 임계치에 의해 그림자 형상을 정확히 분리할 수 있었으며, 히스토그램의 하위 5%, 10%와 15% 위치를 임계치로 결정하였다. 그림 3은 이러한 임계치에 의해 이진화된 결과를 보여준다. 이진화된 영상은 연결 영역 라벨화[18]에 의해 분리된 증거 영역의 위치를 찾고, 작은 연결 영역은 잡음 영역이므로 제거한다.

동작 조건에 따라서 다양한 그림자 형상이 나타나므로, 본 논문에서는 표 2와 같은 6개의 그림자 형상으로 나누어 그림자 형상을 찾는다.

3.1 L 형상 그림자(L-shaped shadow)

일반적인 조명 조건에서, 차량의 그림자는 차량 바로 아래에서 검출할 수 있으며, 카메라가 도로의 왼쪽에서 보고 있으면 L자 형상이 나타나고 오른쪽 방향이면 역L자 형상이 나타난다. 이것은 차량의 아래와 측면에 나타나는 그림자의 형상이 연결되어 나타나기 때문이다. 연



그림 3 임계치를 이용한 이진화에 의해 얻어진 그림자 영역

표 2 그림자 종류와 우선권

그림자 종류	우선권(priority)
L-shaped shadow	5
Window shadow	4
Hollow shadow	3
Side shadow	2
Unshaped dark evidence	1
Invalid shadow	0

결 영역으로 분리된 그림자는 수평 투영에 의해 그림 4와 같이 변이점(transition point)을 찾는다. 변이점은 최대 투영 크기의 절반보다 작은 위치로 지정하였고, D 는 위에서 변이점까지의 수직 거리이다. 만일 D 의 길이가 충분히 길다면 이 형상은 L 형상 그림자로 분류한다. 일반적으로 측면 그림자는 차량 길이의 30%보다 길기 때문에, $\mu(D) > 0.3$ 의 조건을 이용한다. 그림 4의 두 번째 줄에 표시된 영상과 같이 긴 그림자 영역에 대해서도 변이점은 정확히 차량의 아래 부분 위치가 된다. 변이점을 찾은 후, 그림자 형상은 수직 방향으로 투영한다. 최대 수직 투영 위치가 오른쪽에 있다면 그림자는 L 형상으로 분류한다. 이때, 차량의 정확한 위치를 검출

하기 위하여 그림 4와 같이 변이점을 기준으로 잘려진 그림자 영역에 대해서 수직으로 투영한다. 도로의 왼쪽에 카메라가 설치된 경우도 동일한 방법에 의해 최대 수직 투영 위치가 왼쪽에 나타나게 된다. 그림 4의 마지막 영상과 같이 수직으로 길게 나타나는 조각과 수평으로 길게 나타나는 조각도 L 형상 그림자로 분류한다. 이러한 경우는 낮은 임계치를 적용한 경우에 나타날 수 있다.

3.2 창 그림자(window shadow)

조명이 영상의 측면에 정확히 비추고 있으면 그림자는 조명의 반대 방향에 나타나고 L 형상은 관측되지 않는다. 그림 5와 같이 차량의 창은 일반적으로 작고 어두운 증거를 나타낸다. 이러한 창 영역의 증거는 차량의 존재를 판단하는데 사용할 수 있다. 작고 어두운 증거와 왼쪽 또는 오른쪽의 어두운 증거(차량 그림자)에 의해 창 그림자를 분류한다. 그림 5와 같이 조명이 오른쪽에서 정확히 비추고 있으면 창 그림자에 대응되는 차량의 그림자는 왼쪽에 나타난다. 이런 쌍이 검출되면 차량의 정확한 위치를 찾기 위하여, 그림 5의 마지막 영상과 같이 창 그림자는 차량의 그림자 영역만큼 확장한다.

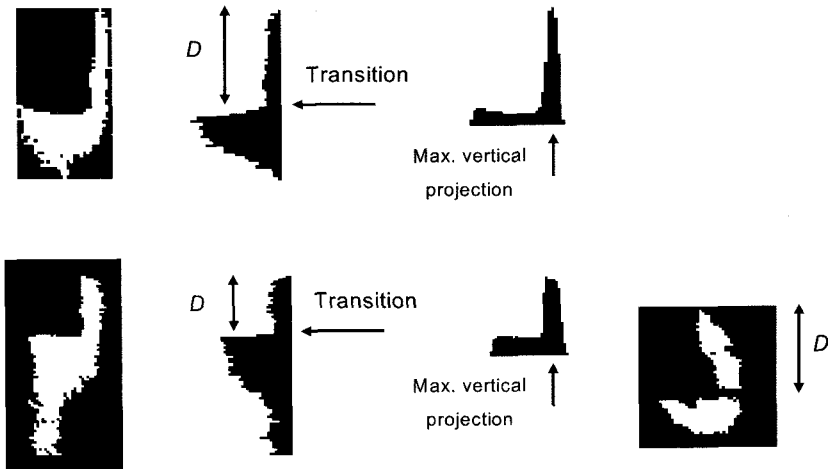


그림 4 L 형상 그림자 판별 : 역L 형상 그림자, 수평 투영, 수직 투영(상), 역 L 형상 그림자, 수평 투영, 수직 투영, 분리된 그림자 형상(하)

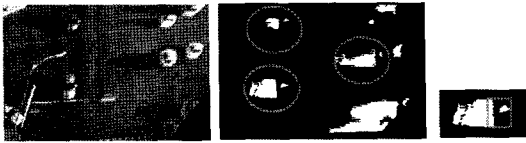


그림 5 창 그림자의 검출과 위치 지정

3.3 빈 그림자(hollow shadow)

대형 차량이나 건물의 큰 그림자 내부에 차량이 존재하는 경우, 어두운 영역은 그림 6과 같이 빈 형상을 가지게 된다. 각 연결 영역에 대해서, 수평으로 비어있는 긴 조각을 찾고 차량의 폭과 비교하여, 수직으로 연속적인 빈 조각이 존재하면 빈 그림자로 분류한다.



그림 6 빈 그림자 검출

3.4 측면 그림자와 무형상의 어두운 증거(side shadow and unshaped dark evidence)

만일 수평으로 그림자가 나타나고 L 형상의 특징이 발견되지 않는다면, 이것은 밝은 차량의 측면 그림자이거나 특정한 형상을 갖지 않는 어두운 차량의 증거 영역이다. 그림 7은 어두운 차량과 밝은 차량이 긴 수평 그림자로 연결되어 있는 경우로 위의 두 가지 경우가 모두 나타난다. 차량의 밝기에 관계없이 차량 주위에 그림자 영역이 나타난다는 사실을 기반으로 차량 위치를 검출할 수 있다. 이러한 그림자는 카메라가 왼쪽에서 보고 있으면 차량의 왼쪽에서, 오른쪽이면 차량의 오른쪽에 나타난다. 이러한 근거를 기반으로 그림 7과 같은 다중 레벨 추론 기법을 사용하여 측면 그림자와 무형상의 어두운 증거를 검출한다. 이 기법을 카메라가 왼쪽에서 보고 있는 경우에 대해서 기술한다.

높은 임계치에서 발견된 영역의 i 번 째 경계 박스를 λ_{high}^i 로 표현하고, λ_{high}^i 와 겹치는 낮은 임계치에서 발견된 영역의 k 번 째 경계 박스를 λ_{low}^k 로 표현한다. λ_{low}^k 는 차량의 좌측 위치를 가지고 있다. 그림자 우측에 밝은 증거들이 몇 개 있다면 이것은 밝은 차량에 의해 나타난 것이다. 그러므로 λ_{low}^k 의 우측 좌표로 차량의 좌측 위치를 결정하고 측면 그림자로 분류한다(그림 8). 그림자 우측에 밝은 증거가 검출되지 않는다면, 이것은 어두운 차량과 연결되어 있다. 따라서, 차량의 좌측 위치는 λ_{low}^k 의 좌측 위치에 의해 결정하고 무형상의 어두운 증

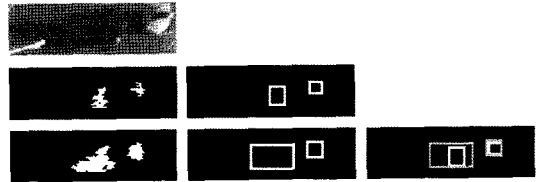


그림 7 측면 그림자와 무형상의 그림자를 검출하기 위한 다중 레벨 추론 국부 영상(상), 낮은 임계치에 의해 이진화된 영상, 경계 박스(중), 높은 임계치에 의해 이진화된 영상, 경계 박스, 중첩된 경계 박스(하)

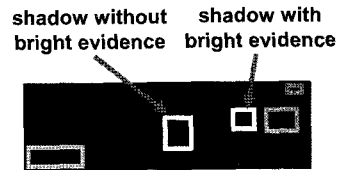


그림 8 측면 그림자와 무형상의 어두운 증거 결정: 측면 그림자는 밝은 증거와 연관되어 있으며, 무형상의 어두운 증거는 그렇지 않다.

거로 분류한다. 만일 L 형상이 나타나지 않는다면 어두운 차량은 이와 같은 그림자 특성을 가진다.

3.5 무효한 그림자(invalid shadow)

만일 어두운 증거 영역이 위에서 기술된 5가지 종류에 포함되지 않는다면 무효한 그림자로 지정한다. 일반적으로 이러한 영역의 폭과 높이는 근접한 그림자와 병합되어 크게 나타나며, 정확한 그림자는 낮은 임계치에서 추출된다.

3.6 다중 임계치에 의한 그림자 종류 선택

국부적인 조명 조건의 변화 때문에 전역 임계치로는 최적의 그림자 형상을 분할하지 못한다. 따라서 각 임계치 레벨에서 얻어진 연결 영역은 표 2에 나타난 6개의 그림자 종류로 분류하고, 겹쳐진 그림자 영역은 높은 우선권을 가진 영역을 우선적으로 아래와 같이 선택한다.

다중 임계치에 의한 그림자 종류 선택

단계 1 : 히스토그램의 하위 5%, 10%, 15%를 차지하는 위치의 밝기값을 $T[0]$, $T[1]$, $T[2]$ 의 임계치 레벨로 초기화한다.

단계 2 : for($i = 0$; $i < 3$; $i++$) {
 $T[i]$ 에 의해 입력 영상을 이진화한다.

연결 영역 라벨화를 수행한다.

연결 영역의 경계 박스를 $S_i = \{R_i^p, R_i^p, \dots, R_i^p\}$ 로 저장한다.

모든 경계 박스를 6개의 그림자 형상으로 분류한다.

```

}
단계 3 : for(i = 2 ; i >= 0 ; i--) {
  Si의 모든 경계 박스 Rij에 대해서 do {
    Rij와 겹쳐진 낮은 임계치(Si-1)에서의 경계 박스를
    Ri-1k로 지정한다.
    만일 Rij의 우선권이 0이면 무시한다.
    만일 Rij의 우선권이 Ri-1k보다 크면 Rij를 그림자로
    지정하고 Ri-1k를 제거한다.
  }
}

```

그림 9는 위의 기법에 의해 검출된 그림자 영역을 표시한 것이다. 각 임계치 레벨에서 경계 박스로 표현된 유효한 그림자들이다. 다중 레벨 그림자 종류 선택에 의해 높은 우선권을 가진 경계 박스가 선택된다. 차량이 매우 많이 중첩해서 보이지 않는다면, 그림 10과 같이 그림자의 방향과 교통 정체에 관계없이 정확한 그림자 영역을 검출할 수 있다. 만일 카메라가 오른쪽에서 보고 있다면, 오른쪽에 있는 차량(그림 10의 가장 우측 차량)은 측면 그림자가 나타나지 않으므로 L 형상의 그림자를 나타낼 수 없으며, 오히려 차량 밑에서 무형상 그림자를 나타내게 된다. 이와 같이 제안하는 방법은 차량의 존재에 대한 강력한 단서를 제공한다.

그림자 방향, 카메라 각도, 거리, 기상 상태, 시간대 등의 동작 조건이 다른 다양한 교통 영상에 제안한 그림자 분류 기법을 적용하였다. 그림 11에 그림자 검출의 결과를 보인다. 교통 정체가 심한 그림 11(a)와 (b)에서도 매우 정확한 그림자 검출이 가능함을 알 수 있다. 노출이 과다한 영상에서 밝은 차량에서는 그림자 정보가

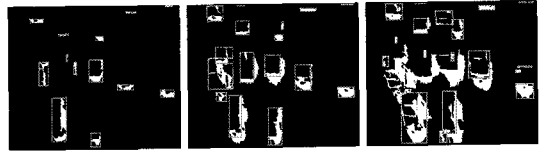


그림 9 각 임계치 레벨에서 그림자 종류 분류의 예

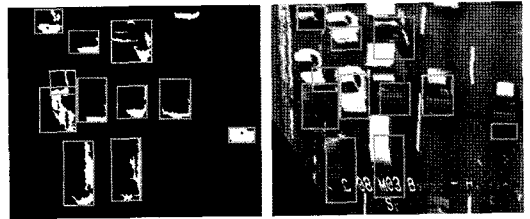


그림 10 다중 레벨 그림자 선택에 의해 검출된 그림자 영역

나타나지 않을 수 있다. 그러나 이러한 경우에는 그림자 정보를 이용하지 않고 밝은 증거 영역의 수직적인 연관성을 이용하여 차량을 검출할 수 있다. 이 기법에 대해서는 다음 장에서 기술한다. 영상 크기에 따른 처리 속도를 실험하기 위해 네 번째와 다섯 번째 실험 영상군에서는 작은 검지 영역에 대해 영상의 크기에 관계없이 높은 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 영상 크기를 줄이면 처리 속도는 아주 빨라진다. 예를 들어, 팬티엄 IV PC(2.4GHz)에서 220×80의 영상의 차량 검출 과정은 0.014초의 CPU 시간이 필요하였다. 이것은 초당 70프레임 이상의 처리가 가능한 시간이다. 따라서 연속적인 프레임에서 검출된 차량을 추적하여 실시간으로 차량의 속도를 산출하는 것이 가능하다.

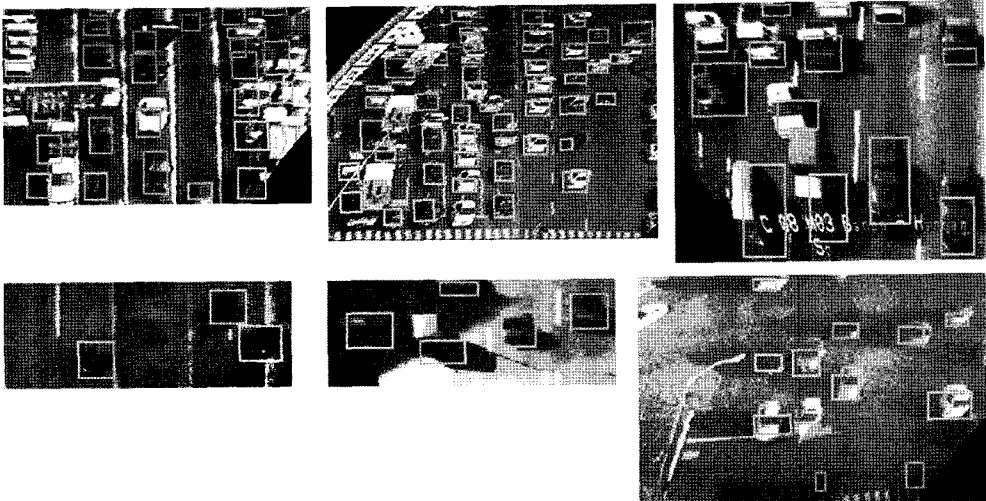


그림 11 표 1의 교통 영상에 대한 그림자 검출의 예

4. 차량 검출을 위한 증거 추론

그림자 정보만으로 차량의 정확한 위치를 검출할 수 없으므로 그림자 정보와 밝은 영역 정보의 연관 관계를 이용해 차량의 크기와 위치를 검출한다. 밝은 차량의 경우에는, 그림자 위에 항상 밝은 영역이 존재한다. 어두운 차량의 경우에는, 반사 때문에 밝은 영역이 발견될 수도 있다. 국부 조명과 차량 밝기의 변화에 의해 밝은 영역을 간단한 임계치에 의한 이진화로 얻어내기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, DC-notch를 적용시켰다. DC-notch 필터는 이웃 영역 화소의 평균을 현재 화소의 밝기에서 빼준 것으로 국부적인 조명 변화를 균일하게 조정할 수 있다. 필터링된 영상의 히스토그램은 일반적으로 한 개의 봉우리를 가지므로, 밝은 영역의 증거는 히스토그램의 오른쪽 어깨를 임계치로 이진화된 영역으로 지정할 수 있다. 그림 12는 필터링된 영상과 히스토그램을 보여준다. 그림 13에 위의 방법으로 검출된 밝은 증거 영역의 예를 보인다.

그림 13(b)와 같이 밝은 증거와 그림자 영역을 같이 표시하면, 동일한 차량의 그림자 영역과 밝은 증거가 겹쳐서 나타나는 것을 볼 수 있다. 밝은 차량은 두 개의 밝은 증거가 수직적으로 쌓을 이루고 있으므로, 그림자 영역과 겹쳐진 쌓은 병합되어야 한다. 또한, 어두운 차량은 그림자 영역만 존재할 수 있다.

위에서 관측되는 사실에 기반하여, 그림자 영역과 연관된 밝은 증거를 찾기 위해 그림자 영역을 확장한다.

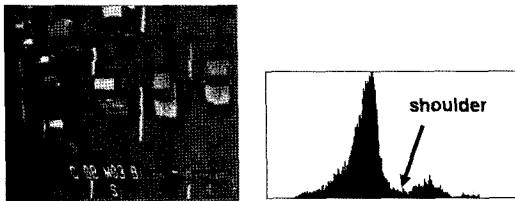


그림 12 DC-notch 필터에 의해 필터링된 영상과 히스토그램

일반 승용차의 정규화된 길이 비율(μ)은 1이므로, 그림자 증거를 위쪽 방향으로 $\mu = 0.8$ 만큼 확장하고, 카메라가 도로의 왼쪽(오른쪽)에서 보고 있으면 오른쪽(왼쪽)으로 일반적인 승용차의 폭(B)만큼 확장한다. 그림 14에서 확장된 그림자 영역과 겹쳐지는 밝은 증거는 차량을 검출하기 위하여 그림자 영역과 병합된다. 그림 13(c)는 이러한 병합에 의해 검출된 차량 영역을 표시한 것이다. 이러한 간단한 증거 추론에 의해 교통 정체에 관계없이 거의 모든 차량들이 정확히 분할되는 것을 볼 수 있다.

또한, 과다 노출이 발생한 경우에는 밝은 차량의 그림자 정보가 나타나지 않을 수 있으나, 밝은 차량은 수직으로 연관된 두 개(후드와 지붕) 이상의 밝은 증거를 가진다. 따라서, 수직으로 나타나는 밝은 증거 쌓은 그림자 정보와 관계없이 차량으로 검출한다.

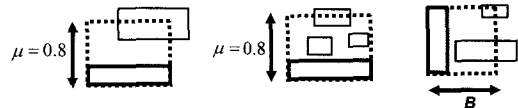


그림 14 연관된 그림자를 찾기 위한 그림자 영역의 확장

5. 실험 결과

본 논문에서 제안된 단일 프레임에서 차량을 검출하는 기법을 다양한 교통 영상에 대해서 실험하였다. 다른 카메라 각도, 거리, 기상과 시간대의 조건을 가지는 11 곳에서 실험 영상을 획득하였다. 사용자는 표 3에 나열된 4개의 설정값만 지정하면 된다. 그림 15는 검출 영역을 크게 설정한 경우의 결과이고 그림 16은 검출 영역을 작게 설정한 경우이다.

제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여, 그림 1에 보여진 각 영상군들에 대해서 임의로 100프레임의 영상을 선택하여 실제 차량의 수와 비교하였다. 미검출율(missing), 오검출율(false alarm)과 평균 CPU 시간 (펜티

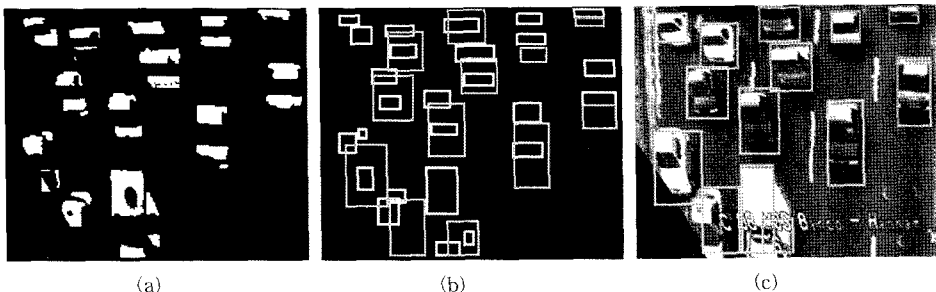


그림 13 밝은 증거와 그림자 영역의 상관 관계: (a) 밝은 증거, (b) 밝은 증거와 그림자 영역, (c) 검출된 차량 영역

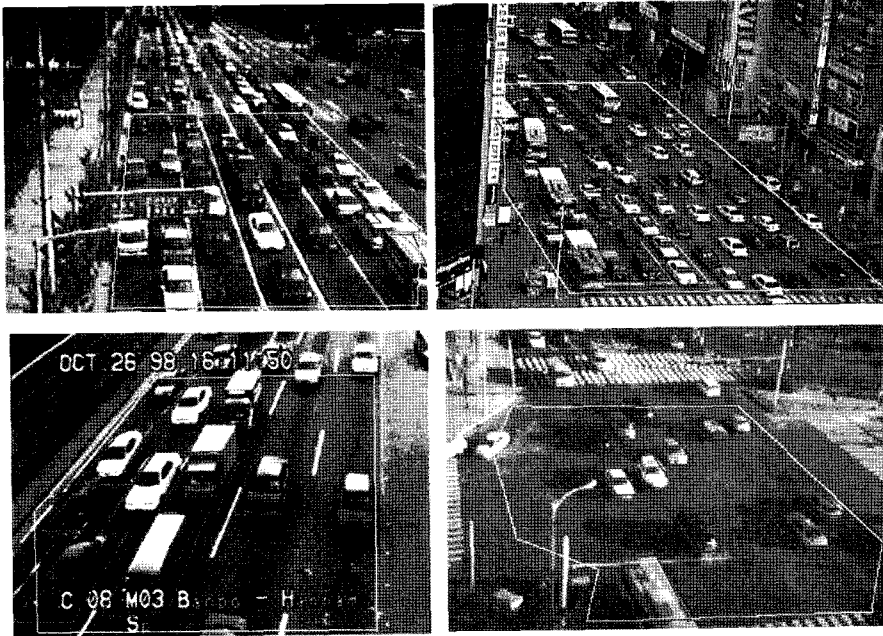


그림 15 검출 영역을 크게 설정한 경우의 차량 검출 결과

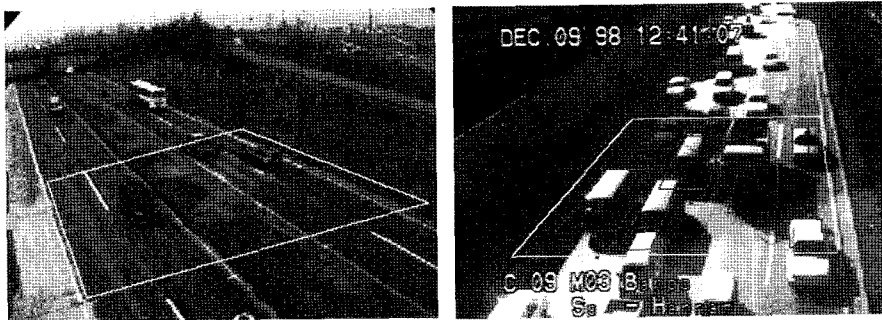


그림 16 검출 영역을 작게 설정한 경우의 차량 검출 결과

표 3 사용자 설정값

사용자 설정값	설명
Viewing direction	left or right
Width of normal passenger cars	In pixels
Height to width ratio at top	for normal passenger cars
Height to width ratio at bottom	for normal passenger cars

엄 IV, 2.4GHz)을 표 4에 나타냈다. 미검출율(γ_m)과 오검출율(γ_f)은 각각 식 (3)과 식 (4)와 같이 전체 실험 영상에서 존재하는 차량의 수(n_t)에 대해 검출하지 못한 차량의 수(n_m)와 차량으로 잘못 검출된 영역의 수(n_f)의 백분율이며, 각 프레임의 검출 결과를 수동으로 검증하여 평균적으로 산출하였다

표 4 6개의 실험군에서 차량 검출 성능

실험군	변환된 영상 크기	평균 차량수(1 frame)	미검출율	오검출율	CPU 시간 (초)
1	235×150	19.5	4.7%	2.5%	0.040
2	252×179	32.3	2.5%	2.1%	0.058
3	237×197	7.5	1.8%	2.2%	0.055
4	220×80	2.4	0.9%	1.8%	0.013
5	220×80	5.1	7.2%	3.5%	0.014
6	266×173	8.1	5.1%	3.2%	0.045

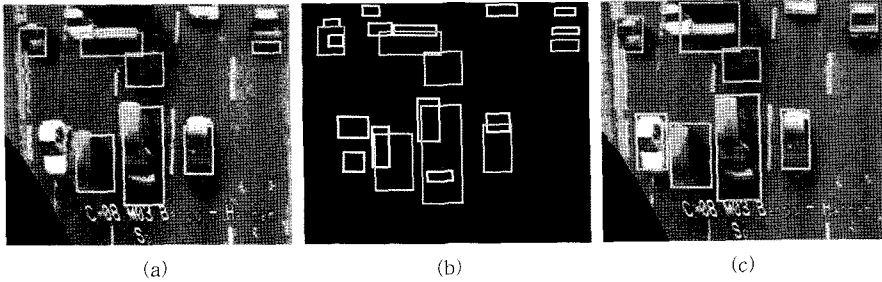


그림 17 대형 트럭에 대한 전형적인 오분류: (a) 그림자 영역, (b) 밝은 증거와 그림자 영역, (c) 차량 검출 결과

$$\gamma_m = \frac{n_m}{n_i} \times 100 \quad (3)$$

$$\gamma_f = \frac{n_f}{n_i} \times 100 \quad (4)$$

1번 실험군에서 영상의 위쪽에 있는 몇 대의 어두운 차량은 낮은 영상의 해상도로 인해 검출하지 못하였으나, 교통 정체가 심한 경우에도 차량이 정확히 분할되었다. 이것은 제안하는 그림자 분류가 차량 검출을 위한 매우 효율적인 기법이라는 것을 보여준다. 2번과 3번 실험군에서는 아주 우수한 결과를 보였으며, 교통량이 가장 작은 4번 실험군은 가장 우수한 결과를 나타냈다. 그림자가 많이 존재하는 5번과 6번 실험군에서는 미검출 차량이 가장 많았다. 이것은 건물의 큰 그림자가 존재하거나 차량이 그림자로 둘러싸인 경우에는 그림자 형상이 명확히 나타나지 않는 경우도 있기 때문이다.

모든 실험군에서 오검출율은 모두 4%이하이며, 대부분 대형 트럭과 같이 복잡한 형상을 가지는 차량에서 나타났다. 그림 17에서 대형 트럭의 그림자 형상이 두 개로 분리되어 오분류를 보였다. 일반적인 승용차와 달리 이런 대형 트럭은 뚜렷한 형상적 특징을 가지고 있지 않기 때문에 이러한 오류를 해결하기는 매우 어렵다.

처리 시간은 영상의 크기에 비례하는 것을 볼 수 있다. 작은 검출 영역이 사용된 4번과 5번 실험군에서는 초당 70프레임이상의 처리가 가능하므로 통과 차량 계수, 차량 속도, 길이와 차간 거리 등을 실시간으로 산출할 수 있다. 또한, 차량의 수는 처리 시간에 영향을 주지 않았다. 연속적인 프레임에서 검출된 차량을 추적한다면 오류를 수정할 수 있을 것이며 높은 정확도와 안정성을 가지는 교통 모니터링 시스템으로 사용될 수 있을 것이다.

6. 결론

본 논문에서 단일 프레임에서 차량을 검출하는 새로운 기법을 제안하였다. 다중 레벨 그림자 분류는 교통 영상에서 차량의 위치에 대한 신뢰성이 높은 정보를 제

공한다. 각 임계치 레벨에서 그림자 형상을 6개의 종류로 분류하고 높은 우선권을 가지는 그림자 형상을 선택하였다. 카메라의 각도, 거리, 정체의 정도가 다양하게 변화되는 상황에서도 정확한 그림자 정보를 추출하였다. 다른 기법들과 다르게 프레임간의 정보를 이용하지 않았으므로 정지한 차량들에 대해서 정확한 교통 정보를 산출할 수 있다.

그림자 분류는 차량 존재를 검출하는 강력한 단서를 제공하는 것을 보였다. 밝은 증거 영역과의 연관성을 이용하여 정제된 상황에서도 높은 정확도로 차량을 검출할 수 있다. 다양한 교통 영상에 대한 실험에서 0.9에서 7.2%의 미검출율과 4%이하의 오검출율을 보였으며, 처리 시간도 실시간 동작이 충분히 가능하다. 연속된 프레임에서 검출된 차량에 대한 추적이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Dubuisson M, Jain AK and Taylor W, "Segmentation and matching of vehicles in road images," Transportation Research Record 1412, pp. 57-63, 1992.
- [2] Gloyer B, Aghajan HK, Siu K and Kailath T, "Video-based freeway monitoring system using recursive vehicle tracking," Proc. SPIE, Image and Video Processing, pp. 173-180, 1995.
- [3] Ikeda T, Ohnaka S and Mizoguchi M, "Traffic Measurement with a Roadside Vision System," IEEE Proceedings of ICPR '96, pp. 859-864, 1996.
- [4] Nakanishi T and Ishii K, "Automatic vehicle image extraction based on spatio-temporal image analysis," Proc. 11th Intern. Conf. Computer Vision, pp. 500-504, 1992.
- [5] Blake A, Curwen R and Zisserman A, "A framework for spatiotemporal control in the tracking of visual contours," Intern. Journal of Computer Vision, Vol.14, No.1, pp. 83-105, 1995.
- [6] Koller D, Daniilidis K and Nagel H, "Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes," Intern. Journal of Computer

- Vision, Vol.10, No.3, pp. 257-281, 1993.
- [7] Koller D, Weber J and Malik J, "Robust multiple car tracking with occlusion reasoning," Proc. Third European Conference on Computer Vision, pp. 189-196, 1994.
 - [8] Tan TSullivan G and Baker K, "Pose determination and recognition of vehicles in traffic scenes," Proc. Third European Conference on Computer Vision, pp. 501-506, 1994.
 - [9] Roberts J and Charnley D, "Attentive visual tracking," Proc. British Machine Vision Conference, Guildford, UK, pp. 459-468, 1993.
 - [10] Zhang K, "Computation of vehicle trajectories using neural network," Proc. British Machine Vision Conference, Guildford, UK, pp. 489-498, 1993.
 - [11] Kollnig H and Nagel H, "3D pose estimation by directly matching polyhedral models to gray value gradients," Intern. Journal of Computer Vision, Vol.23, No.3, pp. 283-302, 1997.
 - [12] Smith SM and J.M. Brady JM, "ASSET-2: Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell., Vol.17, No.8, pp. 814-819, 1995.
 - [13] Schlutmeyer AP, et al., "Wide area detection system (WADS)," JPL Final Rep. for FHWA, pp. 83-115, 1982.
 - [14] Inigo RM, "Application of machine vision to traffic monitoring and control," IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol.38, No.3, pp. 112-122, 1989.
 - [15] Inigo RM, et al., "Machine vision applied to vehicle guidance," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell., Vol.6, No.6, pp. 820-826, 1984.
 - [16] Micalopoulos P and Wolf B, Benke R, "Testing and field implementation on the Minnesota video detection system (AUTOSCOPE)," Transportation Research Record 1287, pp. 176-184, 1990.
 - [17] Micalopoulos P, "Vehicle detection through video image processing: the AUTOSCOPE system," IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol.40, No.1, pp. 21-29, 1991.
 - [18] Pavlidis T, "Algorithms for Graphics and Image Processing," Computer Science Press, 1982.
 - [19] Luong QT and Faugeras OD, "The Fundamental matrix: theory, algorithms," and stability analysis, International Journal of Computer Vision, Vol.17, No.1, pp. 43-75, 1996.
 - [20] Park Y, "Shape-resolving local thresholding for object detection," Journal, Pattern Recognition Letters, Vol.22, No.8, pp. 883-890, 2001.
 - [21] Pal Nr and Pal SK, "A review on image segmentation techniques," Pattern Recognition, Vol.26, No.9, pp. 1277-1294, 1993.

이 대 호

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용
제 34 권 제 10 호 참조

박 영 태

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용
제 34 권 제 10 호 참조