

비전 기반 차량 검출 및 교통 파라미터 추출 (Vision Based Vehicle Detection and Traffic Parameter Extraction)

하 동 문 [†] 이 종 민 ^{**} 김 용 득 ^{***}
(Dong Mun Ha) (Jong Min Lee) (Yong Deak Kim)

요 약 다양한 그림자는 비전 기반 차량 검출에서 오류를 발생시키는 주요 원인이다. 본 논문에서는 노면 표시 기반 방법과 배경 빼기 및 에지(BS & Edge) 방법이라는 두 가지 방안을 차량 검출과 그림자 제거를 위해 제안하였다. 노면의 지형 지물들로 인해서 발생하는 그림자의 영향이 크게 증가하는 상황에서의 실험을 통해서 96% 이상의 차량 검출 정확도를 나타냄을 확인하였다. 전술한 두 가지 방법을 기반으로 하여, 차량 추적, 차량 계수, 차종 분류, 그리고 속도 측정을 수행하여 각 차로의 부하를 나타내는 데 사용되는 차량 흐름과 관련된 여러 가지 교통 파라미터를 추출하였다.

키워드 : 차량 검출, 그림자 제거, 교통 파라미터 추출, 교통 모니터링, 컴퓨터 비전, 지능형 교통 체계

Abstract Various shadows are one of main factors that cause errors in vision based vehicle detection. In this paper, two simple methods, land mark based method and BS & Edge method, are proposed for vehicle detection and shadow rejection. In the experiments, the accuracy of vehicle detection is higher than 96%, during which the shadows arisen from roadside buildings grew considerably. Based on these two methods, vehicle counting, tracking, classification, and speed estimation are achieved so that real-time traffic parameters concerning traffic flow can be extracted to describe the load of each lane.

Key words : Vehicle Detection, Shadow Rejection, Traffic Parameter Extraction, Traffic Monitoring, Computer Vision, ITS(Intelligent Transport System)

1. 서 론

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport System)는 도로, 차량, 신호시스템 등 기존의 교통체계 구성요소와 전자·제어·통신 등 첨단기술을 접목하여, 교통흐름을 원활히 하고, 구성 요소들이 상호 유기적으로 작동하게 함으로써 기존 교통시설을 효율적으로 이용하고 운전자의 편의성과 안정성을 극대화하는 차세대 교통정보 시스템이다. 교통 모니터링은 첨단교통관리체계(ATMS: Advanced Traffic Management System)에서 중요한 역할을 담당한다. 첨단 교통 관리 체계에서는 교통흐름과 관련된 교통 파라미터를 수집하여, 교통신호를 자동으로 제어하고 실시간 교통상황 정보를 교통 제어

기와 구동장치에 제공함으로써 교통 정체를 사전에 예방할 수 있다. 교통 파라미터는 지하 매설 루프 센서, 레이더, 적외선 검지기, 그리고 기타 센서를 통해서 획득할 수 있다[1]. 그러나, 이러한 센서로부터 획득한 신호중 대부분은 운영자가 인식 가능한 형태로 변환되어야 한다. 한편, 비디오 기반 시스템은 비디오 감시 카메라로부터 입력된 영상을 직접 관찰할 수 있기 때문에, 운영자에 의한 개입이 용이하다. 게다가, 한 대의 카메라와 프로세서로 여러 차로를 처리하는 것이 가능하므로, 영상 기반 시스템은 다른 몇몇 시스템에 비해서 상대적으로 적은 비용이 소요된다. 영상 기반 기술은 차량을 검지, 추적, 분류, 인식하는 것이 가능하기 때문에, 교차로와 고속도로의 감시 및 제어에 폭넓게 사용되고 있다. 그러나, 기존 영상기반 교통 감시 시스템들은 배경 갱신으로 인한 에러의 누적과 주변 밝기 조건 및 그림자의 영향에 민감하다는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 분석하고 이에 대한 해결책으로 노면 표시 기반 방법과 배경 빼기 및 에지 검출 방법을 결합한 배경 빼기 및 에지(BS &

[†] 학생회원 : 아주대학교 컴퓨터네트워크 연구실
chaboom@ajou.ac.kr

^{**} 비 회 원 : 아주대학교 교통연구소 연구원
leejim@comnet.ajou.ac.kr

^{***} 종신회원 : 아주대학교 전자공학부 교수
yongdkim@ajou.ac.kr

논문접수 : 2001년 11월 1일

심사완료 : 2003년 8월 13일

Edge:Background Subtraction and Edge Detection) 방법을 차량 검출과 그림자 제거를 위해 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다양한 영상 기반 차량 검출 방법들의 문제점 분석과 이의 해결책을 제안하였다. 교통 파라미터 추출은 3장에서 기술하였다. 그리고, 4장에서는 제안한 방법의 효율성을 증명하는 실험결과를 제시하였고 결론에 대해서는 5장에서 기술하였다.

2. 차량 검출

2.1 영상 기반 차량 검출 방식 분석

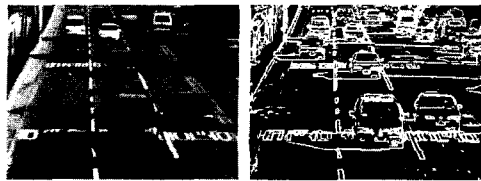
차량 검출은 교통 감시의 기본 요소로서, 다양한 서로 다른 접근방법에 의해서 구현되어왔다. 영상 기반 차량 검출을 위한 접근방법에는 그레이 수준 비교(gray-level comparison), 프레임간 빼기(inter-frame subtraction), 배경 빼기(background subtraction), 에지 검출 기반 방법 등이 있다. 영국의 TULIP(Traffic Analysis using a Low-cost Image Processing) 시스템에서는 그레이 수준 비교를 통한 차량 검출에 관한 연구를 수행하였다[2]. 그리고, 미국의 WADS(Wide-Area Detection System)[3], 영국의 TRIP(Traffic Research using Image Processing) 그룹[4,5], 벨기에의 CATS(Computer-Aided Traffic Sensor)[3], 그리고 일본의 IDSC(Image Data Scanner and Controller)[6,7] 등의 연구에서는 배경 빼기를 이용하여 차량을 검출하고자 하였다. 또한, 형태학적 에지 검출(Morphological Edge Detection) 방법과 이를 변형한 SMED(Separable Morphological Edge Detector)를 이용하여 차량을 검출하고자 하는 시도가 있었다[8-10]. 그레이 수준 비교는 노면과 차량에 대한 그레이 레벨 특징의 통계적인 변화를 이용하는 방식이지만, 환경적인 요소의 변화에 민감한 단점을 가지고 있다. 게다가, 아주 다양하게 변화하는 차량의 차체 색상으로 인해 차량의 그레이 레벨의 범위를 결정하기란 거의 불가능하다. 프레임간 빼기는 영상내의 정적인 부분을 제거하여 동적인 부분만을 추출하기 위해서 연속적인 두 영상간의 차(difference)를 구한다[11]. 그러나, 이 방법은 환경적인 요소의 변화로 인한 영향에는 강하지만, 정지한 차량을 추출하는 것이 불가능하다. 아울러, 프레임간 빼기의 결과는 차량의 속도에 의해서도 영향을 받는다. 너무 빠르거나 느린 속도로 주행하는 차량은 차량 추출에 있어서 오류를 발생시키는 요인이 될 수 있다. 배경 빼기는 배경영상과 입력영상간의 차를 구한다[12]. 배경 빼기 방법에서 차량 검출 결과는 평가 배경영상의 질에 크게 의존한다. 따라서 주변 밝기, 그림자, 그리고 기후 환경등의 변화에 적응하도록 배경 영상을 주기적으로 갱신해야 한다. 배경

빼기 방법의 문제점은 이러한 배경 갱신으로 인한 에지의 누적과 주변 밝기 변화에 민감하다는 것이다. 에지 정보는 주변 밝기가 변화하더라도 상당량이 여전히 남아있기 때문에 에지 기반 방법은 차량 검출을 위한 또 다른 접근방법으로 사용된다. 차량의 다양한 외형적 형태 요소, 표면 상태, 그리고 색상은 많은 에지를 생성한다. 비록 차량의 색상이 노면과 동일하다고 하더라도 더 많은 빛을 반사하기 때문에 이러한 방식을 사용하여 검출할 수 있다[8,10]. 그러나, 에지 검출 기반 방법은 에지가 선명하지 않은 경우, 특히, 짙은 색상의 차량이 그림자 영역에 존재할 때는 차량검출에 실패할 가능성이 매우 높다. 형태학적 에지 검출 또는 이를 변형한 SMED를 이용한 차량 검출 방법은 연산량의 감소로 인해 실시간 시스템을 구성하는 데는 유리하지만, 에지 검출 성능이 떨어지는 단점을 가지고 있어 차량 검출 확률이 상대적으로 낮다는 단점을 가지고 있다[8].

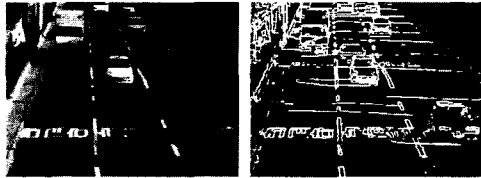
한편, 다양한 원인으로 발생하는 그림자는 영상기반 교통 감시 시스템들의 성능을 저하시키는 주된 원인이다. 일반적으로 그림자는 비활성 그림자(passive shadow), 활성 그림자(active shadow), 그리고 의사 활성 그림자(pseudo active shadow)의 세 가지 종류로 분류할 수 있다[13]. 비활성 그림자는 건물, 육교, 교통 신호 등과 같은 도로와 인접한 또는 도로상의 정적인 구조물에 의해서 발생한다. 활성 그림자는 주행하는 차량으로 인해 발생한다. 의사 활성 그림자는 본래는 정적인 물체이지만, 예를 들어 바람에 의해 흔들리는 나뭇가지처럼, 외부작용에 의해 움직일 수 있는 물체로 인해 발생한다. [14]의 연구에서는 이러한 그림자의 형태와 특성을 분석하여, 그림자로부터 차량을 구별해낼 수 있는 특징을 추출하고자 하였다. 이러한 특징에는 그레이 레벨 기반 참분산(true variance)과 절단 분산(truncated variance), 수평, 수직, 그리고 대칭 에지와 같은 에지 기반 특징, 그리고 차량 전면부의 다양한 외형적인 특징을 이용한 곡선 기반 특징이 포함된다. 이와 같은 특징에 기반해서, [14]의 저자는 그림자 제거를 위한 통합 알고리즘을 개발하였다. 그러나, 이는 복잡한 구현 과정에 비해서 그림자 제거 성능은 만족스럽지 못한 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전술한 것과 같은 영상기반 교통 감시 시스템의 문제점을 해결하기 위해서 다음과 같은 노면 표시와 에지 정보의 특징을 활용하는 방안들을 제안하였다.

2.2 영상기반 차량 검출방법 제안

본 논문에서는 전술한 문제점을 해결하기 위한 두 가지 방안을 제안하였다. 그중 하나는 노면표시 기반 차량 검출 방법이다. 그림 1(b)와 그림 1(c)에서 확인할 수 있듯이 노면 표시는 만일 그것이 차량에 의해서 가려져



(a) 입력 영상 (b) (a)의 에지 영상



(c) 입력 영상 (d) (c)의 에지 영상



(e) 노면표시의 에지에 대한 참조 영상



(f) (b)의 노면표시 영역에 대한 에지
 $M_1=0.65, M_2=0.35, M_3=0.71$

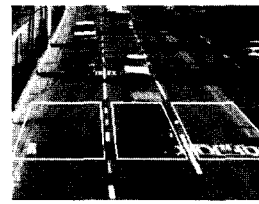


(g) (d)의 노면표시 영역에 대한 에지
 $M_1=0.65, M_2=0.60, M_3=0.26$

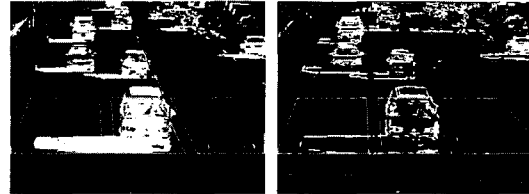
그림 1 노면표시 기반 차량 검출

있다면 보이지 않지만, 그렇지 않은 경우에는 그림자의 존재 유무에 상관없이 입력 영상 내에 여전히 남아있기 때문에, 그림자로 인해 발생하는 오류는 도로상의 노면 표시를 통해서 감소시킬 수 있다. 그러므로, 노면 표시는 비전 기반 차량 검출에서 기존의 유도성 루프를 시물레이션하기 위해서 사용될 수 있다. 에지 검출은 노면 표시 세그멘테이션보다 조도 변화에 강하므로, 도로상의 노면 표시를 검출하기 위해서 사용된다. 본 논문에서는 각 차로상에 존재하는 노선 안내 문자를 노면 표시로 사용하였다.

다른 한가지 방법은 배경 빼기와 에지 검출방법의 장점만을 취한 배경 빼기 및 에지 방법이다. 이를 위해서 먼저 주변 밝기 변화에 민감한 배경 빼기의 문제점을 해결하기 위해서 배경 조정방법을 제안하였다. 즉, 배경 빼기에서는 신뢰성 있는 배경 영상을 획득하는 것이 매우 중요하다. 연속적인 프레임의 평균 조도는 때때로 급격히 변화할 수 있고, 이는 배경영상과 입력영상간의 조도 불일치를 유발하여 배경 빼기의 결과에 영향을 미칠 수 있다. 그림 3에서 이러한 예를 보여주고 있고, 두 개의 연속적인 프레임의 평균 조도는 각각 73.14와 96.74이다. 그림 3(e)는 배경영상과 입력영상간의 이진 차이 영상을 나타내고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 먼저 현재 입력 프레임 C' 의 평균 조도 $ALum$ 을

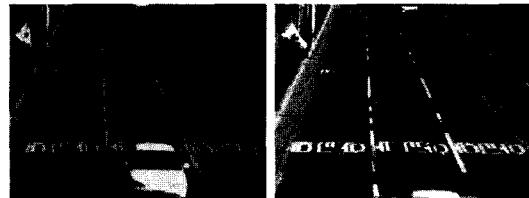


(a) 입력 영상



(b) 배경 빼기 (c) 에지 검출

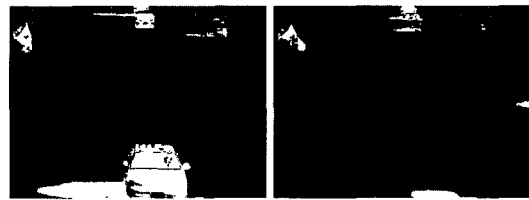
그림 2 배경 빼기와 에지 검출 방법에서의 그림자 제거 결과(에지 검출 방법이 효과적)



(a) 프레임 C^{t-1} 평균조도 = 73.14 (d) 프레임 C^t 평균조도 = 96.74



(b) 배경빼기 (BS) (e) 배경빼기 (BS)



(c) 개선된 배경 빼기 (f) 개선된 배경 빼기

그림 3 연속적인 두 프레임간의 급격한 평균 조도 변화에 의해 발생하는 오류 검출

계산하여, 이를 직전 프레임 C^{t-1} 의 평균 조도값과 비교한다. 만일 두 영상간의 평균 조도 차 DA_{Lum} 이 일정한 경계 값 이상이라면, 배경영상의 각 픽셀 값에 이차만큼을 가산함으로써, 입력영상의 조도변화에 대응하도록 한다. 이를 배경조정 방법이라 한다. 그림 3(c)와 그림 3(f)는 선택적 배경 갱신 방법을 적용한 개선된 배

경 빼기를 이용해서 획득한 차이 영상을 나타내고 있으며, 그림 3(f)가 차량 검출에 있어서 그림 3(e)보다 더 효과적이다. 그런데, 그림 2(b)를 통해서 알 수 있듯이 배경 빼기는 현재 입력영상과 배경영상의 차이를 구하는 방식이므로 비활성 그림자의 영향은 제거할 수 있지만, 인접 차로를 주행하는 다른 차량에 의해서 발생한 활성 그림자를 차량으로 검출하는 오류를 발생시킨다. 한편, 그림 2(c)의 에지 영상을 보면 차량에서 발생하는 에지 픽셀의 수가 그림자의 그것보다 훨씬 많다는 것을 확인할 수 있다. 이는 차량의 다양한 외형적 형태 요소, 표면 상태, 그리고 색상 등이 많은 양의 에지 정보를 발생시키기 때문이다[8,10]. 따라서, 배경 빼기 방법과 에지 검출 방법의 장점만을 취하면 비활성 및 활성 그림자를 효과적으로 제거할 수 있다. 위에서 제안한 두 가지 방법의 처리과정을 정리하면 다음과 같다.

2.2.1 노면 표시 기반 차량 검출

그레이 스케일 입력 영상 $\{C_{i,j}\}$ 에 대해서, 화소 $C_{i,j}$ 의 에지 강도 함수는 다음 수식

$$d_{i,j} = \max\left\{\frac{1}{m} \sum_{y=j-1}^{j+1} w_y |C_{i-1,y} - C_{i+1,y}|, \frac{1}{m} \sum_{x=i-1}^{i+1} w_x |C_{x,j+1} - C_{x,j-1}|\right\} \quad (1)$$

으로 표현되고, 여기서 w_x 와 w_y 는 에지 검출을 위해서 사용한 연산자에 따라 달라지는 계수이다. Sobel 연산자의 경우에, 이것들은 $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ 가, 되고, $m=4$ 이다. 이진 에지 영상 $\{E_{i,j}\}$ 는 경계값을 적용하여 얻는다.

$$E_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } d_{i,j} > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, T 는 전역 경계값 또는 지역 경계값으로 선택될 수 있다. 본 논문에서, T 는 다음과 같은 지역 경계값으로 정의된다.

$$T = \alpha + \log_2 d_{i,j}, \quad (3)$$

여기서, α 는 경계값의 하한을 나타내는 상수이다(실용적으로 $\alpha=23$). 그림 1(a)와 그림 1(c)는 두 개의 그레이 스케일 입력 영상이고, 여기에서 노면 표시는 주행 차량에 의해서 가려지거나, 그림자가 드리워져 있거나, 또는 전혀 가려지지 않은 상태이다. Sobel 연산자를 사용하여 획득한 에지 영상은 그림 1(b)와 그림 1(d)이다.

이진 에지 영상을 획득한 후에, 노면 표시 영역을 참조 영상과 비교하여 이들이 서로 일치하는지의 여부를 판단한다. 노면 표시 영역의 참조 영상을 그림 1(e)에 나타내었고, 여기서 흰색 화소는 노면 표시의 에지이고, 흰색 화소를 둘러싼 주위의 검정색 화소는 각 차로의 노면 표시 영역의 범위를 한정한다. 차로 n 의 이진 참

조 영상 $\{R_{x,y}\}$ 과 해당 노면 표시 영역의 이진 에지 영상 $\{E_{x,y}\}$ 에 대해서, 일치(matching)는 다음 수식을 통해서 계산된다.

$$W_n = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x,y}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x,y}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (4)$$

여기서, \bar{R} 은 R 의 보수(complement)이다. W_n 은 일치하는 흰색 화소의 수와 차로 n 의 참조 영상내의 전체 흰색 화소 수의 비율, 즉 흰색 화소의 일치 정도를 나타낸다. 유사하게 B_n 은 일치하는 검정색 화소 수와 참조 영상 내의 전체 검정색 화소 수의 비율로서 정의되는 검정색 화소의 일치 정도이다. 최종적인 일치 함수는 다음 식으로 정의된다.

$$M_n = W_n \times B_n, \quad (5)$$

카메라의 흔들림은 위에서 기술한 노면 표시 기반 차량 검출 방법에서 오류를 발생시킬 수 있는데, 그 이유는 이러한 경우에 입력 영상내의 노면 표시의 위치가 참조 영상내의 위치와 달라질 수 있기 때문이다. 차량 검출의 정확도를 향상시키기 위해서, 흰색과 검정색 화소의 일치 정도 계산을 다음 수식에서와 같이 5가지 경우, 즉 카메라의 움직임이 없는 경우 그리고 노면 표시가 상하좌우로 이동된 경우에 대해서 수행하였다.

$$W_n^0 = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x,y}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n^0 = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x,y}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (6)$$

$$W_n^1 = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x-1,y}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n^1 = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x-1,y}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (7)$$

$$W_n^2 = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x+1,y}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n^2 = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x+1,y}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (8)$$

$$W_n^3 = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x,y-1}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n^3 = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x,y-1}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (9)$$

$$W_n^4 = \frac{\sum_{x,y} R_{x,y} \times E_{x,y+1}}{\sum_{x,y} R_{x,y}}, \quad B_n^4 = \frac{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y} \times \bar{E}_{x,y+1}}{\sum_{x,y} \bar{R}_{x,y}} \quad (10)$$

최종적인 일치 함수 M_n 역시 다음과 같이 수정된다.

$$M_n = \max\{W_n^0 \times B_n^0, W_n^1 \times B_n^1, W_n^2 \times B_n^2, W_n^3 \times B_n^3, W_n^4 \times B_n^4\} \quad (11)$$

그림 1(f)와 그림 1(g)는 그림 1(a)와 그림 1(c)에 있는 세 개 차로에 대한 노면 표시 영역의 에지 영상과 해당 세 차로의 일치 정도를 나타내고 있다. 이를 통해서, 노

면 표시가 차량에 의해서 가려진 차로 n의 M_n 이 빈 차로의 그것보다 훨씬 작다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로, 차량 검출은 아래의 수식을 통해서 수행될 수 있다.

$$V_n = \begin{cases} 1, & \text{if } M_n < Th \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

여기서, Th는 경계값이고, $V_n=1$ 이라는 것은 현재 입력 영상에서 차로 n의 노면 표시 영역을 통과하는 차량이 존재함을 나타낸다.

차량 검출을 위한 노면 표시 검출 기반 방법은 프레임 간 빼기와 배경 빼기와 같은 비전 기반 차량 검출 방법에서 심각한 문제점으로 지적되는 그림자의 영향을 제거하는 데 매우 효과적이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 노면 표시가 차량에 의해서 가려지지 않은 경우 비록 노면 표시의 전체 또는 일부가 활성 또는 비활성 그림자 영역내에 존재하더라도, 이때의 M_n 은 차량에 의해서 가려진 노면 표시 영역으로부터 계산된 값과 상당한 차이를 나타낸다. 노면 표시가 단순하고 선명할수록 차량 검출의 정확도가 증가한다는 것은 명백한 사실이다.

2.2.2 차량 검출을 위한 배경 빼기 및 에지 방법

노면 표시 기반 차량 검출은 노면상에 특수한 표시를 해야할 필요가 있기 때문에, 노면상에 표시가 존재하지 않는 곳에서 차량을 검출하기에는 부적합하다. 게다가, 이 방법은 작은 영역, 즉 노면 표시 영역내의 차량만을 검출할 수 있고, 또한 차량을 추적할 수 없다. 그러나, 배경 빼기 및 에지 방법은 임의의 크기를 갖는 감시 윈도우 전체를 대상으로 차량 검출을 수행하기 때문에 이

러한 문제점을 해결할 수 있다. $\{C_{i,j}^t\}$ 와 $\{B_{i,j}^t\}$ 를 각각 시간 t에서 현재 입력 영상과 배경 영상이라고 하면, 그림 4는 제안한 배경 빼기 및 에지 방법의 처리 과정을 나타내고 있고, 이에 대한 설명은 아래와 같다.

1) 배경 조정은 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다. 현재 입력 영상 $\{C_{i,j}^t\}$ 와 직전 입력 영상 $\{C_{i,j}^{t-1}\}$ 의 평균 조도와 이들 평균 조도 사이의 차이 DALum을 계산하고, 만약 $|DALum| > th$ 이면(단, 여기서 th는 경계값이다.), 배경 영상 $\{B_{i,j}^t\}$ 를 다음 식에 따라 조정한다.

$$B_{i,j}^t = B_{i,j}^{t-1} + DALum \quad (13)$$

2) 현재 입력영상으로부터 획득한 에지 영상에는 차량에 의한 에지 정보뿐만 아니라, 배경에서 발생하는 에지 정보도 포함되어 있다. 따라서, 본 논문에서는 움직이는 물체인 차량에 의해서 발생하는 에지 정보만을 추출할 수 있는 이동 에지 검출방법을 사용하였다. 이동 에지 검출을 위해서 $\{C_{i,j}^t\}$ 와 $\{B_{i,j}^t\}$ 의 에지 영상을 각각 계산한다. 그리고 나서, $\{C_{i,j}^t\}$ 의 에지 영상으로부터 $\{B_{i,j}^t\}$ 의 에지 영상의 차이를 구함으로써 이동 에지 영상 $\{E_{i,j}^t\}$ 를 얻는다.

3) 배경영상과 현재 입력 영상의 차이 영상 $\{DB_{i,j}^t\}$ 를 계산한다.

$$D_{i,j}^t = |C_{i,j}^t - B_{i,j}^t| \quad (14a)$$

$$DB_{i,j}^t = \begin{cases} 1, & \text{if } D_{i,j}^t \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad T = \beta + \log_2 D_{i,j}^t \quad (14b)$$

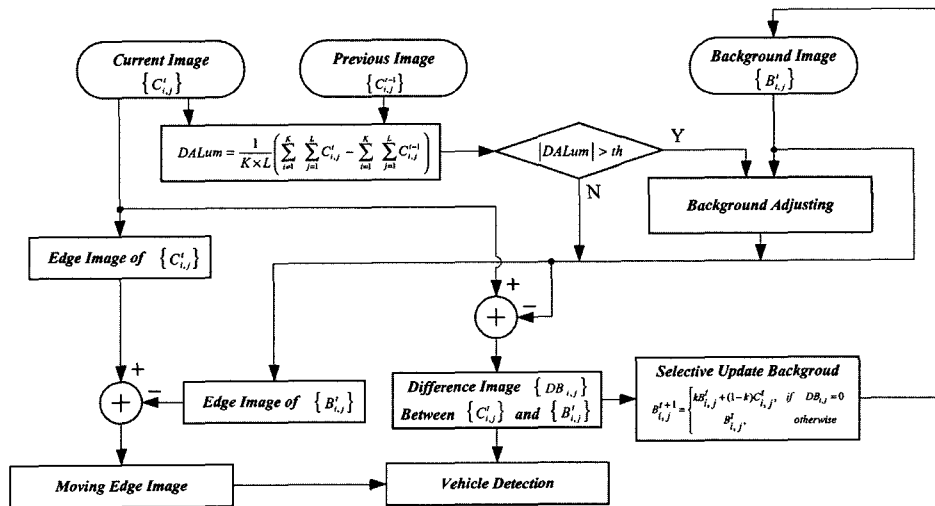


그림 4 차량 검출과 그림자 제거를 위한 배경 빼기 및 에지 방법의 처리 과정

여기서, β 는 상수이다.

4) 윈도우 영역 내에서 $\{DB_{i,j}\}$ 에 대한 각각의 8-방향 연결 흰색 영역을 검사하여 물체의 유무를 결정하고, $\{E_{i,j}\}$ 의 해당 영역 내에 존재하는 에지 픽셀의 수를 측정하여 그림자 제거에 이용한다. 그리고, 이러한 두 가지 결과를 이용하여 윈도우 영역 내에 차량이 존재하는지의 여부를 판단한다. 윈도우 영역 내에 차량이 존재한다면, 사후 처리를 위해서 이에 대한 정보를 기록해 둔다.

5) 다음 수식을 이용하여 선택적으로 배경영상을 갱신한다.

$$B_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} kB_{i,j}^t + (1-k)C_{i,j}^t, & \text{if } DB_{i,j} = 0 \\ B_{i,j}^t, & \text{otherwise} \end{cases}, \text{ where } 0 \leq k \leq 1 \quad (15)$$

3. 교통 파라미터 추출

차량 계수는 실시간 교통량 관측 시스템에 있어서 매우 중요하다. 차량 계수는 각 차로의 부하를 기술하는데 사용될 수 있다. 하나의 차로를 통과하는 차량의 대수를 측정하기 위해서, 차로상에 윈도우를 위치시키고 윈도우에 대한 상태를 생성한다. 각각의 영상 프레임에 대해서, 만일 차량이 윈도우내에서 검출된다면, 윈도우의 상태로 '1'을 저장한다; 그렇지 않은 경우에, 상태는 '0'이 된다. 연속적인 프레임에 대해서, '1'의 그룹은 한 대의 차량이 윈도우를 통과하고 있는 중임을 나타내고, '0'의

그룹은 두 대의 차량사이의 통과 간격에 해당한다. 노면 표시 기반 방법에서, 노면 표시 영역이 바로 이러한 윈도우의 일종이다.

비전 기반 루프 에블레이션을 구현하기 위해서는 추출하고자 하는 서로 다른 교통정보의 종류에 따라 각각 다른 다양한 "가상 검출기"를 사용해야 한다. [8]의 연구에서는 차량 속도를 측정하기 위해서 각 차로에 두 개의 윈도우를 평행으로 위치시키고, 차량이 이 두 개의 평행한 윈도우를 각각 통과한 시간 차이를 측정하였다. 차량을 소형, 중형, 그리고 대형의 세 부류로 분류하기 위해서 차량 속도와 두 개의 평행 윈도우 내에서 차량을 검출할 때까지 입력된 영상 프레임의 개수를 측정하여 차량의 길이를 계산하였다.

차량 속도 측정은 차량 추적 방법을 이용하여 수행할 수도 있다. 제안한 배경 빼기 및 에지 방법에서는, 차영상 $\{DB_{i,j}\}$ 내에서 물체, 즉 차량으로 판단할 만큼 충분히 큰, 8-방향 연결 영역을 발견하였을 경우, 차량이 존재하는 것으로 판단하였다. 개별적인 차량을 차로상의 고정된 크기를 갖는 긴 윈도우 영역 내에서 추적하였다. 윈도우는 그림 2(a)에서처럼 사각형으로 표시하였다. 차량이 윈도우 내로 진입할 때의 위치를 기록하고, 윈도우 내에서 차량의 이동에 따라 위치를 갱신한다. 차량이 윈도우를 빠져나가는 시점에서, 다음 수식을 이용하여 속도를 계산한다.

$$Speed = \frac{D \times F}{F_t} (km/s) \quad (16)$$

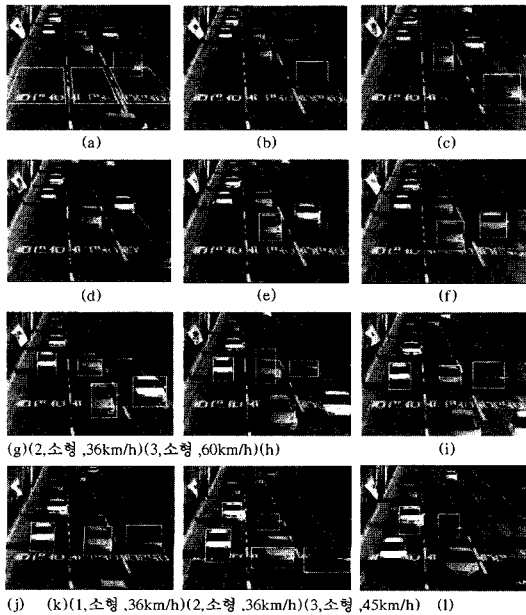


그림 5 차량추적, 차종분류, 그리고 속도측정 예

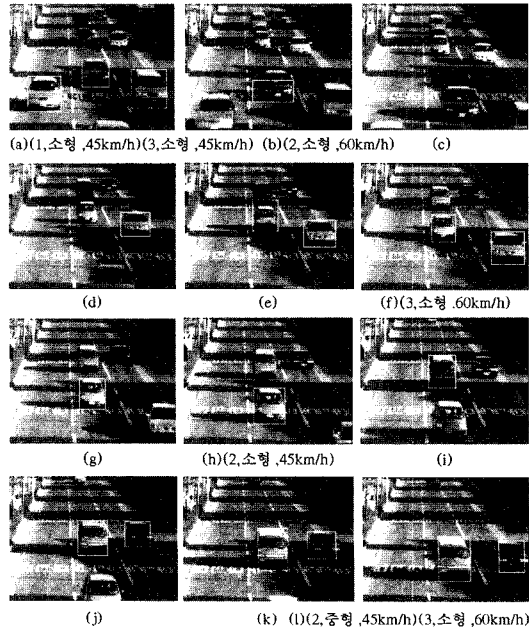


그림 6 차량추적, 차종분류, 그리고 속도측정 예

여기서, D는 윈도우 시작과 끝 사이의 물리적인 거리이며, F는 프레임 비율(frame rate)이고, Ft는 차량이 윈도우를 통과하는 동안 입력된 프레임의 개수이다. 일반적으로, 프레임 비율이 높을수록 더욱 정확한 속도 추정이 가능하다. 개별적인 차량의 종류(소형, 중형, 그리고 대형)는 차량의 길이와 폭에 따라 분류된다. 그리고, 부가적으로 각 차로를 통과하는 차량의 통과대수를 측정하는 것도 가능하다. 그림 5~6은 배경 빼기 및 에지 방법을 이용한 차량 추적의 예이다. 그림 5~6에서 사각형 표시는 컴퓨터에 의해서 자동으로 계산된 차량의 위치를 나타낸다. 컴퓨터에 의해서 인식된 차량의 종류와 속도를 해당 프레임별로 표시하였다(차로 번호, 차량 형태, 속도).

4. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 방법들의 성능 평가 실험은 다음과 같은 방법으로 수행되었다. 지상 5m에 설치된 비디오 카메라를 통해서 다양한 주위환경의 변화를 반영할 수 있는 실험 영상을 획득하였다. 수집된 아날로그 영상은 개인용 컴퓨터에 장착된 프레임 획득장치를 통해서 디지털 데이터로 변환되었고, 이렇게 변환된 디지털 영상을 알고리즘 처리에 사용하였다. 성능 평가 실험에 사용된 시스템의 구성은 아래와 같다.

- 개인용 컴퓨터 시스템
 - ◇ 중앙처리장치(CPU) : 펜티엄-III 700MHz
 - ◇ 주기억장치 : SDRAM 128MB
- 프레임 획득장치 : DT3155 PCI Frame Grabber

- 운영체제 : Windows2000 Professional Edition
- S/W개발환경 : MS Visual C++ 6.0

4.1 차량 검출 결과 및 분석

차량검출을 위한 영상 기반 방법들의 정확도 비교를 위해서 다양한 실험들을 수행하였고, 각 방법을 사용하여 획득한 차선별 차량 검출 결과는 표 1에 그리고 일기 변화에 따른 차량 검출 실험 결과는 표 2에 각각 정리하였다. 성능 평가에 사용된 방법들에는 선택적 배경 갱신 방식을 적용한 배경 빼기 방법(BS_SU:Background Subtraction with Selective Updating), 배경 조정을 통한 개선된 배경 빼기 방법(Improved BS_SU), 에지 기반 방법(Edge detection), 노면 표시 기반 방법, 그리고 배경 빼기 및 에지 방법이 있다. 표에서, “검출 실패(missed detection)”는 윈도우 영역에 차량이 존재하지만, 알고리즘 수행결과 차량이 존재하지 않는 것으로 판단된 경우이고, “검출 오류(false detection)”는 정반대의 상황, 즉 윈도우 영역 내에 차량이 존재하지 않지만 알고리즘 수행결과 차량이 존재하는 것으로 인식하는 경우를 가리킨다. 실험용 비디오 영상은 약 86분 분량이고, 그림 1~3과 그림 5~6에서 보여지는 것처럼 이 시간동안에 노면에 있는 지형지물에 의해서 발생하는 비활성 그림자(passive shadow)의 영향이 심각하게 증가하였다.

배경 빼기와 에지 검출방법에서, 차량을 검출하지 못하는(검출 실패) 원인은 주로 어두운 색상의 차량 때문이고, 특히 이러한 차량이 그림자 영역 내에 존재하기 때문이다. 이러한 경우에, 차량 부분 조도는 배경 조도

표 1 차량 검출 결과(차선별)

Methods	Left lane			Middle lane			Right lane		
	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate
BS_SU	2.64%	2.47%	94.89%	4.57%	2.14%	93.29%	2.23%	1.85%	95.82%
Improved BS_SU	2.73%	1.27%	96.00%	4.54%	0.94%	94.52%	2.35%	0.86%	96.79%
Edge detection	1.52%	0.40%	98.08%	2.26%	0.95%	96.79%	2.59%	1.19%	96.23%
Land Mark	0.41%	0.34%	99.25%	0.42%	0.45%	99.12%	1.64%	0.34%	98.02%
BS & Edge	0.52%	0.14%	99.34%	1.12%	0.37%	98.51%	0.72%	0.69%	98.59%

표 2 차량 검출 결과(일기별)

Methods	Clean			Cloudy			Rainy		
	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate	Missed detection rate	False detection rate	Correct rate
BS_SU	4.01%	2.56%	93.43%	3.41%	2.10%	94.49%	4.52%	2.77%	92.71%
Improved BS_SU	3.55%	2.32%	94.13%	2.91%	1.94%	95.15%	4.10%	2.25%	93.65%
Edge detection	3.28%	2.07%	94.65%	2.74%	1.84%	95.42%	3.91%	2.01%	94.08%
Land Mark	2.07%	1.21%	96.72%	1.52%	0.47%	98.01%	2.82%	1.14%	96.04%
BS & Edge	1.78%	0.97%	97.25%	1.08%	0.25%	98.67%	2.77%	1.08%	96.15%

값과 비슷하고, 차량의 에지 또한 충분히 선명하지 못하다. 반면에, 배경 빼기 방법에서 발생하는 검출 오류는 인접 차로를 주행하는 차량으로 인해 발생하는 활성 그림자가 주요 원인이다. 그림자가 차량에 비해 적은 수의 에지 픽셀을 발생시키므로, 에지 검출 기반 방법은 그림자 제거를 위한 효과적인 해결책이다. 게다가, 에지 검출 방법은 배경 빼기에 비해서 조도 변화에 강한 특성을 가지고 있다. 그러나, 에지 검출 방법에서는 차량의 에지가 선명하지 못할 경우에는 차량을 검출하지 못할 가능성이 높다. BS_SU는 프레임의 조도 변화에 상당히 민감하다. 배경 조정을 통한 개선된 BS_SU는 BS_SU에 비해 더 나은 성능을 나타내었다. 노면 표시 기반 방법은 노면 표시가 차량에 의해서 가려지지 않았다면 비록 노면 표시가 그림자 영역내에 있다고 하더라도 여전히 입력영상내에 존재하기 때문에 그림자 제거에 매우 효과적이다. 이러한 사실은 노면 표시 기반 방법의 검출 오류 발생 확률이 상당히 낮다는 것을 통해서 증명된다. 실험을 통해서, 배경 빼기 및 에지 방법이 배경 빼기와 에지 검출 방법보다 더 나은 검출 결과를 나타냄을 확인할 수 있는데, 이는 배경 빼기 및 에지 방법이 이 두 가지 방법의 장점만을 수용했기 때문이다. 그리고, 표 2의 일기별 차량 검출 실험결과에서 흐린 날의 차량 검출 정확도가 맑은 날에 비해서 전반적으로 높게 나타나는 것은 흐린 날에는 그림자의 영향이 상대적으로 작기 때문이다. 실험 결과에서, 노면 표시 기반 방법과 배경 빼기 및 에지 방법을 통해 얻은 차량 검출의 정확도는 96% 이상이다. 감시 윈도우 영역 내에서 차로를 변경하는 차량은 두 개의 차로에 모두 영향을 미치므로, 검출 실패와 검출 오류를 발생시킬 수 있다. 이러한 경우에, 버스, 트럭 등과 같은 대형 차량은 두 대의 개별적인 차량으로 오인식 될 수 있고, 반면에 소형 차량은 검출되지 않을 가능성이 있다. 카메라의 위치는 영상 기반 차량 검출 시스템의 효율적인 동작을 위한 핵심 요소이다. 다차로일 경우, 최적의 카메라 위치는 중앙 차로이다. 카메라로부터 멀리 떨어진 차로일수록 차량 검출의 정확도가 낮아진다. 그러나, 입력영상 내에서 다른 차량에 의해서 가려진 차량으로 인해 발생하는 오류는 영상 처리 기반 차량 검출 방법 고유의 내재적인 문제점이라고

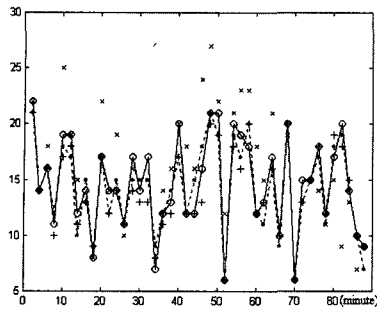
할 수 있다. 어떠한 영상 기반 검출 방법을 사용하더라도 경계값의 선택은 차량 검출의 정확도를 결정하는 중요한 요소이다. 최적 경계값은 기후 상황과 시간대를 고려한 많은 다양한 실험을 통해서 추출할 수 있다.

4.2 교통 파라미터 추출 결과 및 분석

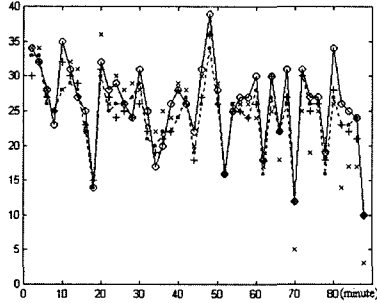
전체 86분 동안의 실험용 입력영상에 대한 차량 계수 결과를 표 3에 나타내었고, 여기서, “차량(Vehicles)” 항목은 각 방법을 통해 검출된 차량 대수이고, “편차율(Deviation rate)”항은 수작업 계수로부터 각 자동 계수의 편차를 나타낸다. 그림 7과 그림 8은 각각 노면표시 기반 방법과 배경 및 에지 방법을 통해 얻은 차량 계수 결과를 수작업, 배경 조정을 이용한 배경 빼기 방법(Improved BS_SU), 그리고 에지 검출 방법(Edge detection)을 통해 얻은 결과와 비교하였다. 세 개의 그래프는 각각 그림 5과 그림 6에 존재하는 세 개의 차로에 대한 것이다. 수평축은 분 단위의 시간을 나타내고, 수직축은 해당 시간동안 통과한 차량 대수를 나타낸다. 약 86분 분량의 실험용 영상을 사용하였다. 차량 계수 결과는 매 2분마다 초기화하였다. 각 그림에서 실선과 점선은 각각 수작업과 제안한 방법에 의한 결과를 나타낸다. 사용된 심볼의 의미는 그림에 나타내었다. 그림에 나타난 실험결과를 통해서 제안한 방법을 적용하여 얻은 계수 결과가 수작업에 의한 계수 결과에 접근함을 알 수 있다. 그림 9는 세 개의 차로에 대한 차량 분류 결과를 나타낸다. 그림에서 “소형(small)”, “중형(medium)”, 그리고 “대형(large)”은 세 가지 차량 종류에 해당하고, “총계(total)”는 이들의 합계이다. 수직축은 각 형태를 갖는 차량의 대수를 나타낸다. 각 그림의 왼쪽에 있는 막대 표시는 수작업 분류결과이고, 오른쪽 막대 표시는 컴퓨터에 의해 계산된 결과이다. 일반적으로, 교통 파라미터 추출은 교통량이 많은 경우보다는 적은 경우에 더 나은 정확도를 나타낸다. 노면 표시 기반 방법에서, 교통량이 많은 교통상황에서는 여러 대의 차량이 하나의 윈도우 영역을 연속적으로 통과하는 경우가 발생할 수 있고, 이때에는 두 차량 사이에 ‘0’ 상태가 존재하지 않게 되므로, 다음 차량이 계수에서 누락된다. 만일 프레임 획득 비율이 상당히 높다면, 이러한 문제점은 감소할 수 있다. 차량 추적 방법에서, 교통량이 많을 경우

표 3 차량 계수 결과

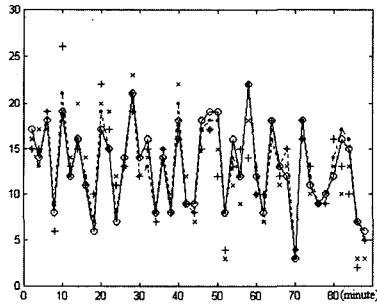
Methods	Left lane		Middle lane		Right lane	
	Vehicles	Deviation rate	Vehicles	Deviation rate	Vehicles	Deviation rate
Manual counting	644	--	1142	--	575	--
Improved BS_SU	699	+8.54%	1067	-6.57%	561	-2.43%
Edge detection	613	-4.81%	1073	-6.04%	554	-3.65%
Land Mark	628	-2.48%	1069	-6.39%	577	+0.35%
BS & Edge	626	-2.80%	1116	-2.28%	598	+4.00%



(a) 왼쪽 차로



(b) 중앙 차로



(c) 오른쪽 차로

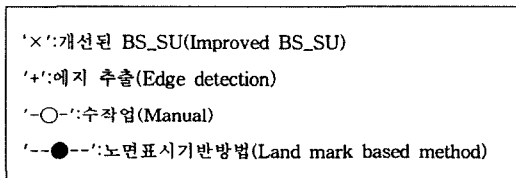
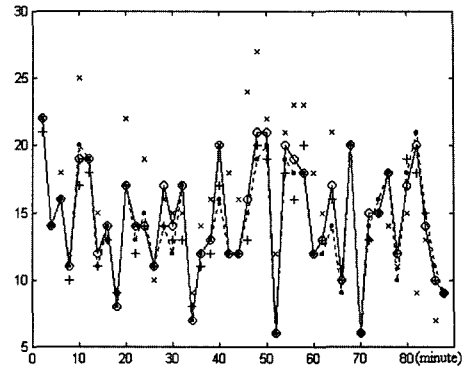
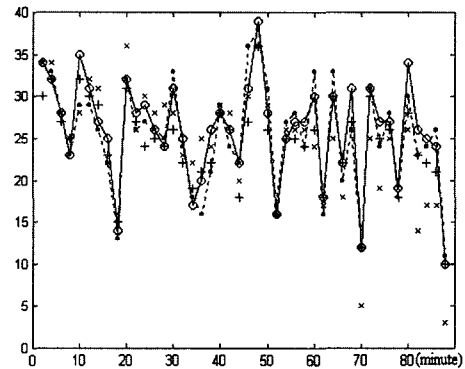


그림 7 차량 계수 결과(2분 간격)

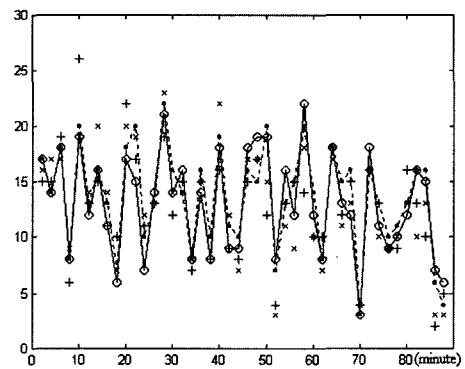
차량이 서로 연결될 수 있기 때문에 차량 검출에 실패할 가능성이 있다. 이 방법은 입력영상에서 차량이 다음 차량과 연결되어 있을 때, 두 대의 차량을 한 대의 대형 차량으로 인식하는 오류를 발생시킬 수 있다. 이러한 문제점은 차량이 카메라로부터 멀어질수록 심각해지지만, 카메라의 설치위치를 조정함으로써 개선할 수 있다. 그러나, 감시 윈도우 내에서 차로를 변경하는 차량은 두 차로를 교차하기 때문에 문제를 야기한다.



(a) 왼쪽 차로



(b) 중앙 차로



(c) 오른쪽 차로

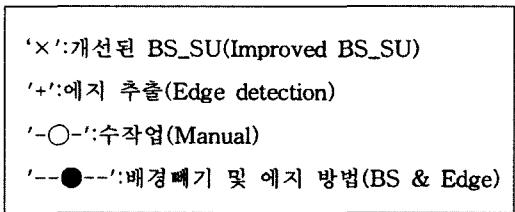
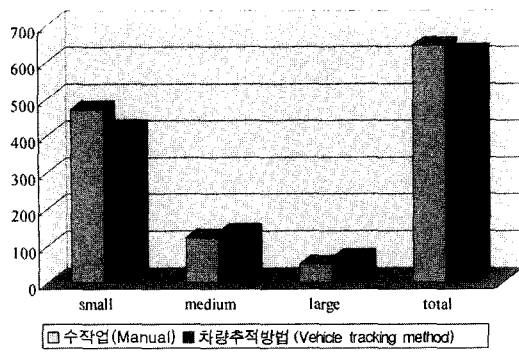


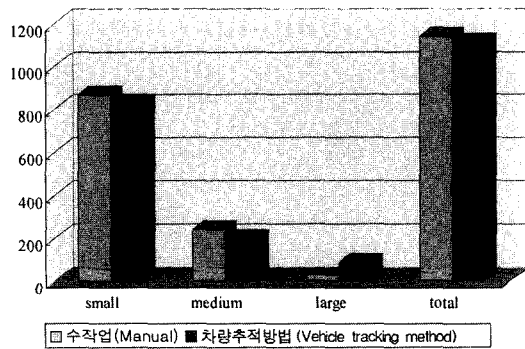
그림 8 차량 계수 결과(2분 간격)

5. 결론

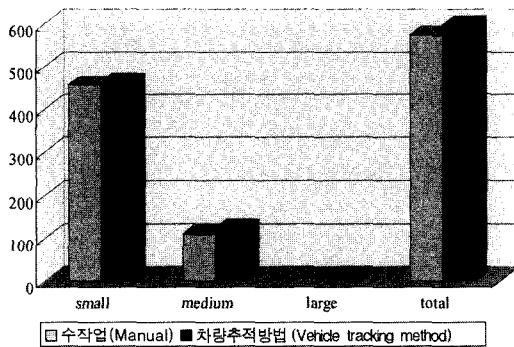
본 논문에서는 노면 표식 기반 방법과 배경 빼기와



(a) 왼쪽 차로



(b) 가운데 차로



(c) 오른쪽 차로

그림 9 차량 추적에 의한 차종 분류 결과

에지 검출을 결합한 배경 빼기 및 에지 방법을 차량 검출과 그림자 제거를 위해 제안하였다. 제안한 방법은 노변의 지형지물에 의해 생성되는 비활성 그림자가 심하게 증가하는 상황에서의 실험을 통해서 교통정보 추출에 효율적임이 증명되었고, 정량적으로 96% 이상의 차량 검출 정확도를 나타내었다. 제안한 차량 검출 기반 방법을 통해서 차량 추적, 차량 계수, 차종 분류, 그리고 속도 측정을 수행하여 개별적인 차로의 부하를 표현하는데 활용할 수 있는 교통파라미터를 획득하였다.

참고 문헌

- [1] Klein Lawrence A., Kelley Michael R., and Mills Milton K., Evaluation of overhead and in-ground vehicle detector technologies for traffic flow measurement, *Journal of Testing & Evaluation*, vol.25, no.2, pp.205-214, 1997.
- [2] A. Rourke and M. G. H. Bell, Traffic analysis using low cost image processing, in Proc. *Seminar on Transportation Planning Methods*, PTRC, Bath, U.K., 1988.
- [3] N. Hoose, Computer Image Processing in Traffic Engineering. U.K.:Taunton Research Studies Press, 1991.
- [4] K. W. Dickinson and R. C. Waterfall, Image processing applied to traffic: A general review, *Traffic Eng. Contr.*, vol. 1, pp.6-13, Jan. 1984.
- [5] Image Processing applied to traffic: Practical experiences, *Traffic Eng. Contr.*, vol. 2, pp.60-67, Feb. 1984.
- [6] N. Hashimoto et al., Development of an image processing traffic flow measurement system, *Sumitomo Electronic Tech Rev.*, no 25, pp.133-138, Jan. 1988.
- [7] S. Takaba et al., A traffic flow measuring system using a solid state sensor, in Proc. *IEE Conf. Road Traffic Data Collection*, London, U.K., 1984.
- [8] M. Fathy, and M. Y. Siyal, A window-based image processing technique for quantitative and qualitative analysis of road traffic parameters, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.47, no.4, pp.1342-1349, 1998.
- [9] M. Fathy and M. Y. Siyal, An image detection technique based on morphological edge detection and background differencing for real time traffic analysis, *Pattern Recognition Lett.*, vol. 16, pp.1321-1330, 1995.
- [10] M. Fathy and M. Y. Siya, A window-based edge detection technique for measuring road traffic parameters in real-time, *Real-Time Imaging I*, 1995, pp.297-305.
- [11] Hongjiang Zhang, Yihong Gong, Dan Patterson, and Atreyi Kankanhalli, Moving object detection, tracking and recognition, The Third International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp.1990-1994, 1994.
- [12] P.G. Michalopoulos, Vehicle detection video through image processing: The Autoscope system, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.40, no.1, pp.21-29, 1991.
- [13] Yang Ju Kim, and Young Sung Soh, Improvement of background update method for image detector, *5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, CD-version, 1998.
- [14] Jiang Zifeng, A shadow rejection algorithm for vehicle presence detection, *1998 IEEE International*

Conference on Intelligent Vehicles, pp.182-188,
1998.



하 동 문

1997년 8월 아주대학교 전자공학과(공학사). 2001년 2월 아주대학교 전자공학과 석박사 통합 과정 수료. ~현재 아주대학교 컴퓨터네트워크 연구실. 관심분야는 디지털 영상처리, 지능형 교통 체계, 컴퓨터 시스템 설계



이 종 민

1993년 2월 아주대학교 전자공학과(공학사). 1995년 2월 아주대학교 전자공학과(공석사). 1998년 2월 아주대학교 전자공학과 박사과정 수료. 2003년 1월 아주대학교 정보전자 연구소 연구원. ~현재 아주대학교 교통연구소 연구원. 관심분야는 교통 영상 처리, 지능형 교통 체계, 컴퓨터 네트워크



김 용 득

1971년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1973년 2월 연세대학교 전자공학과(공석사). 1978년 2월 연세대학교 전자공학과(공학박사). 1973년 11월~1974년 8월 불란서, ESC 전자공학 연구실 연구원. 1979년 8월~1980년 9월 미국 Stanford 대학교 연구교수. 1983년 4월~1996년 11월 인켈(주) 종합 연구소 연구교수. 1994년 1월~1996년 9월 ITS 연구기획단 연구위원. 1974년 9월~현재 아주대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 디지털 시스템 설계, 지능형 교통 체계, 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어 시스템