

영상처리 기술을 이용한 도로 및 차량 추출 기법에 관한 연구

A Study on the Extraction of Road & Vehicles Using Image Processing Technique

가칠오* · 변영기** · 유기윤*** · 김용일****

Ga, Chill O · Byun, Young Gi · Yu, Ki Yun · Kim, Yong Il

要 旨

최근 영상 처리를 이용한 교통 정보 추출은 기존의 물리적인 장비들에 비하여 상대적으로 간단한 설치와 적은 비용으로 다양한 정보를 추출하는 장점으로 인하여 널리 연구 되고 있다. 이러한 영상을 기반으로 하는 교통정보 추출 알고리즘들은 영상에서 관심 정보인 차량을 정확히 추출하는데서 시작된다. 교통 정보를 추출하는 전단계로서 영상 내에서 움직이는 차량을 검출하기 위해 많이 사용되는 배경빼기(background subtraction) 연산 후 영상 이진화 과정에서 상당한 양의 노이즈가 발생하며, 이는 교통정보의 정확도에 영향을 미친다. 이러한 노이즈는 모든 교통정보가 도로를 주행하고 있는 차량들로부터 추출되더라도 불구하고 실제 영상에서는 비도로영역의 가로수나 행인이 차량과 함께 움직임으로 검출되기 때문에 발생한다. 이를 위해 본 연구에서는 차선정보를 이용하여 도로영역을 추출함으로써 노이즈의 상당부분을 제거할 수 있었으며, 연산의 속도도 높일 수 있었다. 또한, 연속된 영상간의 비(ratio)를 이용하여 차량으로 인한 그림자의 효과를 최소화하였다.

핵심용어 : 차량검출, 분할, 지능형교통시스템(ITS), 배경빼기

Abstract

The extraction of traffic information based on image processing is under broad research recently because the method based on image processing takes less cost and effort than the traditional method based on physical equipment. The main purpose of the algorithm based on image processing is to extract vehicles from an image correctly. Before the extraction, the algorithm needs the pre-processing such as background subtraction and binary image thresholding. During the pre-processing much noise is brought about because roadside tree and passengers in the sidewalk as well as vehicles are extracted as traffic flow. The noise undermines the overall accuracy of the algorithm. In this research, most of the noise could be removed by extracting the exact road area which does not include sidewalk or roadside tree. To extract the exact road area, traffic lanes in the image were used. Algorithm speed also increased. In addition, with the ratio between the sequential images, the problem caused by vehicles' shadow was minimized.

Keywords : Vehicle extraction, Segmentation, ITS, Background subtraction

1. 서 론

90년대 이후 폭발적으로 증가하는 차량에 비하여 이를 수용하는 기반 시설인 도로 신설의 제한과 확충의 속도가 따라가지 못하면서 발생하는 많은 교통과 환경의 악영향을 최소화 하고자, 기존의 도로에 전자, 정보, 통신과 제어 등과 같은 첨단 기술들을 적용한 것이 지능형 교통 시스템(ITS, Intelligent Transportation System)이

다. ITS를 효율적으로 운영하고 관리하기 위해서 가장 중요한 것은 현재의 교통 환경에서 실시간으로 취득되는 교통정보의 정확성이다. 이러한 교통 흐름과 관련된 교통정보는 튜브 검지기, 적외선 검지기, 루프 검지기 등 다양한 센서들에 의하여 취득되며, 일반적으로 유도식 루프 검지기(Inductive Loop Detectors)가 가장 널리 사용되고 있다. 하지만, 루프 검지기는 매설식이기 때문에 도로의 공사나 중차량의 통행으로 인하여 파손이 잦

2005년 10월 20일 접수, 2005년 11월 28일 채택

* 서울대학교 공간정보연구실 석사과정 (crowise@empal.com)
** 서울대학교 공간정보연구실 박사과정 (kkokko071@hotmail.com)
*** 서울대학교 공간정보연구실 조교수 (kiyun@snu.ac.kr)
**** 서울대학교 공간정보연구실 부교수 (yik@snu.ac.kr)

때문에 유지보수에 상당히 어려움이 존재하였다. 반면에 영상을 기반으로 하는 교통정보 검출기는 센서 자체의 가격이 저가이고 루프 검지기와는 달리 비매설식으로 비교적 유지보수가 수월하며, 과속차량 및 과적차량 촬영 단속뿐만 아니라 차량 번호판 자동 인식 등 다양한 교통정보의 추출이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 표 1은 루프 검지기와 영상 기반 검지기의 비교표이다.

최근에는 취득된 영상으로부터 차량 계수, 속도, 밀도 등과 같은 단순한 교통 정보 뿐만 아니라 돌발 상황, 차량 정체나 신호 대기 차량들의 대기행렬 길이 등과 같은 고급의 교통정보를 추출하는 많은 연구가 진행되고 있다 (A. Bevilacqua, M. Roffilli, 2001). 이러한 모든 교통정보들은 연속된 프레임들 안에서 관심 대상 물체인 차량을 얼마나 정확히 검출하는지에 따라서 그 정확도에 영향을 받는다.

배경빼기 연산 후 이진화 과정을 통한 차량과 비차량 영역으로 분할하여 영상내 움직이는 차량을 검출하는 방법은 일반적으로 널리 사용되는 기법이다. 하지만 이진화 과정에서 가로수나 행인과 같은 비 차량 요소들이 움직임으로 검출되어 상당한 노이즈가 포함되게 된다. 노이즈를 제거하기 위한 가장 간단한 방법으로는 침식(erosion)과 팽창(dilation)을 통한 모폴로지(Morphology) 기법을 들 수 있다. 하지만, 모폴로지 기법은 노이즈와 차량간의 trade-off가 발생하는 문제점이 존재한다(김준철, 이준환, 2003). 하동문 등(2001)과 Fathy and Siyal (1998)은 노이즈의 효과를 줄이기 위하여 차량을 포함하는 가상 격자를 설정하여 연산 영역을 제한하였다. 하지만, 이와 같은 방법은 각 차량에 있어서는 효율적이나 최

근의 영상 전체를 사용하여 추출되는 고급의 교통정보를 추출하는데 있어서는 부적절하다. Bevilacqua(2003)은 차량과 노이즈를 이루는 영역 크기에 따라 계산되어 지는 fitting value를 이용하여 노이즈를 제거한 모폴로지 응용 기법을 적용하였는데, 이는 연산의 복잡도가 높은 단점이 존재한다. 본 연구에서는 차선을 이용하여 초기에 도로영역만을 추출함으로써 배경빼기 연산 및 이진화 과정에서 생성되는 노이즈를 상당부분 제거하였으며, 연산의 효율성도 상당히 높였다. 또한, 개체 인식에 영향을 미치는 차량으로 인한 그림자를 연속 촬영된 영상간의 비(ratio)를 이용하여 최소화 하였다.

본 연구에서 사용된 영상들은 초당 30프레임의 동영상 기능을 지원하는 일반 디지털 카메라(Olympus C-750)를 사용하여 촬영되었으며, 연구 대상지역으로는 의왕시 외곽지역의 수인 산업도로를 선정하였다. 취득된 동영상을 이용하여 1초 간격으로 샘플을 추출하고, 300×225 사이즈의 그레이 레벨로 변환한 영상을 실험데이터로 사용하였다. 본 연구에서 사용된 알고리즘은 MATLAB 6.5와 Visual C++ 6.0를 사용하여 구현하였으며, 시스템 환경은 Pentium-4 1.8GHz, 512MB이다.

제2장에서는 전처리 과정으로써 움직임 검출을 위한 초기 배경영상 생성과 실시간으로 변화하는 환경에 대처하기 위한 배경영상 갱신에 관하여 언급하고, 제3장에서는 차량 분할의 과정을, 마지막으로 4장은 결론으로서 연구 내용을 요약 기술하였다.

2. 배경영상 생성 및 갱신

2.1 배경영상 생성

배경영상은 움직이는 물체가 존재하지 않는 고정된 영상을 말하며, 취득된 영상에서 주행중인 차량과 같은 움직이는 물체는 배경영상과의 화소차 연산을 통하여 추출될 수 있다.

일반적으로 도로상에 설치되는 카메라는 그림 1과 같

표 1. 검지기의 비교

	루프 검지기	영상 검지기
측정 데이터	<ul style="list-style-type: none"> 지점교통정보 (속도, 밀도, 교통량) 	<ul style="list-style-type: none"> 지점교통정보 구간교통정보(대기행렬, 혼잡도) 돌발 상황 검지, 번호판 인식 차량 궤적 추적
장점	<ul style="list-style-type: none"> 정보의 신뢰성이 우수 검지영역의 크기와 형태는 루프 크기에 따라 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 설치, 제거 시 교통흐름에 직접적인 방해 없음 검지영역의 변경용이, 다 차로 검지 교통상황 실시간 모니터링 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> 도로 파손에 따른 유지보수 비용 부담 설치, 제거 시 교통류의 통제가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 조도, 기상상태, 교통상황 변화에 민감 실시간으로 영상자료의 처리로 복잡한 처리의 장비 및 알고리즘 필요

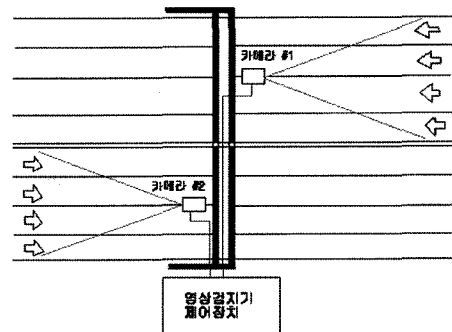


그림 1. 영상 검지기

이 차량 진행의 역방향에서 넓은 범위의 경사사진 형태로 촬영한다. 따라서, 주행중인 차량뿐 아니라 도로변에 오토바이, 행인, 가로수 등 다양한 움직임이 존재하는 영상이 취득되므로 이들을 제거한 초기 배경영상을 생성하는 과정이 필요하다.

취득된 영상은 계속적으로 움직임이 발생하므로 인접한 프레임들 간의 차를 제외한 영상을 점진적으로 중첩 시킴으로써 배경영상을 생성할 수 있다. 그림 2와 그림 3은 배경영상 생성 과정과 생성된 배경영상을 나타낸다.

2.2 배경영상 갱신

움직임을 검출하기 위한 방법으로 흔히 사용되는 배경 빼기 연산은 알고리즘이 단순하면서도 미세한 움직임까지 검출하는 장점을 가지고 있지만, 생성된 배경영상의 질에 크게 의존적이다. 또한, 실제 도로 환경에서 취득되는 영상은 동일한 지역에서도 계절과 시간에 따라서 밝기가 변하고, 인접한 차량이나 주변 건물, 가로수 등의 그림자로 인한 영향을 받는다. 따라서, 고정된 배경영상을 시간이 다른 영상에 동일하게 적용하는 것은 부적절하므로 취득되는 영상과 동일한 조건을 갖도록 주기적으로 갱신해 주어야 한다.

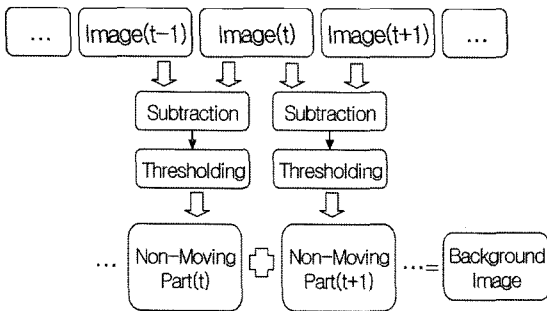


그림 2. 배경영상 생성 과정



그림 3. 생성된 배경영상

본 연구에서는 그림 4와 같은 순서로 배경영상을 갱신하였고 그 구체적인 방법은 다음과 같다. ①Moving Object Mask 영상(입력영상과 현재 배경영상과의 차연산)으로 움직임 영역을 검출한다. ②입력영상에서 Moving Object Mask를 제외한 영역으로 배경영상을 갱신한다. ③갱신되지 않은 Moving Object Mask 부분은 배경영상으로 갱신한다. ④갱신된 배경영상에 더 높은 가중치를 부여하고 이전 배경영상과 가중 평균을 이용하여 갱신한다. 본 논문에서는 식 (1)과 같이 표현되는 가중평균을 이용하여 배경을 갱신하였다(하동문 등, 2001).

$$B(x, y, t) = \begin{cases} (1 - \alpha)B(z, y, t-1) + \\ \alpha I(x, y, t) \\ B(x, y, t-1) \end{cases} \quad (1)$$

여기서, $B(x, y, t)$ 는 t 시점의 배경영상, $B(x, y, t-1)$ 은 이전 배경영상, $I(x, y, t)$ 은 t 시점의 입력영상을 나타내고 본 연구에서는 $\alpha=0.8$ 로 설정하여 배경영상을 갱신하였다.

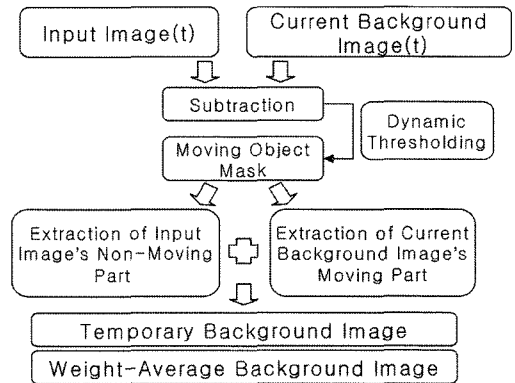


그림 4. 배경영상 업데이트 과정

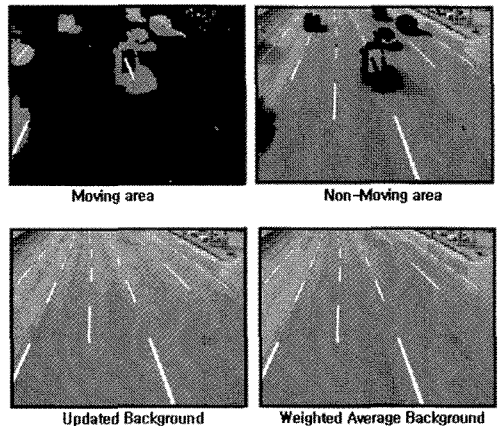


그림 5. 배경영상 업데이트

3. 차선 및 차량 검출 방법

움직임을 검출하는데 적용되는 배경빼기 연산은 이진화 영상을 생성하는 과정에서 많은 노이즈를 발생시키며, 이러한 노이즈는 개체를 인식하는데 있어 정확도를 떨어뜨리는 요인이 된다.

본 연구에서는 이러한 노이즈를 제거하기 위해 배경영상의 차선 정보를 이용하여 도로의 영역을 동적으로 추출하고, 차량을 분할하는데 있어 대상 영역을 도로 영역 내부로 국한시켰다. 배경빼기 연산으로 움직이는 차량과 차량의 동적 그림자 영역을 추출하는 과정을 Blob segmentation, 활성 그림자의 영역을 최소화 하여 차량 부분만을 추출하는 과정을 Vehicle segmentation에서 다루었다.

3.1 차선 추출

입력영상과 배경영상간의 차를 구하는 배경빼기 방법은 연산이 간단하면서 비교적 효과적으로 움직임을 검출하는 장점을 가지고 있다. 그러나 실제 도로환경에서는 비 도로지역에서의 요소들이 영상처리 과정에서의 노이즈로 작용하게 되어 차량검출 정확도를 떨어뜨린다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 도로 차선 정보를 이용하여 비도로영역을 처리과정에서 배제하였다. 차선추출 알고리즘의 순서는 그림 6과 같으며 그 구체적인 방법은 다음과 같다. ①초기 배경영상을 이진화한 후 이진영상에서 개체 레이블링을 수행한다. ②레이블링된 영역에 대하여 속성정보를 추출한다. ③추출된 속성정보를 이용하여 차선을 군집화 한다. ④군집화된 차선들에 대하여 최소제곱피팅을 수행하여 최종 차선을 추출한다.

3.1.1 개체 레이블링 및 속성 추출

배경영상으로부터 차선을 추출하기 위하여 이진영상으로의 변환과 개체 레이블링을 수행하였다. 개체 레이

블링은 이진영상에 나타난 화소들의 연결성을 조사하여 연결된 영역을 독립된 개체로 인식하고 ID를 부여하는 과정을 말한다. 화소들의 연결성 판단 방법으로 4-방향, 8-방향법이 있다. 본 연구에서는 임의의 화소의 상하좌우의 화소와 대각방향의 화소를 검사하여 임의의화소와 동일한 화소값을 갖는 화소를 동일한 개체로 인식하는 8-방향법을 사용하여 이진 영상에서의 개체 레이블링을 수행하였다(강동준, 하종은, 2003).

비도로영역의 개체 제거 및 차선 추출을 위해 개체로 인식된 모든 영역의 중심 위치(centroid), 이심률(eccentricity), 방향(orientation)등의 속성정보를 계산하였다.

속성정보 계산 방법은 다음과 같다. 개체의 중심위치는 같은 개체로 인식된 화소들의 평균위치로부터 계산할 수 있다. 또한, 개체의 이심률 계산은 그림 8에서와 같이 개체와 동일한 2차 모멘트를 가지는 타원을 생성하고 타원의 장단축의 길이를 이용하여 계산하였고, 타원의 장축과 수평축이 이루는 각을 방향 값으로 계산하였다(김진곤, 한동엽, 2004).

직선도로위에 있는 차로 경계선들은 동일한 형상(shape) 및 방향성을 가지고 있기 때문에 이심률 및 방향에 대한 임계치를 각각 0.98, -20~30°를 용하여 그림 8의 이상단과 같은 차로 경계선이 아닌 개체, 즉 비도로지역의 개체를 제거할 수 있다.

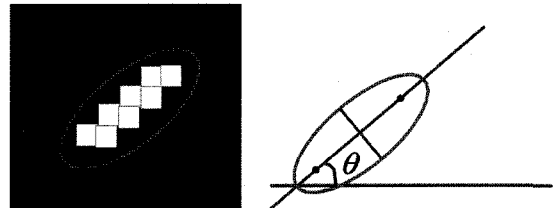


그림 7. 이심률 계산

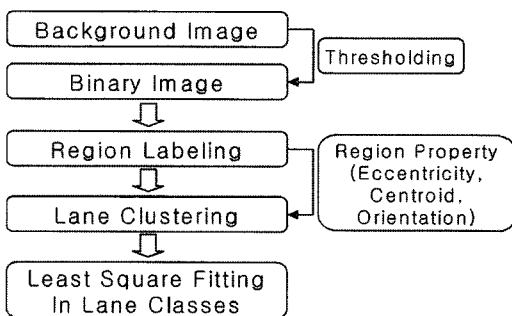


그림 6. 차선 추출 과정

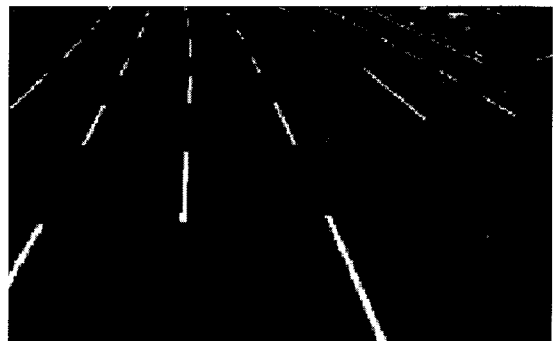


그림 8. 레이블링 영상

3.1.2 차로 경계선 구분

비도로지역의 개체를 제거한 후 차선 분리를 위해 그림 9에 나타나 있는 총 28개체들의 공간 관계를 비교하여 총 7개 차선에 대한 클러스터링(clustering)을 수행하였다. 본 연구에서 제안한 차선 클러스터링 알고리즘 순서는 다음과 같다.

①영상의 개체 그룹에서 임의로 한 개체를 선택한 후 선택된 개체의 중심위치와 방향정보를 이용하여 그림 10에서와 같이 탐색범위를 설정한다. ②탐색범위 안에 존재하는 개체들을 동일한 클래스로 배정한다. ③클래스에 배정이 되지 않은 개체에 대해 ①과 ②의 과정을 반복한다.

차선 클러스터링 결과 영상 내 모든 개체들이 총 7개의 클래스로 분류되었고, 차로간의 경계를 구분할 수 있도록 차선 연결을 위해 각 클래스의 개체들의 중심위치값을 이용하여 최소제곱피팅(Least square fitting)을 수행하였다.

$$y_j = f(x_j) = ax_j + b$$

$$y_j = f(x_j) = ax_j + ba = \frac{\sum x_j y_j - \sum x_j \sum y_j}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}$$

$$b = \frac{1}{n} (\sum y_j - a \sum x_j) \quad (2)$$

여기서 $j=1\sim n$ (클래스 개수)

$i=1\sim m$ (클래스내 개체 수)

그림 11은 각 클래스별 추정된 회귀직선을 통해 차로 경계선을 자동으로 연결시킨 결과이다. 그림 12는 추정된 차선을 비도로지역을 배제한 배경영상에 중첩시킨 결과이며, 시각적으로 추정된 직선이 유의함을 확인할 수 있다.

3.1.3 차선 분할

차로경계선 추출 후 다음 단계로 각 클래스별 추정 회귀직선을 이용하여 차선을 분할 할 수 있으며, 이는 차선별 교통 정보를 추출하는데 사용되어 질 수 있다. 차선 분할 과정은 다음과 같다.

영상의 크기와 같은 2차원 좌표계 내에서 전 단계에서 추정된 각 차선별 회귀직선 $f(x)$ 들에 대한 간단한 일차 부등식 관계를 이용하여 그림 13과 같이 차로경계영역의 분할(segmentation)을 수행할 수 있다.

3.2 Blob Segmentation

그림 14는 추출한 도로 배경영상($RB_{i,j}^t$)과 입력영상($I_{i,j}^t$)의 배경빼기 연산을 통하여 도로 영역 내부의 움직임

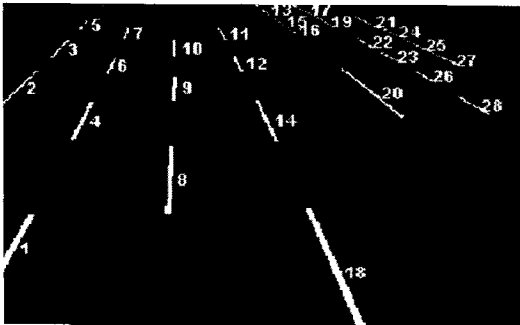


그림 9. 노이즈가 제거된 레이블링 영상

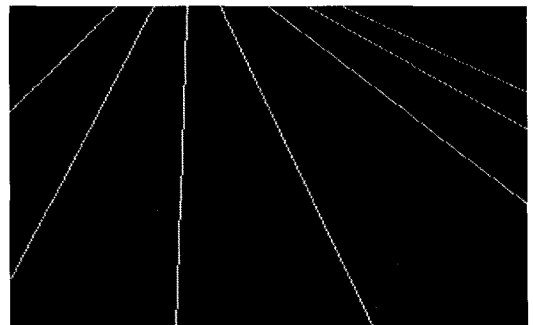


그림 11. 동일 클래스 차선 연결

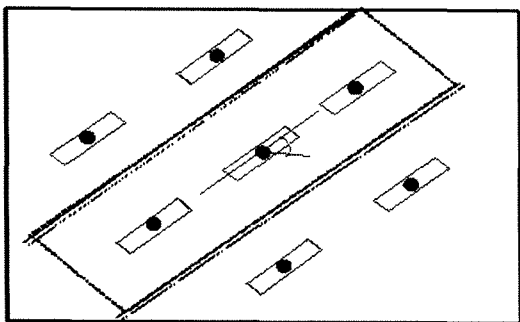


그림 10. 차선 클러스터링

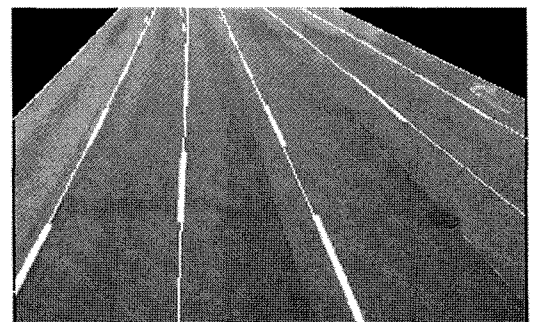


그림 12. 배경영상과 추출된 차선의 중첩

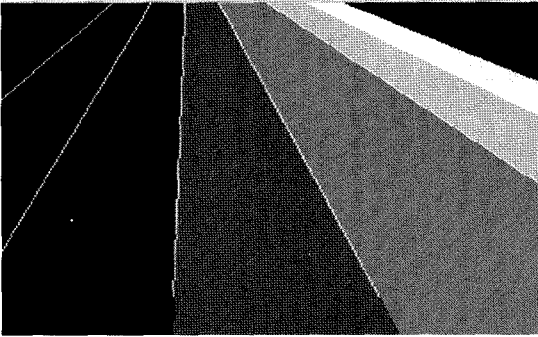


그림 13. 차선 분할

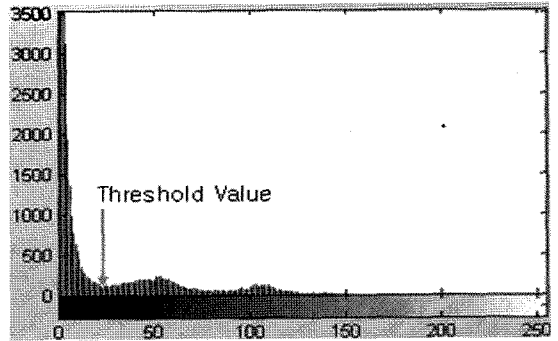


그림 15. 임계치 검색

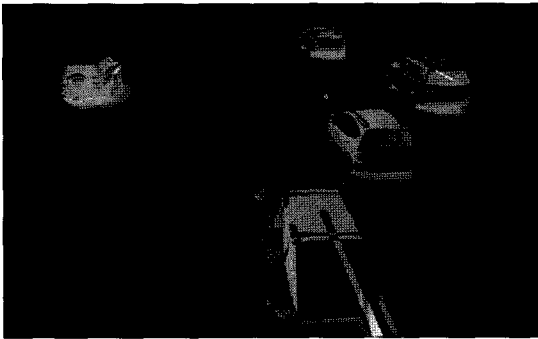
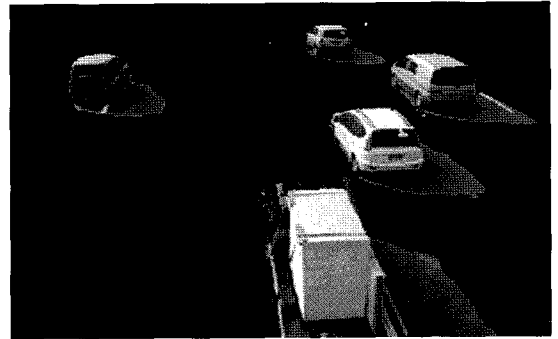
그림 14. 차영상($D_{i,j}^t$)

그림 16. Blob Segmentation 영상

임을 검출한 차영상($D_{i,j}^t$)이다.

차영상($D_{i,j}^t$)은 식 (4)를 통하여 이진 영상($DB_{i,j}^t$)을 생성할 수 있다(RafaelC.Gonzalez, 2002).

$$D_{i,j}^t = |I_{i,j}^t - RB_{i,j}^t| \quad (3)$$

$$DB_{i,j}^t = \begin{cases} 1, & \text{if } D_{i,j}^t \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서, 임계치인 T는 움직임으로 존재하는 차량을 추출하는데 있어 중요하다. 만일, T를 작게 설정하면, 차량과 그림자 영역을 효과적으로 검출해내지만, 차량 이에 작은 화소차이를 보이는 화소들 또한 차량으로 검출된다. 반대로, T를 크게 설정하면 노이즈의 영향은 줄일 수 있지만, 실제 차량의 형태가 왜곡될 수 있다.

도로 배경 영상($RB_{i,j}^t$)과 입력영상($I_{i,j}^t$)은 시간에 따라서 계속적으로 변하며, 이에 따라 차영상($D_{i,j}^t$)도 변하기 때문에 이에 적합한 T값을 동적으로 설정하여야만 한다. 본 연구에서는 배경빼기 연산을 도로 영역으로 제한함으로써 차영상($D_{i,j}^t$)에서 차량과 그림자 이외의 노이

즈 화소는 매우 적게 검출되며 또한 대부분의 화소가 어두운 값으로 편중되어 분포한다. 따라서, 화소값 0에서 시작하여 그림 15와 같이 첫 번째 지역적 최소값(Local Minimum)를 T값으로 설정하여 모든 움직인 화소를 검출하고 미세한 노이즈는 모폴로지 제거(Opening)연산을 통해 제거하여 차량과 그림자 영역만을 추출하였다.

3.3 Vehicle Segmentation

영상기반의 차량 검지 시스템에서 그림자는 차량을 검출하는 과정에서 문제점을 일으키는 장애요소로 작용하는데, 특히 이동 중인 차량에 의해서 생성되는 동적 그림자(active shadow)는 그 영향이 매우 심각하다. 본 연구에서는 이러한 차량 그림자의 영향을 배경영상과 입력영상간의 비(ratio)를 이용하여 최소화 하였다. 도로 배경영상과 입력영상은 시간에 따라서 계속적으로 변한다. 게다가 아주 다양하게 변하는 차량의 차체 색상으로 인해 정확한 차량의 그림자 영역을 추출하기란 거의 불가능하다. 그러나 일반적으로 차량의 그림자영역의 도로노면은 배경영상의 노면에 비해 상대적으로 어두운 픽셀을 생성

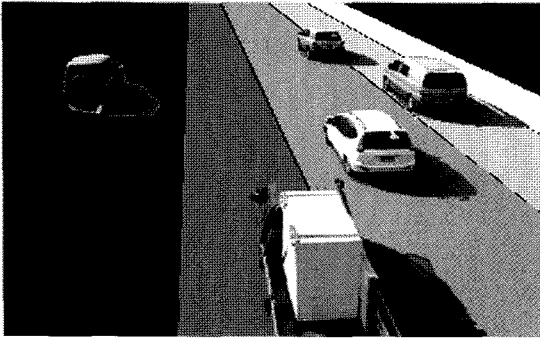


그림 17. 차선 분할 영상과 Blob Segmentation 영상의 중첩

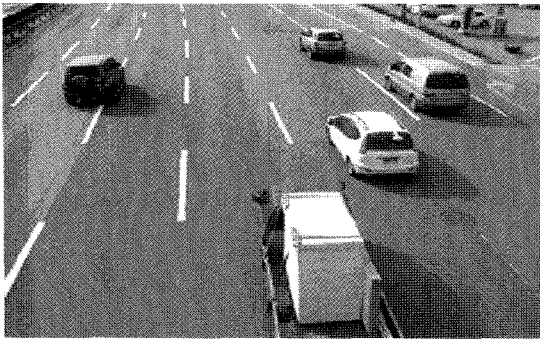


그림 18. 원영상

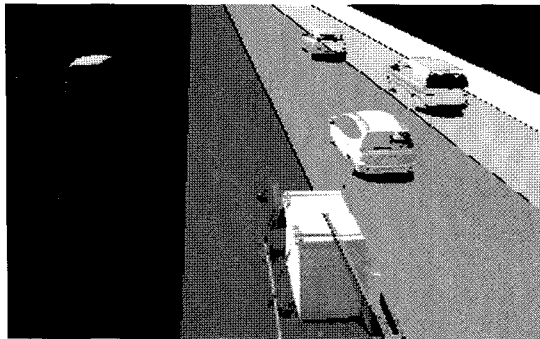


그림 19. Vehicle segmentation 영상

하고, 이는 차량을 그림자로부터 구별하는데 사용될 수 있다. 입력영상의 Blob segmentation의 결과를 이용하여 Blob 영역내의 각 화소에 대해 배경영상과의 비에 다중 임계치(multiple threshold)기법을 적용하여 일정범위내의 화소들을 최종차량으로 검출한다. 임계치로는 0.4와 1를 사용하였다.

4. 결 론

영상을 기반으로 하여 교통정보를 추출하는 과정에 있어서 차량의 정확한 검출은 추출된 교통 정보의 정확성에 큰 영향을 미친다. 특히, 현재 활발한 연구가 이루어지고 있는 돌발 상황 검출이나, 차량의 대기행렬 길이와 같은 고급의 교통 정보를 추출하는 과정에서는 더욱 중요한 사전 작업이 될 것이다.

따라서, 본 연구에서는 도로상에서 주행하는 차량만을 정확히 검출하기 위하여 초기 취득된 영상들로부터 배경영상을 추출하고 추출된 배경영상의 차선 정보를 이용하여 연산의 대상지역을 도로영역으로 제한하였다. 이를 통해 배경빼기 연산 후 이진영상을 생성하는 과정에서 차량이외의 요인으로 발생하는 노이즈를 현저하게 줄일 수 있었으며, 실시간의 배경영상 갱신과 차량 추출하는 과정에서 연산의 효율성을 높일 수 있었다. 향후 연구로서는 효과적인 차량 그림자 제거 및 시계열 분석을 통한 차량 속도, 밀도, 돌발상황 검출과 같은 교통정보추출과정이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 서울대 공학연구소의 지원에 의한 연구결과임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김준철, 이준환, 2003, "영상처리 기술을 이용한 교통 정보 추출", 한국ITS학회논문지, 제2권, 제1호, pp. 75-84.
2. 김진곤, 한동엽, 2004, "도로노면표지를 이용한 3차원 도로정보 자동추출", 한국지형공간정보학회 제12권 제4호, pp. 61-68.
3. 하동문, 이종민, 김용득, 2001, "영상기반 교통정보 추출 알고리즘에 관한 연구" 대한교통학회지, 제19권 6호, pp. 161-170.
4. 강동준, 하종은, 2003, Visual C++을 이용한 디지털 영상처리의 구현, 사이텍 미디어, pp. 247-270.
5. A. Bevilacqua, 2003, "Effective Object Segmentation in a Traffic Monitoring Application", Journal of WSCG, 11(1), pp. 57-64.
6. A. Bevilacqua, M. Roffilli, 2001, "Robust Denoising and Moving Shadows Detection in Traffic Scenes", Technical Sketches of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1-4.
7. M.Fathy and M. Y. Siyal, 1998, "A Window-Based Image Processing Technique for Quantitative and Qualitative Analysis of Road Traffic Parameters", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 4, 11.
8. RafaelC.Gonzalez, 2002, Digital Image Processing, Prentice Hall, pp. 595-600.