

특징점의 모션벡터를 이용한 차량 검지 시스템 개발

한상훈*

Development of Vehicle Detection System by Using Motion Vector of Corner Point

Sang-Hoon Han*

요약

최근 교통문제 해결을 위한 하나의 방안으로 첨단교통체계(ITS)에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 또한 도로 상에서 차량을 검출하기 위한 다양한 방법들이 제시되고 있다. 본 논문에서는 영상처리 기술을 이용하여 이동하는 차량을 검출하는 차량검지 시스템을 개발하여 도로 이용자에게 신속한 정보를 제공하고자 한다. 또한 차량을 검출하기 위해 효율적이고 하드웨어로 구현이 쉬운 알고리즘을 개발하는데 목적이 있다. CCD 카메라를 이용하여 도로 영상을 촬영하고, 모폴로지 기법을 적용하여 영상으로부터 특징점을 추출하고, 추출된 특징점 간의 이동벡터를 구하여 움직이는 차량 영역을 검출한다. 제안된 알고리즘을 실제 도로 영상에서 실험한 결과 처리시간이 단축되었으며, 차량 검출에서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

The research about Intelligence Transport Systems(ITS) is actively studied for the traffic problem solution recently. Also, the various methods to detect vehicles moving in the roads are studied. This research using image processing technology is to give the drivers the road information quickly by developing Vehicle Detection System that detects through traffics. Purpose of this research is developing efficient algorithm to facilitate hardware composition. We use morphology method to extract corner points in the images captured by CCD camera. Also, the proposed algorithm detects vehicle's moving area by using motion vectors between corner points. The experiments of the proposed algorithm whose processing time was shortened show good results in vehicle detection on the live road images.

▶ Keyword : Intelligence Transport Systems(ITS), Vehicle Detection, Morphological, Corner Point, CCD Image

• 제1저자 : 한상훈
• 접수일 : 2007.2.13, 심사일 : 2007.2.24, 심사완료일 : 2007. 3.19.
* 국립한국재활복지대학 컴퓨터정보보안과 교수

I. 서론

자동차의 증가로 인한 교통 혼잡도를 완화하기 위해 도로의 추가 건설 및 교통체계 관리 기법과 같은 다양한 정책들이 시행되어 왔으나 혼잡의 심화도를 대폭 완화시키는 못하고 있다. 이런 해결책으로 첨단 통신 기술을 사용하여 사람과 도로, 자동차를 통합한 시스템을 구축함으로써 도로 관리의 효율성 증대, 교통 관리의 최적화, 안전 주행을 목적으로 한 지능형 교통 체계(ITS: Intelligent Transport Systems)가 관심을 받고 있다[1,2].

도로 이용자들에게 제공되는 교통 정보 가운데 가장 중요한 정보로는 도로의 구간별 통행 속도 및 교통량이다. 이 정보들은 여러 가지 기술과 방법을 동원하여 운전자들에게 전달되고 있다. 하지만 이런 정보를 수집하기 위한 수단으로 CCD 카메라를 이용하여 사람이 직접 눈으로 확인하는 방법, 교통량 수집 장치들을 이용하여 자동으로 수집하는 방법들이 있다. 또한 정제된 정보를 운전자들에게 전달하는 방법은 방송 매체를 사용하거나 직접 전달 시스템에 접속하여 정보를 디스플레이 하는 방식이 대부분이다. 교통량을 수집하는 방법으로 검지기를 이용하는데 검지기의 종류는 루프 검지기, 적외선 검지기, 레이더, 마이크로파 검지기, CCD 카메라를 이용하는 영상 검지기가 있다.

본 연구에서는 CCD 카메라를 이용하는 영상 검지기로 차선별 교통량, 속도, 점유율 등의 자료를 수집하는 영상 처리 시스템을 실제로 구현하기 위한 사전 단계로써 영상처리 기술을 통해 검지 구간을 통과하는 차량을 포착하는데 하드웨어로 구성하기 쉽고, 효율적인 알고리즘을 구현하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 기존 연구에 대한 설명을 하고, 3장에서 본 연구에서의 구성과, 구석점(corner point)을 구하기 위한 모폴로지 기법을 소개한다. 4장에서 실험 결과를 보이며, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 기존 연구

교통량에 대한 정보는 여러 방법으로 수집되고 있으나 도로 상에 설치된 검지기를 이용하는 것이 검지기가 위치한 구간에 대해서 신뢰성 있는 정보를 수집할 수 있는 좋은 방법이다.

CCD 카메라를 이용하는 영상 검지기는 카메라의 입력 수단을 이용하여 차량을 검지하는 것으로 루프 검지 및 마이크로 웨이브 검지 방식의 촉각적인 검지 방법에 비해 시각 및 인공 지능을 이용한 복합 검지기로써 다양한 정보를 제공한다. 타 검지기에 비해 검지 영역의 설정 및 수정이 쉽고, 설치 및 보정이 용이하고 교통 현장을 전송하여 직접 현장의 상황을 파악할 수 있다는 장점이 있어 최근 영상 검지 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

영상 처리를 이용한 검지 시스템들은 주로 도로 영상에서 배경 영상과 이동하는 차량 영상의 차이 영상을 이용하여 차량의 후보 영역을 포착하는 방법을 주로 사용하고 있으며, 원 영상에서 직접 차량 후보 영역을 포착하는 방법도 사용되고 있다. 또한 모션 벡터(motion vector)를 이용하여 차량 추적 방식을 이용하여 차량을 포착하기도 한다. 하지만 모션 벡터를 이용하는 경우에는 처리 시간이 길어 실질적으로 적용하기 어려운 방법이다. 이런 문제점들을 해결하고자 특징점만을 대상으로 모션벡터를 구하여 처리 시간을 단축하고 있다.

일반적으로 도로 영상을 생각하면 차량이 없는 배경 영상과 차량이 있는 배경 영상을 떠올리게 된다. 초기에는 주로 배경 영상을 미리 얻어 배경 영상과 차량 영상간의 차이를 이용한 방법들이 사용되어 왔다[3,4]. 배경 영상은 여러 개의 연속된 도로 영상에서 각 영상 간의 차이로부터 배경 영상을 추출하게 된다. 이 경우 연속된 영상의 수가 많을수록 정확한 배경을 영상을 얻을 수 있으며, 시간에 따라 변하는 과정을 적용하여 동적인 배경 영상을 얻는 시도도 이루어지고 있다. 이렇게 얻어진 배경 영상과 차량이 있는 영상을 비교하여 영상 차분법을 적용한다. 현재 프레임의 도로 영상에서 움직이는 차량을 간단하게 분리할 수 있다. 영상 차분법은 배경 영역의 변화가 적은 곳에서는 사용하기 쉬우나 배경영역의 변화가 많은 곳에서는 적용하기가 어렵고, 배경 영상을 항상 갱신해야 하는 부담을 가지고 있다.

또한 인접한 두 프레임의 영상 차를 이용하는 방법으로도 이웃하는 원 영상의 차이를 이용하여 차량을 분리하는 방법이 있다[5,6]. 그리고, 영상의 운동량을 계산한 후에 유사한 운동량을 가지는 영역을 서로 합쳐 도로 영상에서 운동물체 영역과 배경영역으로 분리하는 방법이 있다. 이 방법은 영상 운동량을 계산하는데 많은 시간이 소요되고, 영상의 잡음에도 매우 민감하게 작용한다.

본 연구에서는 전체 영상에 대한 모션 벡터를 구하는 경우 처리시간이 많이 소요되기 때문에 영상에서 특징점을 추출하여 특징점에 대한 모션 벡터만을 구하여 차량의 영역을

추출하는 방법을 적용한다. 여기서 특징점은 2차원 형상이 다면체와 평면의 특징을 갖는 구석점(corner point)을 말한다[7,8]. 구석점은 이진 에지 영상에서 지역적으로 굴곡이 심한 점을 말하며, 구석점을 구하는 방법들도 다양하게 연구되어 지고 있다. 대부분의 방법들이 영상의 화소에서 구석점의 강도를 구하는 방법을 사용하는데 대표적인 방법이 에지의 윤곽선을 따라 구석점의 강도를 구하는데 기울기 변화가 크고, 기울기의 방향이 급격하게 일어나는 점을 구석점으로 정의한다. 이런 과정을 식으로 표현하면 다음과 같다(9).

$$M(x,y) = \begin{bmatrix} \langle (\frac{\delta I(x,y)}{\delta x})^2 \rangle & \langle \frac{\delta I(x,y)}{\delta x} \frac{\delta I(x,y)}{\delta y} \rangle \\ \langle \frac{\delta I(x,y)}{\delta x} \frac{\delta I(x,y)}{\delta y} \rangle & \langle (\frac{\delta I(x,y)}{\delta y})^2 \rangle \end{bmatrix} \dots (1)$$

여기서 $\langle I \rangle$ 는 평활화(smoothing) 연산자이다. 구석점의 강도는 다음의 식에 의해서 구한다.

$$C_{HS}(x,y) = Det(M(x,y) - k Tarce^2(M(x,y))) \dots (2)$$

여기서 파라미터 k의 역할은 강도가 강한 에지에 민감한 부분을 제거하기 위한 파라미터이다. 이런 방법은 잡음에 매우 민감하고 평활화 연산이 필요하며, 처리 시간이 매우 긴 단점이 있다.

이런 문제를 해결하고자 화소의 밝기 정보를 이용한 SUSAN corner detector가 Smith와 Brady에 의해 제안되었다[10]. 이 방법은 일정 크기의 원 영역안에서 밝기 정보의 유사도를 구하여 임계치 이상의 밝기 정보 차가 발생하면 구석점으로 간주한다. 이 방법은 다음의 식에 의해 결정된다.

$$n(x,y) = \sum_{(i,j) \in N_{x,y}} \epsilon^{-\frac{|I(i,j)-I(x,y)|}{t}} \dots (3)$$

(x, y) 점에서의 비슷한 밝기 정보를 갖는 화소들의 $N_{x,y}$ 원 영역안에서 구석점의 강도를 구한다. t는 잡음에 민감하지 않도록 제어하기 위한 파라미터이다.

$$C_s(x,y) = \begin{cases} \frac{n_{max}}{2} - n(x,y) & \text{if } n(x,y) < \frac{n_{max}}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots (4)$$

유사도가 높은 점의 개수가 최대치의 반 이상을 차지하면 구석점의 강도를 지정해주고 그렇지 않으면 구석점으로 지정하지 않는다. 이 방법 또한 처리 시간이 많이 소요되며, 파라미터 조정에 따른 결과가 다양하게 나오는 단점이 있다.

본 연구에서는 처리 속도가 빠른 모폴로지 연산을 이용한 구석점 검출 방법을 사용하며, 하드웨어로 구현이 쉬운 방법을 이용한다.

III. 모폴로지를 이용한 검지 시스템

가. 시스템 구성도

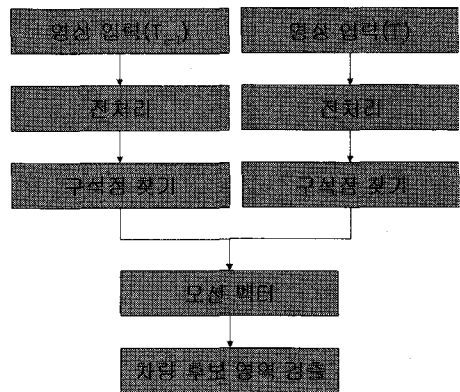


그림 1. 시스템 구성도
Fig 1. structure of Vehicles Detection System

시스템의 전체 구성은 그림1에 나타나 있다. CCD 카메라를 이용하여 원 영상을 획득하고, 원 영상에서 잡음을 제거하고, 빛에 의한 효과를 상쇄 시킬 수 있는 전처리 과정을 거친후에 특징점에 해당하는 구석점(corner point)을 추출한다. 그리고, 특징점을 이용하여 이전 프레임(previous frame)과 현재 프레임(current frame)을 이용하여 프레임간에 발생하는 특징점의 모션벡터를 구한다. 차량에 관한 특징점은 같은 운동량을 가질 것이기 때문에 그 특징점들을 그룹화하여 차량 영역을 결정한다.

나. 전처리

도로 영상에서는 주변 환경에 의한 영향이 많이 있다. 그 중 빛에 의한 그림자 효과와 야간영상에서는 헤드라이트에 의한 번짐 효과들이 있다. 이런 영향은 특징점을 추출하기

나 영역 분할과정에서 잘못된 결과를 일으키기 쉽다. 이런 영향을 최소화하기 위해서 본 연구에서는 지역 밝기차이(local difference)를 이용하였다[11].

$$f(x, y) = I(x, y) - \frac{\sum_{i,j} I(i, j)}{N} \dots\dots\dots (5)$$

식 5에서 f(x,y) 는 결과 영상을 의미하고, I(x,y)는 입력 영상을 의미한다. N은 window의 크기로 한 화소(pixel)에서 영향을 미치는 범위를 나타낸다.

다. 구석점 찾기

2장에서 소개한 바와 같이 구석점을 찾는 연구는 여러 가지 방법으로 이루어지고 있다. 이 중에서 본 논문에서는 처리 속도가 다른 방법에 비해 나은 모폴로지(morphology)를 이용한 방법을 적용한다[12]. 이 방법은 하드웨어적으로 구현하는데도 좋은 방법이다. Plessey가 제안한 방법에 비해 10배, Smith가 제안한 방법에 비해 2배 빠른 처리 속도로 수행된다[13].

모폴로지 처리 방법은 컴퓨터 비전, 영상처리에 많이 사용되는 방법으로 대칭적인 기본 구성요소(symmetrical structure element)를 이용하는 것이 일반적이다. 2차원 구성요소에서 $I_{SE}(x, y)$ 는 구성요소와 만나는 모든 화소들의 합을 의미하는 것이며, 기본 연산자(operator)인 확장(dilation)과 침식(erosion)으로 나타낼 수 있다. 영상 I에 대해서 구성요소(Segment Element:SE)가 주어진다면 영상의 침식(erosion)은 식 6과 나타낸다. 침식은 구성요소안에 있는 화소들 중에서 최소값을 취한다.

$$I_{SE}^e(x, y) = \min I_{SE}(x, y) \dots\dots\dots (6)$$

영상의 확장(dilation)은 침식(erosion)과 비슷하게 식 7 과 같이 표현할 수 있다. 확장은 구성요소 안에 있는 화소들 중에서 최대값을 취한다.

$$I_{SE}^d(x, y) = \max I_{SE}(x, y) \dots\dots\dots (7)$$

모폴로지 방법에서는 열림(opening)과 닫힘(closing) 연산을 통하여 영상의 변환(transform)을 하는데 영상의 열림 연산은 식 8 과 같이 나타낸다.

$$I_{SE}^o = (I_{SE}^e)^d \dots\dots\dots (8)$$

이와 비슷하게 닫힘 연산은 식 9와 같이 표현하는데 영상 변환의 결과는 구성요소의 모양과 크기에 따라 달라진다.

$$I_{SE}^c = (I_{SE}^d)^e \dots\dots\dots (9)$$

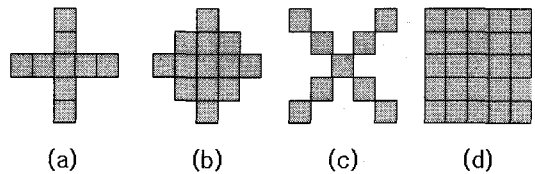


그림 2. 비대칭 구성요소
Fig 2. asymmetrical structure element

일반적으로 대칭적인 구성요소를 사용하지만 본 연구에서 적용한 구성요소는 비대칭 구성 요소(asymmetrical structure element)이며, 그림 2에서 제시한 비대칭 구성요소를 이용하여 열림(opening)과 닫힘(closing) 연산을 수행한다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 5*5 윈도우(window)를 이용한 구성요소를 사용하였다. 이와 같은 구성요소를 이용하는데 있어서 특징은 어두운 배경 하에서 밝은 색의 구석점 만이 효과를 나타내며, 가는 라인과 같은 작은 특징들은 제거되어 잘못 추출되는 경우가 있을 수 있다. 하지만 다른 구석점 추출기법에 비해 효과면에서는 좋은 결과를 보이고 있다.

그림 2에서 보는바와 같이 열림과 닫힘 연산에 적용되는 구성요소는 4개의 5*5 윈도우로 이루어져 있다.

비대칭 구성 요소를 적용하는데 있어서 주된 연산인 닫힘 연산은 그림 2의 (b)와 (a)에 대해서 침식과 확장 연산을 적용한다. 이때 같은 구성요소를 사용하는 것이 아니라 구성요소를 달리하여 적용한다. 다음 식에서 (+)는 그림 2의 (a), (x)는 그림 2의 (b), (◇)는 그림 2의 (c), (□)는 그림 2의 (d)를 구성요소로 선택하여 모폴로지 연산을 한다는 것을 의미한다. 식 10은 닫힘 연산을 의미하는데 $(I_+^d)_{\diamond}$ 는 그림 2 (a)를 이용하여 확장(dilation) 연산을 적용한 뒤에 그림 2 (b)를 이용하여 침식(erosion)연산을 적용한다. 최종적으로 구석점 강도 c(x,y)는 식 11과 같이 원 값에서 닫힘 연산에 의해서 얻어진 값의 절대값으로 나타낸다.

$$I_{+, \diamond}^c = (I_+^d)^e \dots\dots\dots (10)$$

$$C_+(I) = |I - I_{+, \diamond}^c| \dots\dots\dots (11)$$

C_+ 에 의해서 구해지는 구석점은 3개의 화소가 L자 모양으로 이루어진 경우를 추출하고 있다. 이것만으로는 전체의 구석점을 추출할 수 없기 때문에 45도를 회전시킨 모양의 구석점을 추출한다. 이때 적용되는 것이 식 12이다. 여기서는 그림 2(c)와 그림 2(d)의 구성요소를 적용한다.

$$C_x(I) = |I - I_{x, \square}^c| \dots\dots\dots (12)$$

최종적으로 구석점에 대한 결정은 두 각도에 따라 구해진 값이 큰 경우에 구석점으로 결정한다. 또한 구석점의 강도는 식 13과 같이 $C_{+, \times}(I)$ 에 의해서 결정된다.

$$C_{+, \times}(I) = |I_{+, \diamond}^c - I_{x, \square}^c| \dots\dots\dots (13)$$

그림 3은 비 대칭 구성요소를 가지고 모폴로지 기법을 적용하여 구해진 구석점을 표시한 것이다.

라. 움직임 추정 및 영역분할

모션 벡터는 주로 광류(optical flow)를 적용하여 구하는데, 이 방법은 많은 처리 시간이 요구된다. 하지만 앞에서 구해진 구석점에 대해서만 모션 벡터를 구한다면 처리시간이 매우 단축될 것이다. 모션 벡터는 현재 프레임의 구석점에 대해서 이전 프레임의 구석과 같은 구석점을 찾아 두 프레임간의 이동 벡터를 구한다.

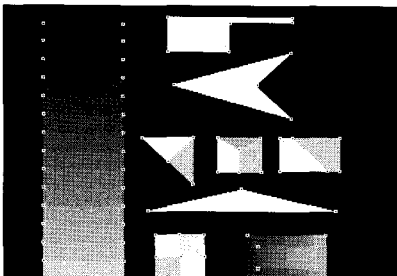


그림 3. 구석점 검출결과
Fig 3. Results of corner point detection

고정된 카메라에서 다중 차량을 검지하기 위해서 k-means algorithm을 이용하여 군집화(clustering) 알고리즘을 적용한다. 이때 사용되는 특징으로는 구석점의 x, y 좌표, 이동 거리, 이동 각을 이용한다.

이 특징에 대한 처리 방식에서도 다중 차량을 검출하는데 있어서 비슷한 속도로 나란히 달리는 두 차량이 하나의 영역으로 분리되는 것을 방지하기 위하여 위치에 대한 특징과 이동거리 및 이동 각에 대하여 비중을 달리하여 차량의 영역을 분할하였다. 군집화된 구석점들의 집합을 하나의 차량 영역으로 간주하였다.

IV. 실험 결과

실험은 강변북로의 한 지점에서 촬영한 데이터를 이용하였으며, 주간과 야간, 촬영 각도를 조정하여 실험에 사용하였다.

도로 영상에서의 구석점 검출 결과 도로 주변 배경과 차선, 차량에서 구석점이 많이 발견되었으며, 구석점 검출결과 는 그림 4에 잘 나타나 있다.

그림 4에서 구해진 구석점 중에서 배경에 해당하는 부분은 연속 영상에서도 위치가 변하지 않는 특성이 있으며, 차량에 해당하는 구석점은 연속 프레임에서 위치 변화가 생기게 된다. 구석점의 움직임을 추정하고 움직임을 없는 구석점을 제거한 상태가 그림 5에 나타나 있다. 차량이 아닌 배경 부분에서 움직임을 있는 특징점이 발생하는데 이것은 프레임 간에 흔들림이 발생하거나 특징점의 손실 및 추가에 의한 현상이다. 그림 5, 6은 도로 영상에서 모폴로지 기법을 이용하여 얻어진 특징점을 통해 차량을 검출한 결과이다. 차량의 영역을 정확하게 포착하고 있는 것을 볼 수 있다.

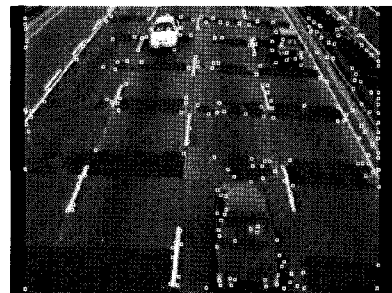


그림 4. 도로영상에서의 구석점 검출결과
Fig 4. corner point detection result in road Image

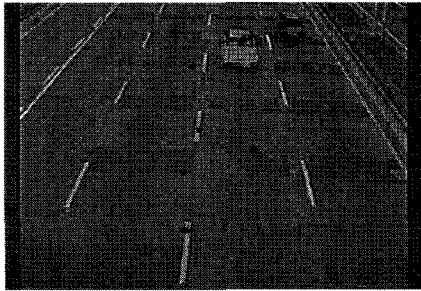


그림 5. 실험결과 1
Fig 5. experiment result 1

모폴로지 기법을 적용한 전처리 과정과 특징점에 의한 차량의 움직임 추정에 의한 영역 분할 과정이 처리 시간에서 기존 방법에 비해 매우 효율적이며, 또한 하드웨어로 구현하기에 적당한 방법으로 좋은 차량 검출 결과를 보이고 있다. 여기에 도로의 트래픽을 측정하는 단계, 속도를 측정하는 단계를 추가하면 차량 검출 시스템으로 충분히 사용할 수 있을 것이다.



그림 6. 실험결과 2
Fig 6. experiment result 2

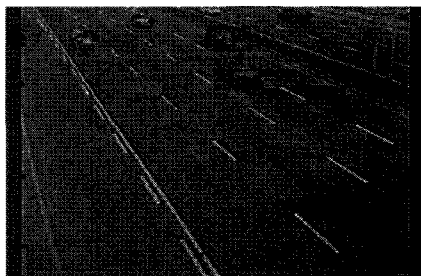


그림 7. 각도를 조정한 실험결과
Fig 7. experiment result that control angle

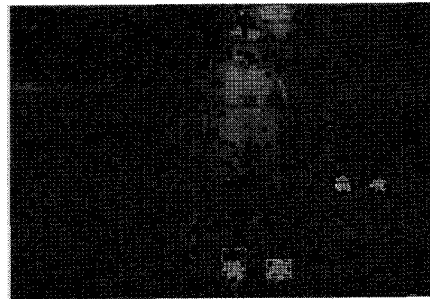


그림 8. 야간에서의 실험결과
Fig 8. Experiment result in night

그림 7은 카메라의 각도를 조정하여 차량 영역을 추출한 결과를 나타내며, 그림 8은 야간에 실험한 결과이다. 각도를 조절한 경우에도 좋은 결과를 얻었다. 하지만 그림 8과 같이 야간인 경우에는 카메라로 입력되는 차량의 모습보다 전조등의 정보가 더욱 강조되어 실제 차량의 영역을 구하기는 어려웠다. 하지만 전조등의 위치를 미루어본다면 가능성은 보일 수 있었다.

V. 결론

영상 처리 기반의 차량 검지 시스템을 개발하기 위해 모폴로지 기법을 적용하여 특징점을 검출하고, 특징점의 움직임 정보를 이용하여 차량을 포착하였다. 비 대칭 구성 요소인 4개의 구성요소를 이용한 모폴로지 연산을 통해 특징점을 찾아내는 처리 시간을 단축하였으며, 적은 양의 정보로 모션 벡터를 구해 차량을 포착한 결과 움직이는 차량에 대해서는 좋은 결과를 보였다.

도로 영상에서 얻어지는 정보는 움직이는 차량뿐만 아니라 도로의 트래픽, 평균 이동 속도 등 여러 가지 정보들이 있다. 향후 진행되어야 연구로는 도로의 트래픽 측정과 개별 차량의 속도를 구하는 부분과 도로의 평균 속도를 측정하는 부분이 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] S.H. Han, E.Y. Ahn, N.Y. Kwak, "Detection of Multiple Vehicles in Image Sequences for

Driving Assistance System", Computational Science and its Applications - ICCSA2005, LNCS 3480, pp 1122-1128, 2005

[2] U. Handmann, T. Kalinke, C. Tzomakas, M. Werner, W.v. Seelen, "An Image processing system for driver assistance", Image and Vision Computing 18, pp 367-376, 2000

[3] 김준철, 이준환, "영상처리 기술을 이용한 교통정보 추출", 한국 ITS 학회 논문지, 제2권, 제1호, pp75-84, 2003

[4] 최 형진, 양 해술, "화상처리 기술을 이용한 자동차 교통제어에 관한 연구", 한국정보처리 응용학회 논문지, 제1권, 제3호, pp 418-476, 1994

[5] 최기호, "논리연산을 이용한 주행차량 영상분할", 한국 ITS학회 논문지, 제1권, 제1호, pp10-16, 2002

[6] D. Koller, J. Weber, and J Malik, "Robust multiple Car Tracking with occlusion reasoning. In ECCV, Stockholm, Sweden, pp 189-196, 1994

[7] H. Assada, M. Brady, "The curvature primal sketch", IEEE PAMI, 8(1), pp 2-14, 1986

[8] G. Medioni, Y. Yasumoto, "Corner detection and curve representation using cubic B-splines", CVGIP 39, pp 267-278, 1987

[9] C.G. Harris, "Determination of ego-motion from matched points", Proc. Alvey Vision Conference on AI, pp 584-586, 1977

[10] S.M. Smith, J.M. Brady, "SUSAN - a New approach to low level image processing", Int. Journal of Computer Vision, 1997

[11] 한상훈, 조형제, "전방의 차량 포착을 위한 연속영상의 대상 영역을 제한한 효율적인 차선 검출", 정보처리학회 논문지, 제8-B권, 제6호, pp 705-716, 2001

[12] R.C Gonzalez, "Digital Image Processing", Prentice Hall, 2001

[13] Robrt Laganiere, "Morphological Corner Detection", Proceedings of on Computer Vision , pp 280-285, 1998

저 자 소 개



한 상 훈

1995년 동국대학교 대학원 컴퓨터 공학과 석사
 1998년-2000년 (주)엘립전자 선임 연구원
 2002년 동국대학교 대학원 컴퓨터 공학과 공학박사
 2003년- 현재: 국립한국재활복지대학 컴퓨터정보보안과 조교수
 관심분야 : 정보보안, 형태인식, 컴퓨터 비전, 멀티미디어