

특징점 추적을 이용한 실시간 끼어들기 위반차량 검지 시스템

이 희 신[†] · 정 성 환[†] · 이 준 환^{††}

요 약

본 논문에서는 특징점 추적을 이용한 끼어들기 위반차량 검지 시스템을 제안한다. 제안된 끼어들기 위반차량 검지 시스템의 전체적인 알고리즘은 영상 변환 및 진처리, 특징 추출, 추적대상 차량의 특징점 등록 및 추적, 끼어들기 위반차량 검지 등의 단계로 구성된다. 특히 형태학적 기술키 영상을 이용하여 특징점을 추출하므로써 주간 및 야간 영상에 대해 동일한 알고리즘을 적용하여 그림자, 기상 조건, 차량 전조등 및 조명 등에 강인한 영상 검지 시스템을 구성 한다. 제안한 시스템을 끼어들기 금지구간에서 주간, 야간, 비 오는 날 야간에 취득한 영상을 사용하여 실험한 결과 정인식률 99.49%와 오류율 0.51%를 보였다. 또한 실시간처리에 문제가 없는 평균 91.34frame/s의 빠른 처리속도를 나타냈다.

키워드 : 특징점 추적, 끼어들기 위반 검지, 실시간 처리, 조명 및 날씨 변화에 강인, 주야간 동일 알고리즘

Real-time Lane Violation Detection System using Feature Tracking

Hee-Sin Lee[†] · Sung-Hwan Jeong[†] · Joonwhoan Lee^{††}

ABSTRACT

In this paper, we suggest a system of detecting a vehicle with lane violation, which can detect the vehicle with lane violation, by using the feature point tracking. The whole algorithm in the suggested system of detecting a vehicle with lane violation is composed of three stages such as feature extraction, register and tracking in feature for the tracking-targeted vehicle, and detecting a vehicle with lane violation. The feature is extracted from the morphological gradient image, which results in constructing robust detection system against shadows, weather conditions, head lights and illumination conditions without distinction day and night. The system shows excellent performance for the data captured at day time, night time, and rainy night time as much as 99.49% for positive recognition ratio and 0.51% for error ratio. Also the system is so fast as much as 91.34 frames per second in average that it may be possible for real-time processing.

Keywords : Feature Tracking, Lane Violation Detection, Real-time Processing, Robust to Weather and Illumination Conditions, Possible to Detect Without Distinction of Day and Night

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 교통수단인 차량이 꾸준히 증가하고 있다. 이로 인해 많은 교통사고가 발생하고 있으며 교통사고의 예방을 위해 많은 교통법규가 시행되고 있다. 그 중 도로의 차선을 불법으로 변경하여 끼어들다가 발생하는 사고를 예방하기 위해 차선 변경 금지선을 지정하여 복잡한 도로의 진입로 등에서 끼어들기 위반차량을 단속하는 방법이 있다. 이는 교통의 원활한 흐름을 유도하며 접촉사고 등

을 예방한다.

위와 같이 차선변경 금지구역에서 차선을 변경하여 끼어들기를 하는 차량을 단속하기 위해서 다양한 단속 방법이 시행되고 있으며, 가장 보편적인 방법으로 위반차량 단속영역 현장에서 교통경찰이 직접 상존하면서 시각적으로 끼어들기 차량을 적발하고, 범칙금 발부 조치하는 방법이 있다. 그런데 이와 같이 교통경찰이 직접 단속하는 경우에는 위반차량 적발 시, 위반차량을 증명할 수 있는 증거확보가 쉽지 않다. 이로 인해 위반차량 운전자와의 시비가 자주 벌어지게 되며 또한 위반차량의 단속을 위해서는 많은 인원이 동원되어야 하는 문제점이 있다. 따라서 교통경찰이 없는 곳에서는 교통법규를 무시하고 주행하는 위반차량이 많아지게 되어 사고유발은 물론 교통흐름에 방해가 되는 문제점이 있

[†] 준 회 원 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

^{††} 정 회 원 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)

논문접수: 2010년 9월 28일

수정일: 1차 2010년 12월 13일, 2차 2011년 1월 13일

심사완료: 2011년 2월 8일

다. 그밖에 위반차량 검지영역을 촬영하도록 카메라를 설치하여, 해당 검지 영역을 실시간으로 촬영하고, 촬영된 영상을 확인하여 위반차량을 적발하는 방법이 사용되고 있다. 그러나 이 방법 역시 촬영된 영상을 모두 사람이 확인해야 하므로, 많은 인력과 시간을 필요로 하는 문제점이 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해서 최근에는 영상 처리 기술을 이용한 영상검지방법을 도입하려는 시도가 있어 왔다. 지금까지 영상 검지를 위한 차량 검출 및 추적에 대한 연구는 크게 차영상 방식(difference image method), 배경 제거 방식(background subtraction method), 모델 기반 방식(model based method), 영역 기반 방식(region based method), 특징 기반 방식(feature based method) 등으로 구분할 수 있다.

차영상 방식은 연속적인 두 영상의 차이인 차영상을 구하여 이동 차량을 검출하는 방식이다. 이 방식은 간단한 하드웨어로 신속히 실시간 계산이 가능하다는 장점이 있으나 정지 또는 저속 차량의 검지가 불가능하며 검출된 차량 또한 실제보다 훨씬 크게 나타나므로 정확한 추적이 어렵다는 단점이 있다[1].

배경제거 방식은 특정 순간의 영상을 차량이 없는 배경영상과 비교하여 안정적으로 차량을 검출하는 방식이다. 배경의 밝기가 시시각각 변하는 영상에 대해서 적합한 배경영상을 추정하기 위해서는 배경영상 모델을 적절히 설정하는 것이 중요하다. 간단한 모델이 적용될 수도 있으나 이때는 추정된 배경과 실제 배경의 차이가 커 배경들이 차량으로 인식되는 경우도 발생된다. 보다 더 지능적인 모델은 계산에 많은 시간이 소모되어 실시간 처리가 힘들다는 단점이 있다[2][3][4].

영역 기반 방식은 각 차량에 대해 영상 내 비슷한 밝기로 연결된 영역을 검출하고 이들의 상관관계를 이용하여 추적하는 방식이다. 이러한 영역 기반 방식은 교통량이 많지 않을 때는 비교적 잘 수행된다. 하지만 교통량이 많을 때는 인접한 차량들을 분리하여 검출하기가 어렵다는 단점이 있다[5][6].

모델 기반 방식은 가능한 차량 형태의 3차원 모델을 미리 설정하여, 도로상의 차량을 주어진 모델의 한 가지(instance)로 인식하는 방식이다. 모델 기반 방식은 차량의 완전한 분리인식은 가능하나 도로상에 나타날 수 있는 모든 차량에 대해 자세한 모델을 미리 다 설정해야 하고 영상 내에서 모든 모델에 대해 탐색을 해야 하기 때문에 실시간 처리가 불가능하다는 단점이 있다[7].

특징 기반 방식은 개별 차량을 검출하기에 앞서 차량내의 특징들을 검출하는 방식으로 특징으로는 점, 선분 등이 사용된다. 이렇게 검출된 특징들이 시간에 따라 추적되는데 동일 차량의 특징들은 같은 순간 속도 및 가속도로 움직인다는 가정에 의해 개별 차량을 검지한다. 이 방식은 하나의 차량에 수많은 특징들이 존재하므로 부분적으로 검치는 차량에 대해서도 안정적인 추적이 가능하다는 장점이 있으나 영상 내에서 비슷한 속도와 가속도로 움직이는 차량들이 합

쳐져서 인식될 수 있고, 많은 수의 특징들을 추적하고 이들을 차량별로 분류(grouping)해야 하기 때문에 계산량이 많아서 실시간 처리에 부적합하다는 단점이 있다 [8][9].

흐릿 및 야간 영상과 같이 차량이 진조등을 키고 운행하거나 주변 조명에 의한 잡음이 많은 영상에 대해서는 기존의 차량 검출 및 추적 알고리즘에 한계가 있어 주로 차량 진조등 검출 알고리즘에 대한 연구가 진행되어 왔다 [10][11][12]. 특히 기존에 제안된 차량검출 및 추적 방법들은 주간 영상과 야간 영상에 대해 동일한 알고리즘을 사용하지 못하여 주야간에 서로 다른 알고리즘이 적용되었기 때문에 그 전환시점에서의 적절한 알고리즘 적용이 큰 문제가 되어 왔다.

영상검지 방법을 도입하여 끼어들기 위반 차량을 검지하는 방법은 국외에서는 전무한 실정이며 국내에서는 다음과 같은 연구가 이루어 졌다.

김완기, 류부형 (2008)은 영상의 밝기값 정보를 이용하여 개별차량을 검출하고 영역기반 추적방식을 적용하여 끼어들기 위반차량을 검지하는 시스템을 제안하였다 [13]. 하지만 이 방법은 영상의 밝기값에 의존하여 차량을 검출해야하기 때문에 야간 및 기상 조건의 변화가 심한 영상에 대해 적용하기 어렵다는 단점이 있고, 교통량이 많아 부분적으로 검치는 차량에 대해서는 서로 분리하여 검출하기가 어렵다는 영역기반 추적방식의 문제점을 가진다.

이희신, 이준환 (2009)은 특징점 추적을 이용한 끼어들기 위반차량 검지 시스템을 제안하였다 [14]. 이 방법은 특징점 기반 추적방식을 적용하였기 때문에 부분적으로 검치는 차량에 대해서도 안정적인 추적이 가능하다는 장점이 있으나 이 방법 역시 야간 영상에 취약하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 형태학적 기울기(morphological gradient) 영상을 이용하여 차량의 특징점을 추출하여 추적하므로써 주간 영상과 야간 영상에 대해 동일한 알고리즘을 적용한다. 제안한 방법은 주야간 전환시점에서 발생하는 문제점들을 해결함과 동시에 그림자, 기상 조건, 차량 진조등 및 조명 등에 강인한 영상 검지 시스템을 구성 한다. 또한 실시간 처리가 가능하도록 속도를 개선한 특징기반 추적 방식을 이용하여 끼어들기 위반차량을 빠르고 안정적으로 검지하는 시스템을 제안한다.

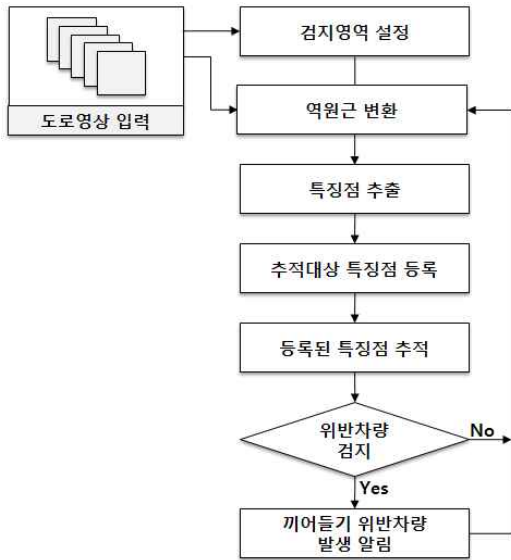
2. 끼어들기 위반차량 검지 시스템

제안한 전체적인 끼어들기 위반차량 검지 시스템의 전체적인 흐름을 (그림 1)에 나타내었으며 역 원근 변환, 특징점 추출, 추적대상 특징점 등록, 등록된 특징점 추적, 위반차량 검지 등으로 구성된다.

2.1 검지영역 설정 및 역 원근 변환

(1) 역 원근 변환

실제 도로를 카메라로 촬영할 경우 카메라와의 거리에 따라 왜곡 현상이 나타나며 이로 인해 원거리와 근거리에 있



(그림 1) 끼어들기 위반차량 검지 시스템 흐름도

는 차량을 추적할 때 탐색 반경에 차이가 발생하게 된다. 특히 차량이 일정한 속도로 진행한다 하더라도 영상 내에서는 근거리 접근할수록 차량의 이동거리가 증가하기 때문에 차량을 추적할 때 탐색 반경 또한 커지게 된다. 때문에 일정속도를 유지하는 동일 차량이라 하더라도 차량이 카메라의 근거리 접근할수록 추적에 더 많은 시간이 소요되는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 추적 속도를 위해 원근변환[15]을 적용하여 차량의 거리에 상관없이 일정한 추적 반경을 유지시킨다. 또한 카메라가 고정되어 있는 상황에서는 원근변환을 매 프레임마다 할 필요 없이 최초 한번만 수행 하면 된다. 때문에 본 논문에서는 최초 한번만 원근변환을 수행하며 이때 산출된 좌표를 계속 이용함으로써 원근변환에 소요되는 시간을 최소화 하였다. 식 (1)은 역원근 변환을 표현하며 이를 규정하는 파라미터 (a, b, ... h)는 (그림 2)의 변환 전후의 4개 이상의 대응점으로부터 산출된다. 또한 식 (1)에서 (x,y)는 변환 전의 화소좌표 (X, Y)는 변환후의 화소좌표 값을 표현하고 있다.

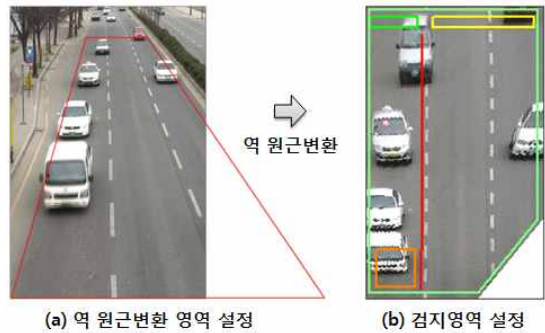
$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$$

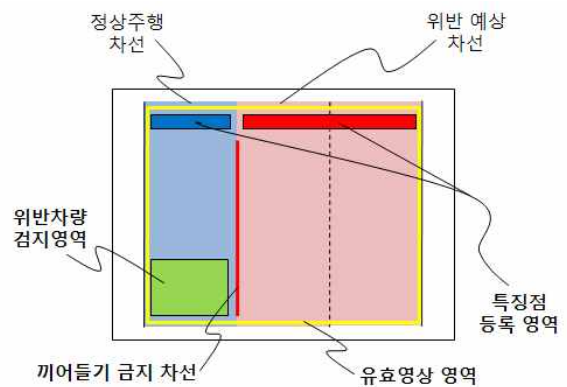
(2) 검지영역 설정

제한한 시스템은 고정카메라의 영상을 이용하여 끼어들기 위반 차량을 검지해야 하기 때문에 검지영역 설정이 필수적이며 (그림 2)와 같이 설정한다. 먼저 입력영상을 역 원근변환하기 위해 (그림 2 (a))와 같이 네 점을 이용하여 역 원근 변환 영역을 설정하고 입력 영상을 역 원근 변환한 후 변환된 영상위에 (그림 2 (b))와 같이 검지영역을 설정한다.

설정해야할 검지영역은 특징점 등록영역, 끼어들기 금지



(그림 2) 역 원근변환 및 검지영역 설정



(그림 3) 검지영역

<표 1> 검지영역별 역할

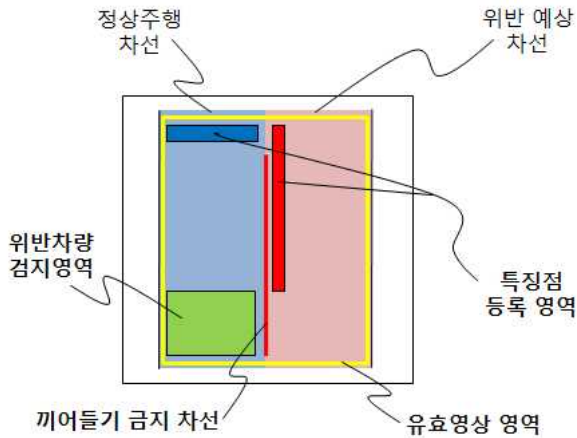
영역	내용
특징점 등록영역	· 정상 주행 차선과 위반 예상 차선에서 차량이 진입하는 부분을 나타내며, 이 영역에서 검출된 차량의 특징점을 추적 대상 특징점으로 등록하여 추적을 진행한다.
끼어들기 금지차선	· 도로상의 끼어들기 금지차선을 나타낸다.
위반차량 검지영역	· 위반차량을 최종 감지하는 영역이다.
유효 영상 영역	· 특징점 등록 및 추적을 진행할 유효 영역을 나타낸다.

차선, 위반차량 검지영역, 유효 영상 영역 등 총 네 가지로 (그림 3)과 같고 각 영역의 역할은 <표 1>에 나타내었다.

(그림 4)는 검지영역이 위반 예상 차선의 일부만을 포함할 경우의 검지 영역 설정을 나타내는 것으로, 특징점 등록 영역을 끼어들기 금지차선에서 정상 주행 차선으로 진입하는 부분에 설정하여 검지영역 밖에 존재하는 차선에서 진입한 끼어들기 위반 차량도 검지할 수 있도록 한다.

2.2 특징점 추출

특징기반 추적 알고리즘은 사용되는 특징의 종류에 따라 중점(centroid), 경계(perimeter), 지역(area), 색상(color)등을



(그림 4) 검지영역이 일부 차선만 포함 할 경우 검지영역 설정

포함하는 전역특징 기반 알고리즘(global feature-based algorithm)[16], 선분(line segment), 곡선(curve), 코너(corner)등을 포함하는 지역특징 기반 알고리즘(local feature-based algorithm)[8][9], 그리고 특징들의 거리, 기하학적 관계(geometric relations) 등을 포함하는 종속그래프 기반 알고리즘(dependence-graph-based algorithm)[17] 등 3가지로 분류된다.

위 3가지 알고리즘 중 도로영상의 차량추적에 가장 적합한 알고리즘은 지역특징 알고리즘으로 주로 차량 모양의 기준점을 잘 나타낼 수 있는 코너점(Corner Point)이 특징으로 사용된다[8]. 따라서 본 논문에서도 코너점을 이용한 지역특징 기반 알고리즘을 적용하여 차량을 추적한다.

코너 추출 분야에서는 Susan[18], Harris[19]등이 대표적이며 본 논문에서는 이 두 알고리즘과 비교 했을 때 안정성과 정확도는 비슷한 반면 속도는 상대적으로 빠른 M. Trajkovic, M. Hedley가 제안한 MIC(minimum intensity change) 알고리즘[20]을 사용하여 코너점을 추출한다.

이때 현재까지 영상 검지 시스템의 문제점으로 지적되어 온 그림자, 기상 조건, 차량 전조등 및 조명 등에 관계없이 안정적인 코너점 추출을 위해 형태학적 기울기(morphological gradient) 영상을 이용하여 코너점을 추출한다.

(1) 형태학적 기울기를 이용한 전처리

기존의 영상 검지 시스템은 대부분 차량부분과 도로의 밝기차이에 의해 차량을 인식하므로 차량의 전조등이 밝게 비춰지는 야간 영상의 경우 주간 영상과 동일한 알고리즘을 사용하지 못하여 주야간에 서로 다른 알고리즘이 적용된다. 따라서 그 전환시점에서의 적절한 알고리즘적용이 큰 문제가 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 차량의 코너점을 추출할 때 원영상 대신 원영상의 윤곽선 영상을 이용한다. 윤곽선을 구하는 방법은 여러 가지가 있으나 실시간 시스템에 적용하기 위해서는 우선 속도가 빨라야 하며 도로영상에 잡음이 많기 때문에 잡음에도 민감하지 않아야

한다. 형태학적 기울기 영상은 잡음에 민감하지 않으며 속도 또한 빠르기 때문에 본 논문에서는 형태학적 기울기를 이용해 윤곽선 영상을 산출한다[21]. 이때 칼라영상(color image)은 명암영상(gray image)으로 변환한 후 적용한다.

(그림 5)은 주간과 야간 영상에 대해서 대표적인 윤곽선 검출 알고리즘인 라플라시안 마스크를 이용한 방법과 본 논문에서 사용한 형태학적 기울기 방법을 서로 비교한 것이다.

(그림 5)에서 라플라시안 마스크를 이용한 방법은 도로의 잡음에 상당히 민감한 반면에 형태학적 기울기 방법은 도로의 잡음에 둔감하면서도 차량의 윤곽선을 효과적으로 추출하는 것을 볼 수 있다.

	원영상	라플라시안 마스크	형태학적 기울기
주간영상			
야간영상			

(그림 5) 주, 야간 영상의 윤곽선 추출 결과

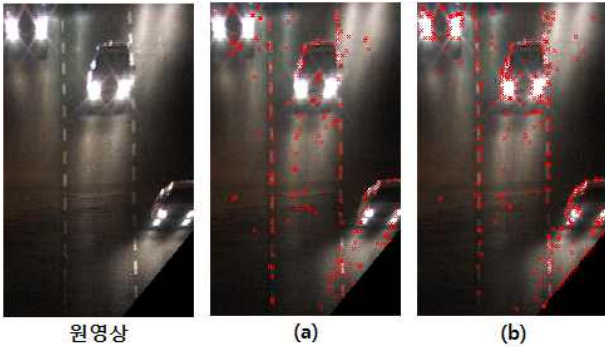
(2) 형태학적 기울기 영상을 이용한 특징점 추출

(그림 6)과 (그림 7)은 원영상을 이용한 특징점 추출 결과와 본 논문에서 제안한 형태학적 기울기 영상을 이용한 특징점 추출 결과를 나타낸다.

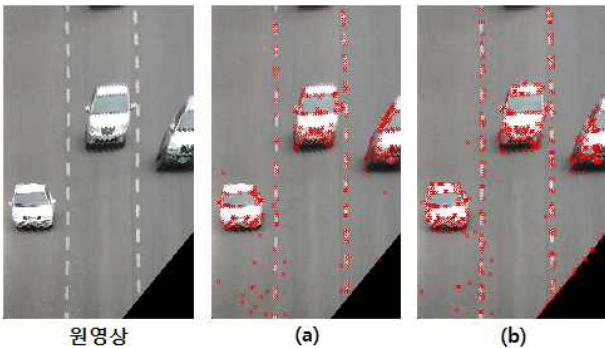
(그림 6)은 야간 영상의 특징점 추출 결과를 나타내며 (a)는 원영상을 이용한 특징점 추출 결과이고 (b)는 형태학적 기울기 영상을 이용한 특징점 추출 결과이다. (a)와 (b)에서 영상의 원거리에 있는 차량 두 대의 특징점 추출 결과를 보면 (a)는 전조등에서 특징점이 거의 추출 되지 않은 반면 (b)는 전조등에서도 특징점이 안정되게 추출됨을 볼 수 있다.

이는 차량의 전조등 정보만 존재하는 야간 영상에서도 주간 영상과 동일한 특징점 추적 알고리즘의 이용을 가능하게 하는 것으로, 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 주간영상과 야간영상에 동일한 알고리즘을 적용함으로써 기존 영상 검지 시스템에서 주간 영상과 야간영상에서 동일한 알고리즘을 사용하지 못하여 발생하는 문제점을 해결할 수 있다.

(그림 7)은 주간 영상의 특징점 추출 결과를 나타내며 (a)는 원영상을 이용한 특징점 추출 결과이고 (b)는 형태학적 기울기 영상을 이용한 특징점 추출 결과이다. (a)와 (b)에서 차량들의 특징점 추출 결과는 두 경우 모두 안정되게 추출되었지만 영상 왼쪽 아래의 도로 부분에서 추출된 특징점들을 보면 (b)의 형태학적 기울기 영상을 이용한 특징점 추출 결과가 잡음에 덜 민감함을 알 수 있다.



(그림 6) 야간 영상의 특징점 추출
(a) 원영상의 특징점 (b) 형태학적 기울기 영상의 특징점



(그림 7) 주간 영상의 특징점 추출
(a) 원영상의 특징점 (b) 형태학적 기울기 영상의 특징점

2.3 추적 대상 특징점 등록 및 추적

(1) 추적 대상 특징점 추출 및 등록

먼저 추적 대상 특징점 추출 단계에서는 특징점 등록영역에서 MIC 알고리즘[20]을 이용하여 특징점을 추출한다. 추적 대상 특징점의 개수가 많을 경우 한 대의 차량에 필요 이상의 많은 특징점들이 등록되어 추적 속도가 느려지기 때문에 추적 대상 특징점을 추출할 때는 MIC 알고리즘의 임계값(T_1, T_2)을 크게 설정하여 코너 성분이 강한 점만 추출함으로써 추적 속도를 향상시킬 수 있다[14].

등록 단계에서는 앞에서 추출된 특징점을 특징점이 추출된 위치의 차선정보와 함께 추적 대상으로 등록한다. 특징점이 추출된 위치의 차선정보는 위반차량 검지 단계에서 위반차량 여부를 최종 판단하는데 사용한다.

(2) 추적대상 특징점 추적

특징점 추적은 특징점의 이동 위치를 찾기 위해 이전영상의 특징점을 중심으로 한 $n \times n$ 영상과 현재영상에서 특징점 주변 탐색창 내에 모든 픽셀들을 중심으로 하는 $n \times n$ 영상들 간의 상관관계 비교를 통해서 가장 유사한 지점을 검색하여 특징점의 위치를 갱신하는 방법을 사용하는 것이 일반적이다[20]. 이 방법은 특징점 주변 탐색창 내에 존재하는 모든 픽셀들과의 상관관계를 구해야 하기 때문에 속도가 느리다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이 문제점을 보완하여 시스템의 속도를 향상시키기 위해 탐색창 내의 모든 픽셀들과의 상관관계를 비교하는 대신 현재 영상의 탐색창 내에서 추출된 특징점들만을 대상으로 상관관계를 구하여 특징점을 추적한다. 이전 영상에서 존재했던 특징점은 현재영상에서도 존재하기 때문에 이 방법을 이용함으로써 추적 속도를 향상시키고 안정성은 그대로 유지시킬 수 있다. 특히 탐색창 내에서 특징점을 추출할 때 MIC 알고리즘의 임계값(T_1, T_2)을 작게 설정하면 이전 영상에서 추출된 특징점이 현재영상에서도 추출될 확률이 더 높아지기 때문에 추적의 안정성을 향상시킬 수 있다[14].

제한한 시스템에서 추적 대상 특징점 추적에 사용한 상관계수는 정규화 된 교차 상관관계(normalized cross correlation:NCC)[22]이다. 크기가 $2n \times 2n$ 인 두 개의 영상 F_1 과 F_2 의 NCC 계수는 식 (2)와 같이 정의 된다.

$$c(f,g) = \frac{\sum_{x=-n}^n \sum_{y=-n}^n (f(x,y) - \bar{f})(g(x,y) - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{x=-n}^n \sum_{y=-n}^n (f(x,y) - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{x=-n}^n \sum_{y=-n}^n (g(x,y) - \bar{g})^2}} \quad (2)$$

식 (2)에서 $f(x,y)$ 와 $g(x,y)$ 는 비교 영상 F_1 과 F_2 의 x, y 좌표에서 밝기값을 나타내고 \bar{f} 와 \bar{g} 는 각 영상의 밝기값 평균을 나타낸다. NCC 계수는 -1에서 1사이의 값을 가지며 $C(f,g) = 1$ 일 때 동일한 영상임을 의미한다.

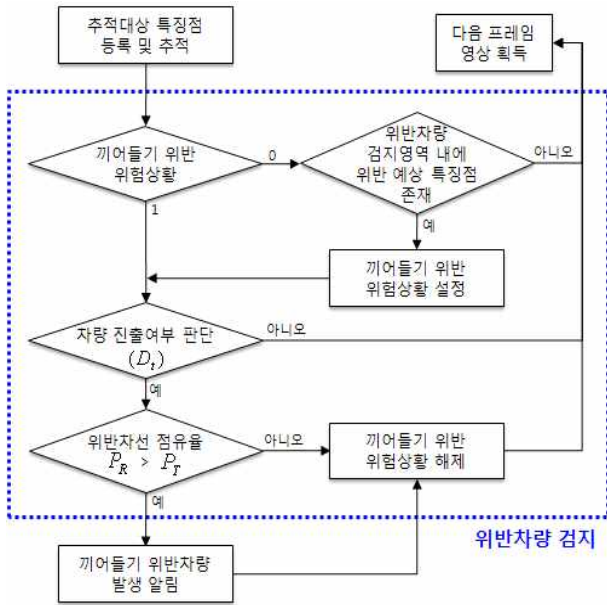
MIC 알고리즘의 임계값(T_1, T_2)를 크게 할 경우 도로와 유사한 색상의 차량의 경우 특징점이 많이 생기지 않기 때문에 특징점 추적에 실패할 가능성이 많아지며 이를 작게 하면 NCC에 의한 비교횟수가 증가하여 속도에 영향을 미친다. 하지만 일반적으로 탐색영역에서 코너 특징점의 비율 p 는 크지 않기 때문에 계산량 보다는 추적 성공률의 관점에서 이를 작게 설정한다. 만약 탐색영역이 $N \times N$ 화소라면 모든 화소를 탐색할 경우의 NCC 계산은 $O(N^2)$ 이지만, 제안된 방법에서와 같이 코너 점만을 대상으로 할 경우 코너 특징점의 비율이 $p \leq 1$ 라면 $O(pN^2)$ 이다.

2.4 끼어들기 위반차량 최종검지

끼어들기 위반차량 최종 검지 방법은 (그림 8)과 같이 끼어들기 위반 위험상황 판단, 차량이 위반차량 검지영역에 진입 후 진출하는 시점 판단, 끼어들기 위반차선 점유율 산

출 및 위반차량 발생 알람 등의 단계로 구성된다.

먼저 위반차량 금지영역 내에 위반 예상 특징점이 존재할 경우 끼어들기 위반 위험상황을 설정하고 위반차량 금지영역에 진입한 차량의 진출여부를 판단한다. 이때 위반 예상 특징점은 '2.3 (1) 추적 대상 특징점 추출 및 등록' 단계에서 특징점을 등록할 때 함께 저장했던 차선정보가 위반 예상 차선인 경우를 말한다.



(그림 8) 위반차량 금지 세부 흐름

위반차량 금지영역에 진입한 차량의 진출 시작점 여부 (D_t)는 식 (3)을 이용해 산출한다.

$$D_t = \begin{cases} 1, & \frac{PF_{occ}}{PF_t} < T_{PF} \\ 0, & \frac{PF_{occ}}{PF_t} \geq T_{PF} \end{cases} \quad (3)$$

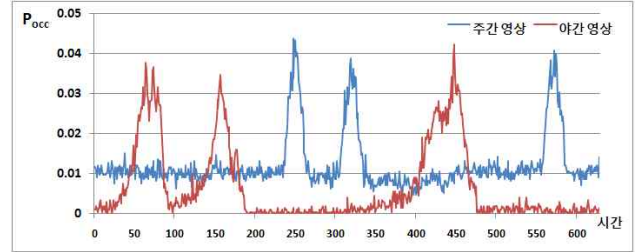
이때, $PF_t = \max(PF_{t-1}, PF_{occ})$

$$PF_{occ} = \frac{N_{fdr}}{N_{dr}}$$

식 (3)에서 특징점 점유율(PF_{occ})은 위반차량 금지영역의 크기(N_{dr})와 위반차량 금지영역 내에 존재하는 특징점 개수 (N_{fdr})의 비율을 나타내며, 특징점 최대 점유율(PF_t)은 끼어들기 위반 위험 상황이 설정된 이후 특징점 점유율의 최댓값을 나타낸다. 여기서 특징점 최대 점유율과 특징점 점유율의 비가 주어진 차량 진출 임계값(T_{PF})보다 작을 경우 위반차량 금지영역에 존재하던 차량이 진출($D_t = 1$)을 시작하는 것으로 판단하고, 차량 진출 임계값 보다 크거나 같을 경우 다음프레임으로 진행한다. 이때 차량 진출 임계값은 사용자

가 임의로 설정한다.

(그림 9)는 주간 영상과 야간 영상 각각에서 차량 3대가 지나갔을 때 금지영역내의 특징점 점유율을 나타낸 것이다.



(그림 9) 위반차량 금지영역 내에 차량 통과 시 특징점 점유율

위반차량 금지영역에 진입한 차량이 금지영역 밖으로 진출한 것으로 판단되면 위반차선 점유율(P_R)을 산출하여 끼어들기 위반 여부를 최종 판단하고 나머지 경우에는 다음 프레임으로 진행한다.

위반차선 점유율(P_R)은 위반차량 금지영역 내에 존재하는 추적된 특징점들 중에서 위반 예상 차선에서 등록된 특징점의 비율을 의미하며 식 (4)과 같이 정의 한다. 이때 N_T 는 위반 예상 차선에서 등록된 특징점의 개수이고, N_F 는 정상 주행 차선에서 등록된 특징점의 개수를 나타낸다.

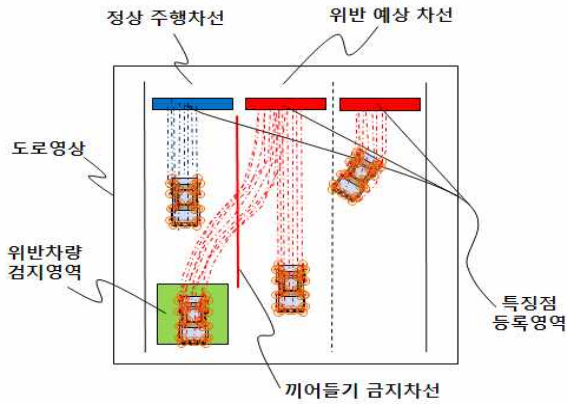
$$P_R = \frac{N_T}{N_T + N_F} \quad (4)$$

또한 위반차선 점유율은 위반차량 금지영역에 진입한 차량의 특징점이 등록된 시점에서 해당 차량이 위반차선을 점유하고 있었던 비율을 나타낸다. 위반차선 점유율이 주어진 점유율 임계값(P_T)을 초과할 경우 위반차량으로 판단하고 위반차선 점유율이 주어진 점유율 임계값 이하일 경우 정상 차량으로 판단한다. 이때 임계값을 임의로 설정하여 끼어들기 위반차량의 최종 금지 조건을 설정할 수 있다.

<표 2>는 임계값에 따른 위반차량의 최종 금지 예를 나타낸 것이다.

<표 2> P_T 에 따른 위반차량의 최종 금지 예

$P_T \backslash P_R$	끼어들기 금지 차선		특징점 등록영역
	30% / 70%	50% / 50%	70% / 30%
75%	정상	정상	정상
65%	위반	정상	정상
50%	위반	정상	정상
35%	위반	위반	정상
25%	위반	위반	위반



(그림 10) 위반차량 검지 예

위반 차량이 발생하면 위반차량 검지영역에 진입한 끼어들기 위반차량을 최종검지하고 끼어들기 위반 위험상황을 해제한 후 다음 프레임으로 진행한다. 반대로 정상 차량이면 끼어들기 위반 위험상황을 해제한 후 다음 프레임으로 진행한다. 여기서 끼어들기 위반 위험상황 해제 시 위반차량 검지영역 위에 존재하는 추적된 특징점 들을 삭제하는 것도 포함된다.

3. 실험 및 검토

일반적으로 출퇴근 시간에 자동차 전용도로 등의 진출부에서 끼어들기가 빈번하게 발생하며 이러한 영상을 주야간에 취득하여 실험에 사용하는 것이 바람직하다. 하지만 이러한 영상을 얻는데 필요한 장비와 경비 등의 제약으로 도시 간선도로의 육교위에서 촬영한 주간(12:00~12:25), 야간(20:00~20:25), 비 오는 날 야간(23:00~23:25) 세 종류의 영상을 실험에 사용하였다. 영상의 크기는 모두 720×480이며 검지영역 부분에 역원근변환을 적용한 영상의 크기는 100×250이다. 실험에 사용한 세 종류의 영상을 (그림 11)에 나타내었다. 끼어들기 금지 구간은 취득한 영상 내에 임의로 설정하여 실험하였으며, 위반차선 점유율의 임계값(P_T)을 90%로 설정 하여 끼어들기 위반예상 차선을 90% 이상 점유한 상태로 끼어들기 위반을 한 차량만 최종 검지하였다. 실험에 사용한 컴퓨터는 Intel Core 2 Duo 2.13GHz 의 CPU를 장착하였다.

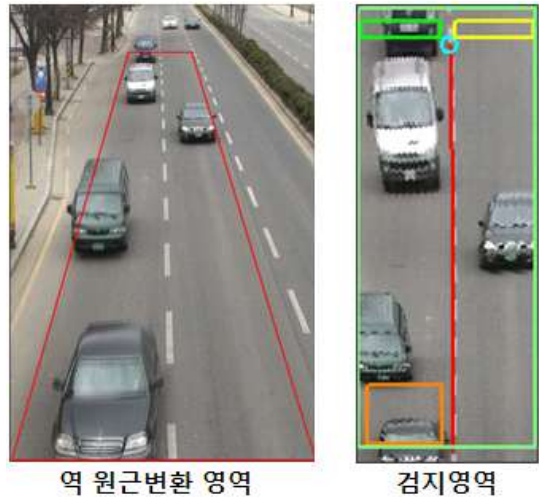
3.1 검지영역 설정

(그림 12)는 실험에 사용할 영상에 대한 검지영역 정보이다. 야간 영상과 비 오는 날 야간 영상에 대해서도 같은 방식의 검지영역 정보를 사용하였다.

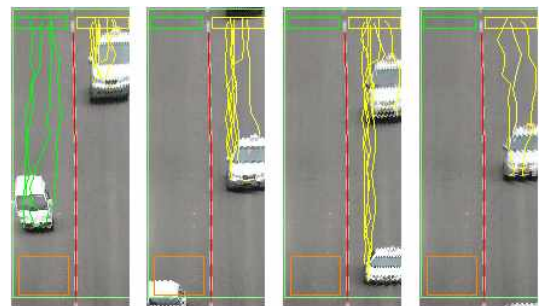
(그림 13, 14, 15)는 각각 영상에서 정상 주행 중인 차량들의 추적 경로를 나타낸 것이다. 여기서 노란색 선은 위반예상 차선에서 등록된 특징점의 추적 경로를 나타내고 녹색 선은 정상 주행 차선에서 등록된 특징점의 추적 경로를 나타낸다.



(그림 11) 실험 영상



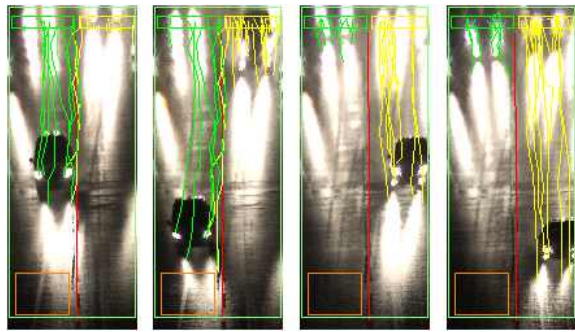
(그림 12) 검지영역 정보



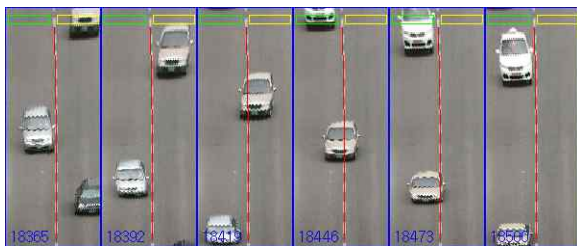
(그림 13) 주간 영상에서 정상 주행 차량의 추적 경로



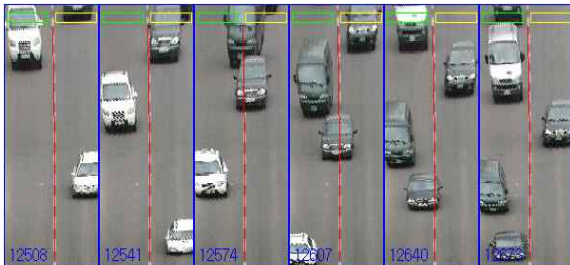
(그림 14) 야간 영상에서 정상 주행 차량의 추적 경로



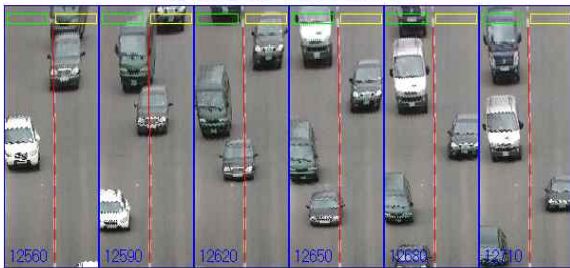
(그림 15) 비 오는 날 야간 영상에서 정상 주행 차량의 추적 경로



(그림 16) 끼어들기 위반차량 검지(주간)



(a) 첫번째 차량 끼어들기 위반 검지



(b) 두번째 차량 끼어들기 위반 검지

(그림 17) 끼어들기 위반차량 두 대 연속 정상 검지(주간)

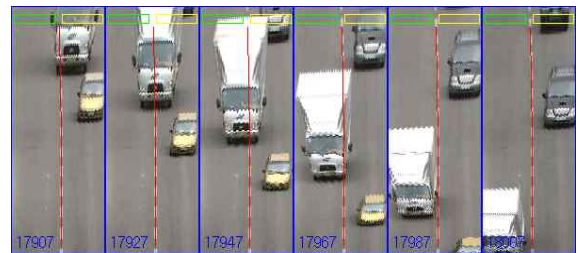
3.2 주간 영상 실험

(그림 16)은 끼어들기 위반차량을 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다.

(그림 17)은 끼어들기 위반차량이 두 대 연속으로 발생하였을 때 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다. (a)에서 최초 끼어들기 위반차량인 검정색 승용차를 최종 검지하였고, 검지된 차량의 뒤에 있는 승합차를 (b)에서 최종 검지하였음을 볼 수 있다. 그림에서 끼어드는 두 대의 차량은 특정점 등록영역 부근에서는 분리되어 있지 않

기 때문에 구역화되어 추적하기 어렵다. 하지만 제안한 방법에서는 카메라에 가까운 출구 부분 즉 차량이 카메라의 뷰(view)에 의해 분리될 가능성이 많은 영역에서 최종적인 끼어들기 위반이 검지되기 때문에 진입부의 검침은 문제시 되지 않는다.

(그림 18)은 대형차의 끼어들기 위반을 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다. 이 그림에서도 대형차량과 인접한 차량을 진입부에서는 구역화하기 어려우나 진출부에서는 분리되어 검출됨을 확인할 수 있다.



(그림 18) 대형차의 끼어들기 위반 검지(주간)



(그림 19) 끼어들기 위반차량 검지(야간)



(그림 20) 대형차의 끼어들기 위반 검지(야간)

3.3 야간 영상 실험

(그림 19)는 끼어들기 위반차량을 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다.

(그림 20)은 대형차의 끼어들기 위반을 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다.

3.4 비 오는 날 야간 영상 실험

(그림 21)은 끼어들기 위반차량을 정상적으로 검지한 결과를 프레임 별로 나타낸 것이다.

3.5 실험 결과



(그림 21) 끼어들기 위반차량 검지(비 오는 날 야간)

(1) 끼어들기 위반차량 검지 결과

<표 3>은 일반 도로에서 주간에 취득한 25분 분량의 동영상을 이용하여 실험한 결과를 혼동 행렬로 나타낸 것이다. 실험에 사용한 주간 영상에서는 총 373대의 차량이 통과하였고 이중 실제 끼어들기 위반 차량은 총 26대였으며 정상 주행 차량은 347대였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 위반차량 26대중 25대를 정상검지 하였고 정상 주행 차량 347대중 0대를 위반차량으로 오검지하였다.

<표 3> 끼어들기 위반차량 검지 결과 혼동 행렬(주간)

차량정보	위반차량 (26)	정상차량 (347)
검지결과		
위반차량 (25)	25	0
정상차량 (348)	1	347

<표 4>는 일반 도로에서 야간에 취득한 25분 분량의 동영상을 이용하여 실험한 결과를 혼동 행렬로 나타낸 것이다. 실험에 사용한 야간 영상에서는 총 281대의 차량이 통과하였고 이중 실제 끼어들기 위반 차량은 총 27대였으며 정상 주행 차량은 254대였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 위반차량 27대중 25대를 정상검지 하였고 정상 주행 차량 254대중 0대를 위반차량으로 오검지하였다.

<표 4> 끼어들기 위반차량 검지 결과 혼동 행렬(야간)

차량정보	위반차량 (27)	정상차량 (254)
검지결과		
위반차량 (25)	25	0
정상차량 (256)	2	254

야간의 경우에는 (그림 22)와 같이 동일 위반 차량에 대해서 두 번 이상 검지한 경우가 1회 존재했다.

이는 차량에 존재하는 특징점이 야간의 경우에 차량의 전면과 후면에 분포되어 있기 때문에 차량 한 대가 통과 할 때 위반차량 검지영역의 특징점 점유율에 두 번의 굴곡이 생겨서 발생하는 문제이며 이를 (그림 23)에 나타내었다. (그림 23)에서 오류상황과 정상상황 모두 두 대의 차량이 지나갔지만 정상상황에서는 두 개의 정상점이 생긴 반면 오류상황에서는 세 개의 정상점이 존재하는 것을 볼 수 있다. 때문에 동일한 끼어들기 위반 차량에 대해 두 번 이상 검지하는 문제점이 발생하였다.



(그림 22) 동일 위반 차량 두 번 검지



(그림 23) 위반차량 검지영역 내에 차량 통과 시 특징점 점유율

<표 5>는 일반 도로에서 비 오는 날 야간에 취득한 25분 분량의 동영상을 이용하여 실험한 결과를 혼동 행렬로 나타낸 것이다. 실험에 사용한 비 오는 날 야간 영상에서는 총 125대의 차량이 통과하였고 이중 실제 끼어들기 위반 차량은 총 11대였으며 정상 주행 차량은 114대였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 위반차량 11대중 10대를 정상검지 하였고 정상 주행 차량 114대중 0대를 위반차량으로 오검지하였다.

<표 5> 끼어들기 위반차량 검지 결과 혼동 행렬 (비 오는 날 야간)

차량정보	위반차량 (11)	정상차량 (114)
검지결과		
위반차량 (10)	10	0
정상차량 (115)	1	114

<표 6>은 주간, 야간, 비 오는 날 야간의 실험 결과를 통합하여 혼동 행렬로 나타낸 것이다. 주간, 야간, 비 오는 날 야간의 실험에 사용한 영상에서 총 779대의 차량이 통과하였고 이중 실제 끼어들기 위반 차량은 총 64대였으며 정상 주행 차량은 715대였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 위반차량 64대중 60대를 정상검지 하였고 정상 주행 차량 715대중 0대를 위반차량으로 오검지하였다. 그리고 위반차량을 정상차량으로 판단한 4대는 모두 차량추적 실패로 인해 발생한 경우로 주로 차량의 색상이 도로와 유사하여 차량에 존재하는 특징점의 개수가 거의 없는 경우에 발생하였다.

실험 결과 제안한 시스템은 <표 7>과 같이 정인식률 99.49%와 오류율 0.51%를 보였으며 정상차량을 위반차량으

〈표 6〉 끼어들기 위반차량 검지 결과 혼동 행렬 (모든 영상 통합)

차량정보 \ 검지결과	위반차량 (64)	정상차량 (715)
위반차량 (60)	60	0
정상차량 (719)	4	715

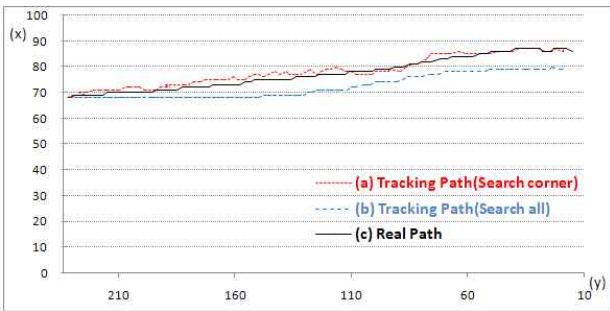
〈표 7〉 끼어들기 위반차량 검지 결과 혼동 행렬(모든 영상 통합)

평가 척도	성능
정인식률	99.49 %
오류율	0.51 %
거짓 긍정률(FPR)	0.00 %
거짓 부정률(FNR)	6.25 %

로 검지한 거짓 긍정률(false positive rate:FPR) 0%와 위반 차량을 정상차량으로 검지한 거짓 부정률(false negative rate:FNR) 6.25%의 성능을 보였다. 이들 결과는 비록 출퇴근 시간에 자동차 전용도로의 진출구 등의 실제 영상에 적용한 결과는 아니지만 차량이 혼잡하더라도 카메라와 가까운 부분의 차량들은 영상에서 분리되어 나타나고 그 지점에서 위반여부를 검지하는 제안방법의 특징 때문에 큰 폭의 성능저하는 없을 것으로 예상된다.

(2) 추적 결과 및 처리 속도

(그림 24)는 본 논문에서 제안한 탐색창 내에 존재하는 특징점들만을 대상으로 검색·추적하는 방법(a)과 탐색창 내의 모든 픽셀들과의 상관관계를 비교하여 추적하는 방법(b)의 추적 경로를 나타낸 것으로 제안한 방법의 추적 결과가 더 안정적이었다.



(그림 24) 추적 경로 비교

특징점의 추적 속도 또한 탐색창 내의 모든 화소를 고려하는 방법은 특징점 한 개당 평균 2.287ms의 시간이 소요되는 반면 제안한 방법은 특징점 한 개당 평균 0.169ms의 시간이 소요되어 13.5배 빠른 추적 속도를 보였다. 이는 평균적으로 전체 탐색영역의 약 7.4%만이 매칭 가능한 특징점 후보이었다는 것($p_{ave} = 0.074$)을 의미한다. 만약 베이지안 필터 등을 활용할 경우 탐색영역을 더욱 제한할 수 있기 때문에 더 빠른 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

제안한 시스템은 CPU 2.13GHz에서 프레임당 처리시간이 평균 0.0109초가 소요되어 실시간 처리가 가능한 평균 91.34frame/s의 빠른 처리 속도를 보였다. 이러한 빠른 처리 결과는 몇 가지 원인이 복합되어 나타났기 때문이다. 즉 언급한 바와 같이 탐색대상 픽셀수가 감소되었고, 추적구간에서 차량을 구별하기 위해 특징점을 그룹핑하는 처리과정이 불필요하였으며, 검지영역이 영상의 일부분으로 제한되었기 때문이다.

처리 속도는 실험에 사용한 주간, 야간, 비오는 날 야간에 취득한 세 종류 영상의 총 입력 프레임수와 해당 프레임을 처리하는데 걸린 시간을 이용하여 평균값으로 산출하였다.

4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 특징점 추적을 이용하여 끼어들기 위반차량을 검지할 수 있는 끼어들기 위반차량 검지 시스템을 제안하였다. 특징점 추출을 위해 실시간 처리가 가능한 고속 코너 검지 알고리즘을 적용하였으며, 특징점을 원영상 대신 원영상의 윤곽선 영상을 이용하여 추출함으로써 주간과 야간 모두 동일한 알고리즘을 적용하였다. 그리고 특징점 추적을 위하여 정규화 된 교차 상관관계(NCC)를 이용하였으며, 추적 속도 향상을 위해 탐색창 전체를 대상으로 검색하는 대신 탐색창 내에 존재하는 특징점들만을 대상으로 검색·추적하였다. 또한 끼어들기 위반차량 검지의 정확도를 높이기 위해 정상 주행 차선과 위반 예상 차선에 각각 독립적으로 특징점 등록 영역을 설정하여 위반차선 점유율을 산출한 후 이를 이용하여 끼어들기 위반 여부를 최종 판단하였다.

제안된 시스템은 일반도로에서 취득한 720×480 크기의 주간과 야간 영상 모두에 대해 실험결과에서 정 인식률 99.49%와 오류율 0.51%의 뛰어난 성능을 보였고 실시간 처리에 문제가 없는 초당 91.34프레임의 빠른 처리속도를 얻을 수 있었다.

특히 제안한 시스템은 그림자(shadow), 기상 조건(weather conditions)등에 둔감한 차량의 코너점을 특징으로 사용하였기 때문에 현재까지의 영상 검지 시스템의 문제점으로 지적되어온 그림자, 기상 조건 등에 강인한 특징을 가지고 있다. 또한 도로의 잡음에 둔감하면서도 차량의 윤곽선을 효과적으로 추출하는 형태학적 기울기 영상을 이용하여 특징점을 추출하였기 때문에 차량의 진도등 정보만 존재하는 야간 영상에서도 주간 영상과 동일한 특징점 추적 알고리즘을 적용함으로써 기존 영상 검지 시스템에서 주간 영상과 야간영상에서 동일한 알고리즘을 사용하지 못하여 발생하는 문제점을 해결 하였다.

그리고 자동차의 운행 특성 및 카메라와 차량의 기하학적 위치에 의해 차량이 검지 카메라와 가까워지면 영상에서 반드시 차량 객체가 개별적으로 분리되는 특징을 이용하여 위반차량의 최종 검지시기를 결정하였기 때문에 영상검지시스템의 또 다른 문제점인 폐색(occlusion)에도 강인한 결과를

나타냈다. 즉 도로가 혼잡한 출퇴근 시간에도 이러한 특징이 유지되기 때문에 끼어들기 위반을 검지할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 좀 더 정밀한 시스템을 만들기 위해서 동일한 끼어들기 위반 차량에 대해 두 번 이상 검지하는 문제점과 차량에 존재하는 특징점의 개수가 거의 없는 경우 추적에 실패하는 문제점 등을 보완하여야 하며, 실험을 통해 카메라의 높이, 화각, 해상도등 최적의 성능을 확보할 수 있는 촬영조건을 찾는 것 또한 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 정성환, 이준환, "영상 차이법을 이용한 교차로 혼잡도 측정," 대한전자공학회 추계학술대회논문집, pp.801-802, 2008, 11.

[2] S. Gupte, O. Masoud, R. F. K. Martin, and N. P. Papanikolopoulos, "Detection and Classification of vehicles," IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, Vol.3, No.1, pp.37-47, Mar., 2002.

[3] Y. Wang, "Real-Time Moving Vehicle Detection With Cast Shadow Removal in Video Based on Conditional Random Field," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.19, No.3, pp.437-441, Mar., 2009.

[4] H. Sheng, C. Li, Q. Wei, Z. Xiong, "An Approach to Motion Vehicle Detection in Complex Factors over Highway Surveillance Video," International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, pp.520-523, 2009.

[5] D. Roller, K. Daniilidis, H. H. Nagel, "Model-Based Object Tracking in Monocular Image Sequences of Road Traffic Scenes," International Journal of Computer Vision, Vol.10, No.3, pp.257-281, June, 1993.

[6] D. Han, M. J. Leotta, D. B. Cooper, J. L. Mundy, "Vehicle Class Recognition from Video-Based on 3D Curve Probes," Proceedings of the 14th international Conference on Computer Communications and Networks. IEEE Computer Society, Washington, DC, pp.285-292, Oct., 15-16, 2005.

[7] J. B. Kim, H. J. Kim, "Efficient region-based motion segmentation for a video monitoring system," Pattern Recognition Letters, Vol.24, pp.113-128, Jan., 2003.

[8] B. Coifman, D. Beymer, P. McLauchlan, and J. Malik, "A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.6, No.4, pp.271-288, Aug., 1998.

[9] Z. Kim, "Real time object tracking based on dynamic feature grouping with background subtraction," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2008.

[10] K. Robert, "Night-Time Traffic Surveillance A Robust Framework for Multi-Vehicle Detection_Classification and

Tracking," IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, pp.1-6, 2009.

[11] W. Wang, C. Shen, J. Zhang, S. Paisitkriangkrai, "A Two-Layer Night-Time Vehicle Detector," Digital Image Computing: Techniques and Applications 2009, Melbourne, VIC, pp.162-167, 1-3 Dec., 2009.

[12] W. Zhang, Q. Wu, G. Wang, "Vehicle Headlights Detection Using Markov Random Fields," Computer Vision - ACCV 2009, Part 1, LNCS 5994, pp.169-179, 2010.

[13] 김완기, 류부형, "영상검지기법을 활용한 끼어들기 위반차량 검지 방법에 관한 연구," 한국안전학회지, 제23권, 제6호, pp. 164-170, 2008년 12월.

[14] 이희신, 이준환, "특징점 추적을 이용한 끼어들기 위반차량 검지 시스템," 한국ITS학회논문지, 제8권, 제2호, pp.36-44, 2009년 4월.

[15] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing - Second Edition," Prentice Hall, 2002.

[16] R. Polana and R. Nelson, "Low level recognition of human motion," Proc. IEEE Workshop Motion of Non-Rigid and Articulated Objects, pp.77 - 82, 1994.

[17] T. J. Fan, G. Medioni, R. Nevatia, "Recognizing 3-D Objects Using Surface Descriptions," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.11, pp. 1140-1157, Nov., 1989.

[18] S. Smith, and J. Brady, "SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing," International Journal of Computer Vision, Vol.23, No.1, pp.45-78, May, 1997.

[19] C. Harris, and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," Proc. 4th Alvey Vision Conference, pp.147 - 152, 1988.

[20] M. Trajkovic, and M. Hedley, "Fast corner detection," Image and Vision Computing, Vol.16, No.2, pp.75-87, Feb., 1998.

[21] L. Vincent, "Morphological grayscale reconstruction in image analysis: Applications and efficient algorithms," IEEE Transactions on Image Processing, Vol.2, No.2, pp.176-201, 1993.

[22] D. M. Tsai, C. T. Lin, "The evaluation of normalized cross correlations for defect detection," Pattern Recognition Letters, Vol.24, No.15, pp.2525-2535, Nov., 2003.



이 희 신

e-mail : sin119@jbnu.ac.kr

2007년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학사)

2008년~2010년 전북대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)

2011년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학과
박사과정

관심분야: 영상처리, 도로영상처리, 패턴인식, 의료영상



정 성 환

e-mail : shjeong@jbnu.ac.kr
2004년 전주대학교 컴퓨터공학과, 정보통신
공학과(공학사)
2006년 전북대학교 의용생체공학과
(공학석사)
2007년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학과
박사과정

관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 도로영상처리, 임베디드시스템



이 준 환

e-mail : chlee@jbnu.ac.kr
1980년 한양대학교 전자공학과(공학사)
1982년 한국과학기술원 전자공학과
(공학석사)
1982년 전북대학교 전자공학과 조교
1985년 전북대학교 전자공학과 전임강사

1990년 미국 미주리대학 전산학과(공학박사)
1990년~현 재 전북대학교 전자정보공학부 교수
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 인공지능, 패턴인식, 기계학습