

■ 論 文 ■

미시적 교통정보자료의 취득을 위한 영상기반 차량추적기술 개발

Development of Vision-Based Vehicle Tracking for Extracting Microscopic Traffic Information

이 기 영

(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 규칙기반 차량 추적 알고리즘
 - 1. ROI 영역추출 기법
 - 2. 차량추적 기법
 - 3. Tracking 자료의 산출 결과
- III. 추적알고리즘의 정확도 검증
- 1. 검증방법의 결정
- 2. Tracking 성공율
- 3. 구간속도 추정의 정확도
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : position information, microscopic behavior, rule-based tracking, video analysis, traffic conditions, driving patterns

요 약

일정구간의 도로를 주행하는 차량에 대한 단위시간대별 위치정보를 취득하게 되면, 도로의 교통상황에 대한 정보와 개별차량의 미시적인 주행행태를 파악할 수 있게 된다. 기존 사용되는 영상기술은 짧은 지점에 대한 교통량, 속도 등의 제한적인 자료만의 취득이 가능하여 도로구간의 교통상황을 대표하는데 한계가 있다. 또한 기존 영상기술은 주행차량의 미시적 행태분석을 위해서 비디오로 촬영된 영상을 한 프레임씩 수동으로 작동하여 데이터를 수집함으로써 많은 인력과 시간이 소요되었다.

본 연구에서는 차량의 단위시간대별 위치자료를 자동으로 얻어낼 수 있는 규칙기반 차량추적기술을 개발하였다. 또한 기술의 검증을 위해 130m의 도로구간에서 차량의 주행위치를 0.05초 단위로 추적한 기초 자료를 추출하였으며, 이 데이터의 가공을 통해 산출된 속도와 실측된 속도와의 비교를 통해 차량추적의 정확도를 검증하였다. 향후 이러한 차량추적기술은 도로의 교통상황에 대한 주요 정보의 제공 등의 실용적 측면과 차량의 주행행태 분석 등의 학문적 분야에 널리 활용될 수 있을 것이다.

The position information of individual vehicles on a road at every time instant can be used to analyze the microscopic behaviors of driving of each vehicle. The limited information obtained from previous imaging technology such as traffic volume and interval velocity cannot be used to explore such microscopic traffic conditions. Also, information gathering for the microscopic behaviors by manual analysis of captured video takes large amount of time and man-power.

In the paper, we develop the rule-based vehicle tracking technology from which the position information of individual vehicles on a road at every time instant can be automatically obtained. Also, we extract the position data of driving vehicles on a road, length of 130m for every 0.05 second, and calculate the velocity of each traced vehicles to compare with the real velocity for the verification of accuracy. In the future, this type of tracking techniques based on video analysis can be widely used to provide the practically important information of road traffic conditions and to analyze the academically important microscopic behaviors of driving patterns.

1. 서론

도로이용자의 서비스증진을 위해서는 이용자에게 교통정보 제공이 필수적이며, 최근 급격히 발전하고 있는 통신 및 제어기술로 인해 여러 접근방법이 검토되고 있다. 그러나 정보제공에 대한 문제를 논하기 전에 관리자는 도로의 소통상황에 대한 정보를 얼마나 정확하게 수집하고 이를 가공하느냐에 대한 선결과제를 해결하는 것이 더욱 중요하다.

또한 기존의 획일적인 교통정보가 아닌 사용자가 필요로 하는 교통정보를 실시간 또는 비실시간으로 제공하기 위해서는 정확한 정보수집체계를 구축하는 작업이 무엇보다도 필요하다. 현재 교통정보 수집은 CCTV, 루프감지기, 영상감지기, 통행료 징수 시스템(Toll Collecting System : TCS)에 의한 차량정보, Probe Car, 통신원 고객 제보 등의 여러 방법을 통해 수집되고 있다.

각각의 정보취득방법에는 장단점이 존재하며, 검지하는 영역의 크기에 따라 지점기반 취득법과 공간기반 취득방법으로 나눌 수 있다. 지점기반 취득방법의 대표적인 예는 루프감지기나 기존 영상감지기 등이고, 공간기반 취득방법은 TCS 자료나 Probe Car를 이용한 방법이 대표적이라 할 것이다. 교통정보는 지점보다는 공간정보가 더 활용도가 높으며, 구간정보도 일부 샘플보다는 전수에 가까운 자료가 수집되는 것이 더 바람직하다.

본 연구의 목적은 영상자료를 기반으로 한 차량위치 추적 알고리즘의 개발을 통해 단위시간대별 차량의 위치자료를 취득하는데 있다. 이러한 구간정보에 대한 자료의 취득은 공간평균속도와 같은 교통정보의 추출을 통해 기존의 루프감지기과 같은 지점 기반 정보보다 더 신뢰성 높은 정보를 제공할 수 있다.

또한 일정 구간내에서 모든 차량의 개별적 위치자료를 통해 차로변경 또는 차량추종 행태에 대한 미시적 분석이 가능하게 되므로 당 구간의 차량간의 통행행태 및 상충현상을 파악할 수 있게 된다.

또 하나의 본 알고리즘의 특징은 0.05초 단위로 개별 차량의 위치자료를 실시간이하로 산출할 수 있다는 점이다. 기존의 프로그램은 차량의 미시적 움직임에 대한 자료를 취득하기 위해서 한 프레임씩 영상을 작동하여 수동으로 분석하는 방법을 사용함으로써 많은 시간의 소요와 분석자의 실수가 반영되는 단점이 존재하였다.

본 연구에 제시된 알고리즘의 검증은 위해 양재IC의

엇갈림구간에서 130m구간에서 차량의 트래킹을 실시하였다. 엇갈림구간은 차량간의 혼재가 심하고 단일 영상으로 분석이 가능한 적정 길이를 가지고 있어, 이를 시범대상으로 선정하였다.

개발된 알고리즘에 의해 산출된 차량위치자료의 정확도를 검증하기 위해서, 기초 데이터의 가공을 통해 산출된 구간평균속도를 이용하였다. 즉 차량위치 데이터로 가공된 계측치와, 영상화면에서 분석자가 직접 측정된 실측치와의 비교를 통하여 기술의 정확도를 평가하고자 한다. 구간평균속도는 각 차량의 단위시간별 위치에 따라 산출된 단위속도의 평균값을 의미하므로, 전체적인 알고리즘의 정확도를 평가하는데 적절한 지표이다.

이러한 영상기반 차량추적 기술은 차량의 속도정보, 차종정보를 취득하는데 유용할 뿐만 아니라, 도로에서 개별차량의 행태를 관찰하여 도로주행 상황을 파악함으로써 향후의 도로운영 및 제어에 유용한 자료로 활용이 가능할 것이다(이선구, 이용래, 2003), (최재성, 이승준, 2002).

본 논문에서는 이러한 목적을 위하여 카메라 등을 통해 취득한 영상에서 다양한 규칙을 이용하여 차량을 추적하는 방법을 제안하고자 한다. 이는 기존의 컴퓨터 비전을 기반으로 한 객체 추적의 방법에 대한 많은 연구들과 그 맥락을 같이한다(LG산전, 1999), (박은종, 2005), (이선구, 이용래, 2003). 또한 추적된 개별차량의 정보를 이용하여 구간속도를 측정하는 방법을 제안하고자 한다.

영상에서 움직이는 객체를 추적하는 문제는 크게 두 부분으로 나누어지는데, 하나는 추적대상 즉 ROI(Region of Interest)를 결정하는 문제이며(Raju Patil, Paul E. Rybski, Takeo Kanade, Manuela M. Veloso, 2004), 또 하나는 결정된 ROI를 이용하여 연속되는 프레임에서 그 형상을 어떻게 지속적으로 추적하는가에 대한 문제이다.

ROI 결정은 영상의 세그먼테이션과 움직이는 세그먼트를 찾는 문제이며 일반적으로 배경영상과의 차영상을 이용하거나 이전 프레임과의 차영상 등을 이용하는 방법을 사용한다. 그러나 배경영상과 차영상을 이용할 경우에는 움직이는 객체의 그림자는 ROI 결정에 영향을 크게 미치며, 이전 영상과의 차영상을 이용하는 경우에는 그림자 문제가 전자의 경우보다는 완화된다. 본 논문에서는 그림자의 영향을 최소화하기 위하여 후자의 방법을 이용한다.

또한 영상에서 ROI 영역을 추적하는 방법에는 객체의 코너 등 영상의 시각적인 특징의 그룹핑을 이용하는 방법, 칼만 필터를 사용하여 추적속도를 향상시키는 방법, Mean-Shift 방법 및 이들을 조합하는 방법 등이 있다 (Dorin Comaniciu Visvanathan Ramesh, Peter Meer, 2000), (Raju Patil, Paul E. Rybski, Takeo Kanade, Manuela M. Veloso, 2004). Mean-Shift 방법을 본 차량 추적에 적용한 결과 노면 색상과 유사한 차량의 경우 오추적 되는 경우가 많이 발생하였으며 의미 있는 추적데이터를 산출하기 불가능하였다. 따라서, 본 논문에서는 영상에 나타나는 차량객체들의 성질을 관찰하여 추적이 필요한 규칙을 만들고 이를 이용하는 방법을 제안한다. 이러한 규칙기반 차량 추적은 Surendra Gupte(Surendra Gupte, Osama Masoud, Robert F.K. Martin, Nikolaos P.Papanikolopoulos, 2002)가 제안한 방법과 유사하다. 그러나 Surendra Gupte가 제안한 방법은 분석과정에서 발생하는 객체들의 상황을 연계 그래프(Association Graph)로 표현하고 이를 이용한 매칭이 필요하며, 추적할 차량 객체를 얻어내기 위해 배경영상획득과 업데이트 등의 많은 처리 시간이 필요하다. 특별히 그래프 매칭 문제는 계산이론에서는 복잡한 문제로 매 프레임 그래프를 생성하고 매칭하는 과정은 많은 시간이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 복잡한 전처리 작업 등을 배제하고 전체적인 구조를 단순화함으로써 좀 더 빠르고 정확한 차량 계측과 추적을 얻는 방법을 제안하고자 한다.

이러한 방법을 활용하여 추적된 차량 객체들은 검지 영역 내에서 추적시작부터 검지영역 끝까지의 위치정보를 제공하기 때문에 추적구간에서의 구간속도를 측정하는 데 이용할 수 있다. 특히 본 연구에서는 약 130m 정도의 구간에서 차량의 추적이 이루어지며, 차량의 각도나 영상자료의 밀도에 따라서는 그 이상의 처리도 가능하다.

2절에서는 주로 영상기반 차량추적 기술에 대해 서술하고자 하며, 2.1절에서는 추적할 차량의 객체 영역을 얻어내기 위한 ROI 영역 추출기법을 설명하고, 2.2절에서는 추출된 ROI (Region Of Interesting)를 이용하여 제안된 규칙기반 차량 추적 방법을 제시하고자 한다. 또한 3절에서는 제안한 기법에 대한 정확도를 평가하기 위해 검증을 실시하고자 하며, 마지막으로 4절에서는 본 논문의 결과를 종합하고 추후 연구방향

을 제시하고자 한다.

여기에서 개발된 차량추적기술은 도로의 교통상황에 대한 주요 정보의 제공과 더불어 차량의 주행행태를 파악함으로써 실용적, 학문적 측면에서 널리 활용될 수 있을 것이다. 또한 현장에 본 차량추적시스템을 설치하여 운영할 경우, 실시간으로 교통정보의 수집이 가능하게 되어 교통정보 제공시스템에 적용이 가능할 것이다.

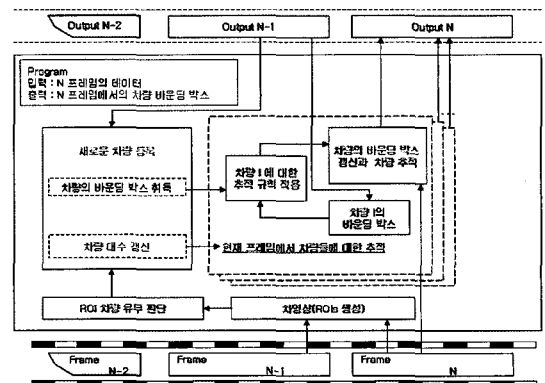
II. 규칙기반 차량추적 알고리즘

본 절에서 제안하는 차량추적 알고리즘은 <그림 1>과 같다. 즉 차량 추적은 현재 프레임(N)과 이전 프레임(N-1)을 이용하여 먼저 현재 프레임의 ROI를 결정하는 부분과 결정된 ROI를 이용하여 추적하는 부분으로 나누어진다.

현재 프레임에서 추적 대상의 차량객체는 이전 프레임까지의 추적된 차량과 현재 프레임에서 새롭게 추가된 차량을 포함하며, 추적이 완료된 차량객체는 추적 대상 차량 저장소에서 제거된다. 차량 객체의 추적은 이전 프레임(N-1)에서의 추적 결과인 바운딩 박스를 이용하여 현재 프레임(N)에서의 ROI 영역들을 매칭시킴으로서 진행된다.

단 분석을 위한 전제조건으로 차량이 진입되는 방향이 영상의 우측을 의미한다는 점(가정1), 차량객체의 그림자의 영향이 크지 않은 흐린 날 정오를 전후로 하여 그림자의 영향을 최소화했다는 점(가정2), 차량의 점유율이 크지 않은 도로를 선택했다는 점(가정3)을 선정하였다.

이중 첫번째 가정은 카메라의 촬영방향에 따라 달라지기 때문에 현실적으로 만족시키기 어려운 가정이



<그림 1> 규칙기반 차량추적 알고리즘의 흐름도

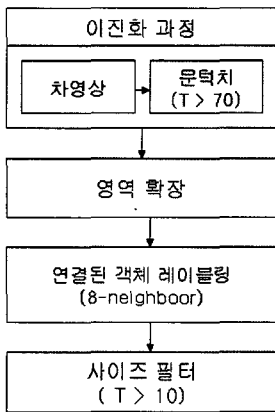
아니며, 두번째와 세번째는 기본적으로 영상기반 분석 방법이 갖는 공통적인 제한 조건이다.

1. ROI 영역 추출 기법

차량 추적은 먼저 추적될 차량들 즉 ROI의 결정이 선행 되어져야 한다. 일반적으로 ROI를 추출하는 방법은 배경영상과 현재영상의 차영상을 이용하는 방법과 (Surendra Gupte, Osama Masoud, Robert F.K. Martin, Nikolaos P.Papanikolopoulos, 2002) 이전 프레임과 현재프레임의 차영상으로부터 추출하는 방법 (Raju Patil, Paul E. Rybski, Takeo Kanade, Manuela M. Veloso, 2004)이 있다. 전자의 방법인 배경영상을 추출하는 방법은 화소 단위의 적응적 GMM(Gaussian Mixture Model)을 이용하여 배경과 객체를 분리하는 방법 등이 제안되고 있으나, 기본적으로 그림자 역시 배경과 다른 부분이기 때문에 그림자를 포함하는 ROI를 추출할 가능성이 높으며, 화소단위의 모델을 만들어야 하기 때문에 메모리와 계산시간이 많이 요구되며 구름, 조명 등의 변화에 적응적인 배경생성을 위해서는 결정해야할 변수가 많다. (Dar-Shyang Lee, 2005)

반면에 현재 프레임과 이전 프레임의 차영상을 이용하는 경우에는 변화된 부분만을 얻어내고 이를 후처리 하여 ROI를 추출하기 때문에 전자의 방법에 비해 단순하고, 조명의 변화에 무관하며, 그림자 영역 역시 변화된 부분만이 차영상에 기여하므로 그림자를 배제한 ROI 추출이 상대적으로 용이하다.

ROI를 구하기 위한 첫 단계로 이진화 과정은 <그림



<그림 2> ROI 추출과정

2)와 같다. 그림에서 현재 프레임과 이전 프레임의 차영상 $\delta(x,y) = |I_{t-1}(x,y) - I_t(x,y)|$ 로 표현되며, 문턱치를 가정하여 이진화를 수행하면 변화된 부분의 영상을 얻을 수 있다. 일반적으로 변화된 부분의 영상은 차량의 진행방향의 전후에 남게 되어 한대의 차량이라도 연결된 객체로 얻어지기 곤란하다. 따라서 이들을 연결하기 위해 팽창연산(Dilation)을(Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 2003) 수행하며, 팽창된 영상에서 연결객체를 찾고, 연결된 객체의 크기가 작은 부분은 잡음일 가능성이 있기 때문에 이런 작은 면적의 연결객체는 제거한다. <그림 2>는 ROI 추출과정을 표현하고 있다.

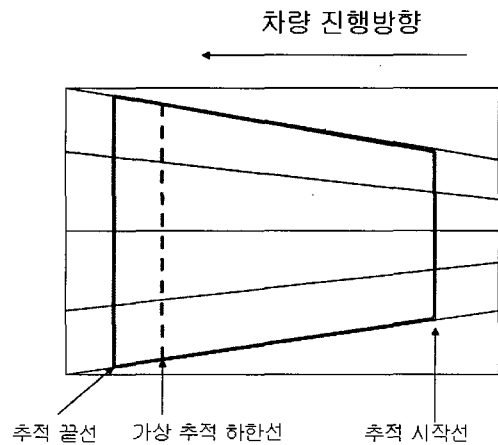
2. 차량추적 기법

본 논문에서는 차량이 진행하는 방향의 추적 영역을 가정한다. 추적의 시작은 추적영역의 시작선에 접하는 객체를 추적대상 차량으로 간주해서 진행되며, 추적 영역의 끝선에 도착하면 추적이 완료된다. 또한 추적 중에 새로운 추적대상 객체가 생성 될 수 있음을 가정하였으며, 추적대상 차량이 사라지는 경우 추적 영역내의 일정영역 에서는 가상 추적을 진행하고 영역 밖에서는 오류로 처리한다.

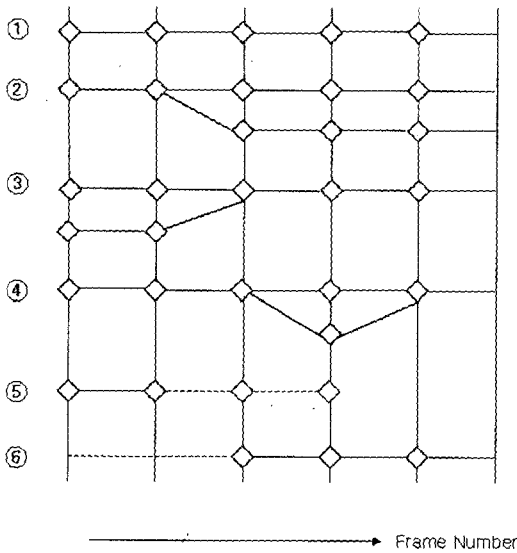
<그림 3>은 추적영역과 가상추적 영역을 보여주고 있다.

제안된 방법에서 의해서 각 상황별로 추적이 가능한 경우는 <그림 4>와 같다.

①의 경우는 정상적인 차량의 추적을 의미하며, ②



<그림 3> 추적 영역과 가상 추정 영역



(그림 4) 제안된 방법에 의한 추적 가능한 경우의 수

는 가려짐 등에 의해 두 대 이상의 차량이 동시에 추적되다가 분리되는 경우이고, ③은 두 대의 차량의 추적이 진행되다가 합쳐지는 경우이다.

④의 경우는 분리 이후 또 다른 합쳐짐의 경우를 나타내고 있으며, ⑤의 경우는 사라지는 경우로 가상 추적 영역까지는 이전의 추적이 진행되었던 영역을 복사하여 가상적인 추적이 진행되지만 이 영역 밖에서는 오류로 처리된다. 그러나 전처리의 오류 등으로 인해 일시적으로 가상추적 영역 내에서 추적 대상이 사라졌다 나타나는 경우에도 추적이 계속될 수 있도록 구성하였다.

⑥의 경우는 추적 시작선부터 가상 추적 하한선까지의 구간내에서 언제나 차량으로 인식했을 경우 해당 차량을 추적하는 경우이다.

본 논문에서 차량 객체들에 대한 추적 과정은 이전 프레임의 ROI들과 현재 프레임의 ROI들의 매칭과정이다. 이 방법은 Surendra Gupte가 제안한 것과 같이 연재 그래프를 가정하지 않는다. 왜냐하면 초당 30 프레임으로 촬영되어 디코딩되는 영상에서 이전 프레임의 차량 객체는 속도가 유한하기 때문에 현재 프레임에서도 유사한 위치에 놓이게 되기 때문에 복잡한 그래프 매칭을 이용할 필요가 없다는 것이다.

그러나 현실적으로 ROI 추출과정에 있어 잡음, 차량의 겹쳐짐 등의 복잡한 상황들이 존재한다. 본 논문에서의 차량 추적 규칙은 이러한 상황들을 관찰하고 분석하여 최적의 매칭을 유지하기 위한 목적으로 구성되었다. 제안된 차량추적 과정에서 규칙과 매칭과정은 다음과 같다.

1) 차량추적을 위한 매칭 절차

(1) 정의

- ① 바운딩 박스 : 연결된 ROI를 포함하는 최소의 직사각형을 의미하며, (x_{min}, y_{min}) 과 (x_{max}, y_{max}) 의 범위로 설정된다. 여기서 (x_{min}, y_{min}) 와 (x_{max}, y_{max}) 는 연결된 ROI의 x, y 방향의 최소값과 최대값을 의미한다.
- ② ROI 센터 : 연결된 ROI 객체의 무게중심을 의미하며, $((x_{min} + x_{max})/2, (y_{min} + y_{max})/2)$ 로 표현된다.
- ③ P_i : 프레임 t-1에서의 i번째 ROI
 C_j : 프레임 t에서 j번째 ROI
- ④ B_i : 프레임 t-1에서의 P_i 를 포함하는 i번째 바운딩 박스
- ⑤ B_j : 프레임 t에서의 C_j 를 포함하는 j번째 바운딩 박스
- ⑥ 점유율 : 바운딩 박스에 포함된 연결된 ROI들의 면적대비 바운딩 박스의 면적비
- ⑦ 객체비율 : 바운딩 박스에 포함된 연결된 ROI의 면적비 또는 바운딩 박스내의 연결된 ROI 면적대비, 가장 큰 연결된 ROI 면적비

(2) 규칙

- ① B_i 를 프레임 t의 동일위치 매칭 시도
- ② 시도된 매칭에서 프레임 t의 연결된 ROI들을 관찰
 - IF. 연결된 ROI의 센터가 한 개 (C_j) 존재하면,
 - B_i 를 프레임 t-1의 동일위치 매칭 시도
 - IF. 연결된 ROI의 센터가 한 개 (P_j) 존재하면,
 - P_j 로부터 B_i 를 갱신(A)
 - IF. 만약 연결된 ROI의 센터가 두 개 이상 존재하면,
 - 최소영역확장에 의한 현재 프레임의 분리(B)
 - IF. 연결된 ROI의 센터가 두 개 이상 존재하면,
 - 점유율 > T 이면
 - B_i 에 포함된 ROI들에 대해
 - ROI 면적비 $\cong 1.0$ 이면
 - 새로운 추적대상 생성(C)
 - 그렇지 않으면

연결된 ROI 들의 병합(D)

점유율 $\leq T$ 이면

가장 큰 ROI를 포함하는 바운딩 박스로 갱신(E)

IF. 연결된 ROI가 하나도 존재하지 않을 경우

가상추적 영역 내에서의 경우 (F)

B_i 를 복사

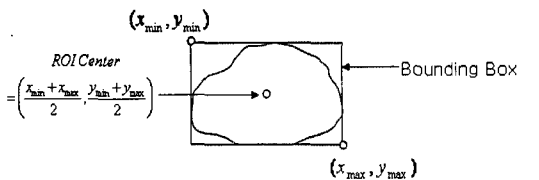
가상추적 영역 밖의 경우

오류처리

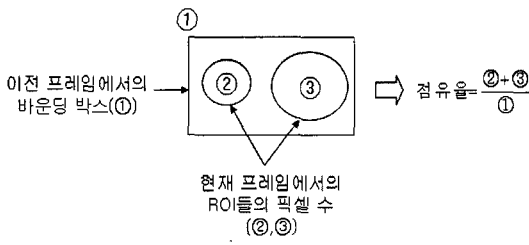
- ③ 현재 프레임 t에 과정 ii)에서 매칭되지 않은 ROI가 존재할 경우, 새로운 추적 객체 생성 및 등록 (G)

〈그림 5(a)〉는 전술한 정의에서 바운딩 박스 및 연결된 ROI를 보여주고 있으며, 〈그림 5(b)〉는 이전 프레임의 바운딩박스를 현재 프레임의 동일위치에 놓았을 경우 박스안에 포함된 ROI들로 점유율을 보여주며, 〈그림 5(c)〉는 바운딩 박스 내의 ROI 면적비를 보여주고 있다.

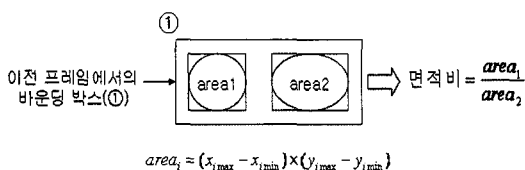
2) 상황별 추정방법



(a) ROI와 바운딩 박스



(b) 바운딩 박스와 점유율



(c) ROI 면적 비율

〈그림 5〉 차량 추적을 위한 매칭 규칙에서의 정의들

이러한 규칙하에 차량 추적을 위한 매칭과정에서 각 상황에 따라 차량을 추적하는 방법은 다음과 같다.

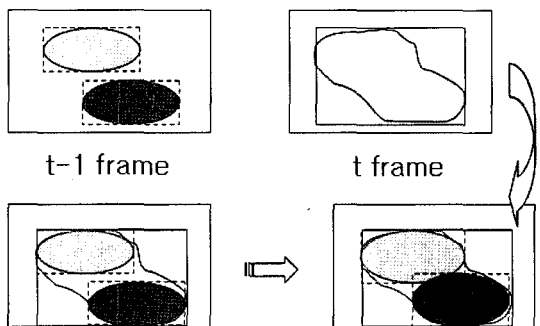
(1) 통상의 객체이동의 경우(규칙 A)

동일 차량 객체의 정상적인 이동이라 간주할 수 있는 경우이며, 이전 프레임의 바운딩 박스는 현재 프레임에서 연결된 ROI를 포함할 수 있도록 조정되어 새로운 바운딩 박스로 갱신된다.

(2) 객체들이 융합되어 분리되어야 하는 경우(규칙 B)

현재 프레임의 한 개의 객체를 포함하는 바운딩 박스 B_i 를 이전 프레임의 동일위치에 놓았을 때 두개 이상의 연결된 ROI들을 포함한다면, 이는 이전 프레임에서는 분리되어 추적되던 객체가 부분적으로 가려짐 등의 원인에 의해 융합되어 나타난 경우로 간주할 수 있다. 이 경우에는 현재 프레임의 연결된 ROI를 이전 프레임의 바운딩 박스들의 합집합으로 만들어 융합된 상태에서도 추적이 일어날 수 있도록 분리한다.

본 논문에서는 바운딩 박스 B_i 안에 속해 있는 이전 프레임의 각 ROI들의 바운딩 박스 B_j 를 B_i 의 영역 안에서 확장을 시도한다. 이때 실제 가려짐이 어느 정도 일어났는지를 알 수 없기 때문에 확장할 B_j 의 영역들이 서로 중복됨이 발생하지 않는 범위 내에서 바운딩 박스의 조정을 시도한다. 〈그림 6〉은 이러한 상황을 보여주고 있다.

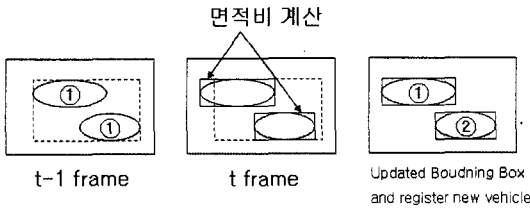


〈그림 6〉 분리과정에서의 바운딩 박스 조정

(3) 추적 객체가 분리되어 늘어나는 경우(규칙 C)

이전 프레임까지 두 대 이상의 차량이 합쳐져서 진행하다가 현재프레임 부터는 분리되어 연속되는 프레임에서 추적되어야 할 대상이 늘어나는 경우로 간주될 수 있다. 즉 이전 프레임까지는 두 대 이상의 차량이 상호간의

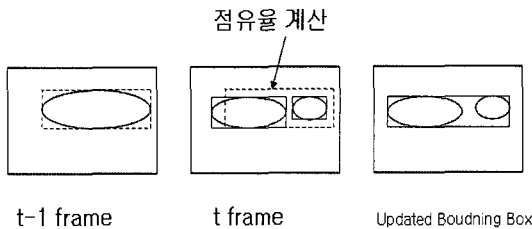
부분적인 가려짐 등으로 인해 하나의 객체로 추적되었지만 현재프레임 부터는 서로 다른 객체로 분리되어 추적되어야 하는 상황을 의미한다. 즉 바운딩 박스내의 ROI들의 점유율이 큰 경우에는 박스 내에 객체들이 점유하는 부분이 많다는 것을 의미하며, 이들이 분리되어 있더라도 그 크기가 유사하면, 이전 프레임까지 동일객체로 추적되던 차량들이 현 프레임에서 부터는 분리되기 시작했음을 의미한다. <그림 7>은 이러한 상황을 보여준다. <그림 7>에서 이전프레임 t-1의 ROI들은 그 이전의 t-1 프레임 동안 동일 객체로 병합되어 진행되어 졌음을 의미한다. 이러한 문제점을 <그림 5>의 (c)를 적용하여 객체를 분리, 새로운 차량객체로 등록하였다.



<그림 7> 새로운 차량 분리 과정

(4) 동일 객체로 병합되어야 하는 경우(규칙 D)

이 경우는 이전 프레임까지 동일한 객체로 추적되다가 현재 프레임에서 전처리 등의 불완전성으로 분리되었다고 가정한다. 따라서, 이들 ROI들은 한 객체로 간주되어 병합된다. 이러한 현상은 상대적으로 큰 차량 버스나 트럭 등에서 전처리의 불완전성으로 큰 객체에서 작은 객체들이 떨어져 나와 점유율은 크며, 연결된 ROI의 면적비는 작은 경우이다. <그림 8>은 이 상황을 보여준다.

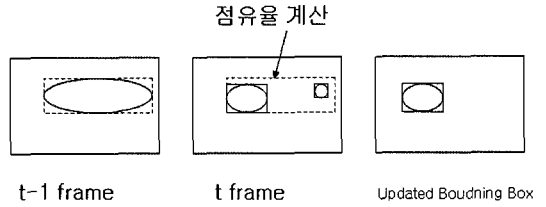


<그림 8> 동일 객체로 병합되는 과정

(5) 가장 큰 ROI를 포함 바운딩 박스로 갱신(규칙 E)

이러한 경우는 전처리 과정에서 잡음 등으로 큰 객체와 작은 객체가 상대적으로 멀리 떨어져 있고, 이들

의 면적차이 역시 큰 경우를 의미한다. 이러한 경우에는 가장 큰 객체를 포함하는 바운딩 박스의 갱신이 일어난다. <그림 9>는 이 상황을 보여준다.

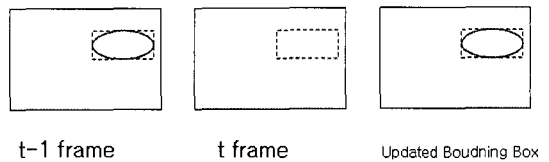


<그림 9> 가장 큰 ROI를 포함하는 바운딩 박스의 갱신

(6) 객체 추적 중 사라지는 경우(규칙 F)

이러한 경우는 도로 표면의 컬러 정보와 유사한 색상 정보를 가지는 차량 추적 과정에서 주로 발생한다. 이는 ROI추출 과정의 차영상을 통한 이진영상 생성 과정에서 차량의 컬러 정보와 도로 표면의 컬러 정보와의 거리가 문턱치(70) 범위 내에 존재하기 때문에 차량의 상당부분이 손실됨으로 인해 이 같은 현상이 나타난다. 즉, 이전 프레임에서의 ROI가 현재프레임에 와서는 크기 필터로 인해 사라지는 현상이다. 주로 추적 시작선에서 추출한 ROI의 바운딩 박스는 상당히 작은 영역을 가지기 때문에 추적 시작선에 가까운 영역일수록 이러한 현상은 더욱더 빈번하게 발생하게 된다.

본 논문에서는 주어진 추적 시작선 부터 가상 추적 하한선까지의 영역 내에서 이러한 현상이 발생했을 경우 이전 프레임의 바운딩 박스를 복사해 줌으로 계속해서 추적이 이루어 질수 있도록 조정하였다. 가상 추적 하한선 이후부터는 차량의 컬러정보가 도로의 컬러정보와 구별될 수 있을 만큼 분명해 지기 때문에 만약 가상 추적 하한선 이후에 이러한 현상이 나타난 경우에는 오류로 처리하였다. <그림 10>은 이러한 과정을 보여준다.

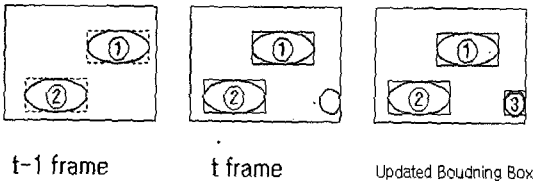


<그림 10> 추적 중 사라진 ROI에 대한 가장 ROI 영역 설정

(7) 새로운 객체를 등록하는 경우(규칙 G)

이러한 상황은 이전 프레임의 모든 ROI 객체들에 대해서 위에서 언급한 모든 규칙들을 적용했을 때 어느 하나

적용되지 않을 때 발생하며, 적용되지 않은 현재 프레임의 C_t 는 새로운 객체로 등록할 후보 객체가 된다. 그러나 전처리 과정 중에 발생한 여러 노이즈들도 이러한 후보 객체가 될 수 있기 때문에 본 논문에서는 새로운 객체로 등록할 수 있는 조건을 추적 시작선에 인접한 객체로 제한하였다. 추적 시작선에 인접하지 않은 모든 후보 객체들은 노이즈로 간주하였다. <그림 11>은 이러한 과정을 보여준다. 즉, 이 과정은 추적 대상 객체가 추적 시작선 부터 등록되는 과정으로 일반적으로 가려짐이나 겹침이 일어나지 않는다면 가장 많은 추적 대상 객체의 등록이 일어난다.



(그림 11) 새로운 차량 객체 등록

3. Tracking 자료의 산출 결과

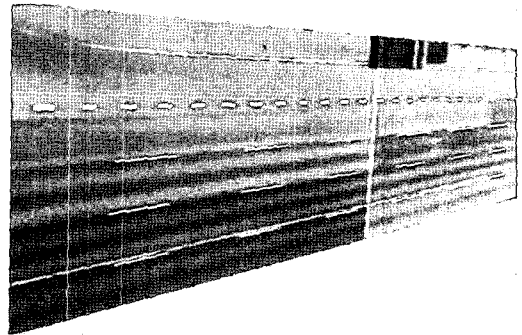
본 논문의 추적과정에서 얻어진 정보는 매 프레임에 나타나는 차량객체의 번호와 이를 둘러싼 바운딩 박스의 점유영역이다. 이러한 정보는 해석 프로그램을 통하여 단위시간대별 차량위치 및 가감속도 등의 다양한 정보로 가공되어진다. 먼저 구간속도 등의 가공된 정보를 추출하기 위해서는 추적 시 사용된 검지영역은 도로면이 평면이라는 가정 하에 도로면 위에서 관측한 것(top-view)과 같은 형태로 투영 변환되어야 한다.

(x_t, y_t) 를 추적영상 좌표라 하고 투영 변환된 좌표를 (x_p, y_p) 라 하면 이들 사이의 관계는,

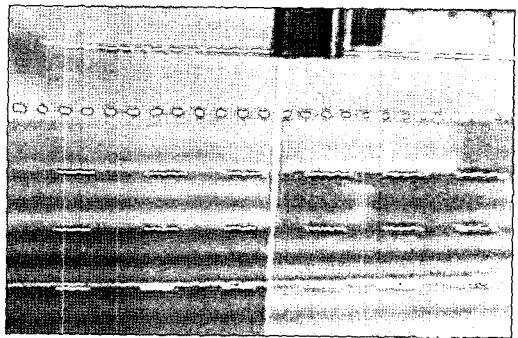
$$x_p = \frac{a_1 x_t + a_2 y_t + a_3}{c_1 x_t + c_2 y_t + 1} \tag{1}$$

$$y_p = \frac{b_1 x_t + b_2 y_t + b_3}{c_1 x_t + c_2 y_t + 1}$$

로 표현되며, $(a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2)$ 는 미지수로, 검지영역의 네 모서리 점을 식 (1)에 대입하여 유일하게 결정할 수 있다. <그림 12>는 이러한 과정을 통하여 얻은 검지영역의 배경영상과 이에 대한 투영 변환된 영상을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 도로면이 평면이라는 가정 하에서 얻은 투영 변환된 영상은 비교



(a)검지영역내의 도로 배경영상



(b)검지영역의 투영변환 후 영상

(그림 12) 투영변환 후의 검지 영역

(표 1) 1번 차량의 차량위치(x,y) 소스 자료

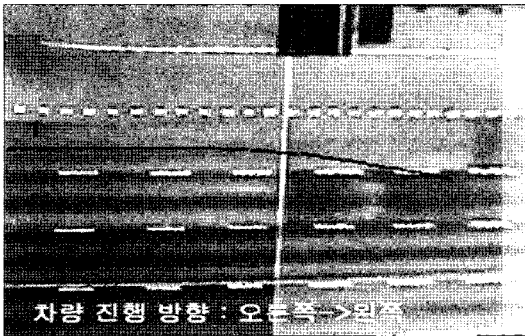
차량번호	시간대 (단위:1/20초)	차종	x축	Y축
1	1	1	300	142
1	2	1	298	140
1	3	1	298	141
1	4	1	297	141
1	5	1	295	141
1	6	1	294	141
1	7	1	292	140
:	:	:	:	:

적 양호한 top-view를 나타낸다.

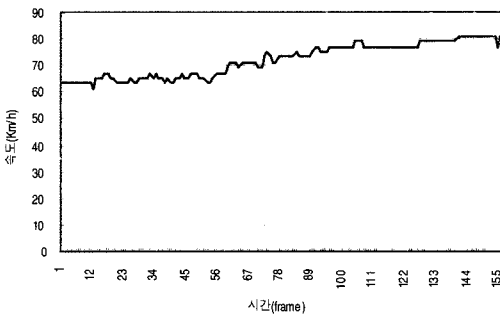
이러한 영상처리 방법에 의해 각 차량의 0.05초 단위로 위치 데이터를 취득하게 된다. <표 1>은 최초로 검지된 1번 차량에 대해 트래킹한 자료를 나타낸 것이다.

<그림 13>은 1번 차량의 주행행태를 좀 더 자세히 설명한 그림이다. <그림 13(a)>는 176 프레임까지의 1번 차량이 주행한 궤적을 추적한 자료이며, <그림 13(b)>는 각 프레임(1/20단위)마다 1번 차량의 차량의 가감속도를 나타낸 그림이다.

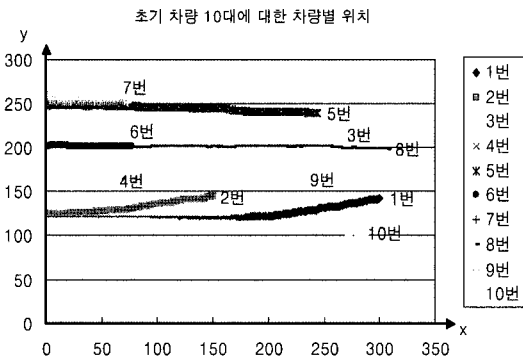
또한, <그림 13(c)>는 초기 10대 차량에 대한 1~195 프레임까지의 시간대별 이동궤적을 추적한 자료가



(a) 1번 차량의 시간에 따른 위치 변화



(b) 1번 차량의 시간에 따른 속도 변화



(c) 초기 10대의 차량에 대한 시간에 따른 차량의 위치 변화

(그림 13) 추적된 각 차량별 단위시간대별 위치

다. 각 차량별 궤적의 길이는 해당 차량의 검지횟수를 의미한다. 즉, 8번 차량은 검지영역의 시작 부분부터 추적이 되어 차선의 변경 없이 진행하였음을 알 수 있고, 7번, 6번, 4번 등의 차량은 검지영역 중간 부분부터 추적되었음을 확인할 수 있다. 1번과 2번 차량의 경우는 궤적의 기울기가 변하는 것으로 보아 차선의 변경이 이루어 졌음을 짐작할 수 있다.

차량의 속도는 차량별 궤적의 밀도를 보면 속도의 빠르고 느린 여부를 확인할 수 있다. 만약 똑같은 궤적의 길이를 가지는 차량이 존재한다면 속도가 빠른 차량

의 궤적 밀도는 느린 차량에 비해 낮기 때문에 이를 보고 차량별 속도의 빠르기를 판단할 수 있다. 그러나 차량의 속도 비교는 (그림 13(b))와 같이 각 프레임별로 산출된 단위구간속도를 집합화하여 산출된 속도데이터를 통해 비교하는 것이 더 정확하므로 궤적을 통한 속도 비교는 크게 의미가 없다.

III. 추적알고리즘의 정확도 검증

1. 검증방법의 결정

차량추적기술의 정확도를 검증하기 위해서는 크게 두 가지 측면을 고려해야 한다. 즉 전체 차량에 대해 추적이 완료되었는가에 대한 검증과 추적에 의해 산출된 차량의 단위별 위치자료가 정확히 산출되어 있는가에 대한 부분을 검증해야 한다.

이중 후자의 검증은 1/20단위의 각 위치데이터를 검증하는 것은 다소 무리가 다르므로, 본 알고리즘을 이용하여 각 차량별로 구간을 주행한 총시간을 산출하고 이를 평균속도로 환산한 계측치와 영상화면을 통해 분석자가 직접 측정한 실측치와의 비교를 통해 위치추적의 정확성을 검증하고자 한다.

여기에서 실측값은 촬영된 화면에 검지영역을 설치하고 기존 수동영상분석기를 이용하여 1/20초 단위로 영상을 돌려서 취득한 데이터로 속도를 산출한 것이며, 계측값은 본 연구에서 개발한 자동추적기술을 이용하여 추출된 기초 자료를 가공하여 산출된 값을 의미한다.

이러한 위치자료의 가공을 통해 구간통행시간을 산출하여 이를 활용하는 것 또한 본 기술을 효과적으로 응용할 수 있는 한 분야일 것이다.

2. Tracking 성공률

현장 검증을 위해 양재IC부근에서 비디오 촬영을 실시하였으며, 이때 촬영 영상은 780×480의 Size와 5212프레임의 길이를 가지고 있다. 분석 대상구간은 양재IC의 엇갈림 구간으로 대상영역은 길이 130m, 폭 21m의 구간이다.

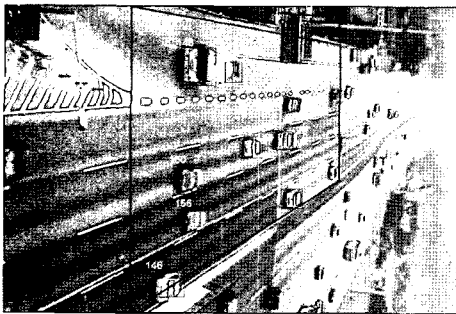
먼저, 알고리즘의 개발을 위해 평가시간대 전의 10분동안 241대의 차량을 대상으로 추적을 실시하고, 이의 정확도를 향상시키는 튜닝작업을 실시하였다.

또한 알고리즘의 검증을 위해 다른 시간대의 10분 동안에 통과한 263대의 차량에 대해 트래킹을 실시하였다. 즉 평가대상 시간대의 263대의 속도에 대한 계측치는 본 연구에서 개발한 기술로 추적되어 산출된 값이며, 실측치는 프로그래머와 현장 촬영자가 각각 수동 분석기를 이용하여 산정한 값을 평균하여 구한 것이다.

비디오 분석자는 추적구간을 4개의 점으로 입력해주며, 시스템은 지정된 추적구간에 대한 차량 추적을 수행한다. 약 2분 54초 분량의 재생 시간을 가지는 본 데이터를 가지고 통과한 차량 대수에 대한 추적성공률을 측정한 결과는 <표 2>와 같다. 단 추적률에 대한 조사는 검지영역의 끝 부분을 기준으로 추적된 차량을 조사하여 얻어졌다.

차량의 속도분포를 보면, 램프의 진입과 진출부 부근의 차선에서의 차량속도는 현저하게 작은 것을 확인하였으며, 진입과 진출부에서 멀리 떨어진 중앙차로의 속도는 시간적인 속도와 유사한 것을 관찰할 수 있었다.

추적 결과, 실제 통과한 차량 263대 중에서 총 248대의 차량을 추적하였으며, 94.3%의 추적률을 보였다. 분석구간이 교통류가 심하게 혼재하는 고속도로 엇갈림 구간인 점을 감안하면, 그 추적률은 매우 높다고 할 수 있다.



<그림 14> 차량 Tracking 분석현황

<표 2> 통과 차량에 대한 추적률

통과 차량수	263대		
False Alarm	분리 과계수	7	2.67%
	가려짐	6	3.04%
Miss Detect	농침	2	
Error rate	5.7%		
추적 정확도	94.3%		

3. 구간속도 추정의 정확도

앞에서 분석한 바와 같이 본 연구에서 개발한 Tracking 기술이 높은 차량 추적률을 보였으나, 실제 차량의 움직임을

시,공간적으로 정확히 추적하였는가에 대한 부분도 검토해야 한다.

차량의 속도를 측정하기 위해서는 추적과정의 차량객체의 바운딩 박스 정보 역시 구성된 투영 변환식을 이용하여 변환된다. 이렇게 변환된 좌표정보는 차량객체의 시작프레임과 차량객체가 검지영역의 끝에 도착한 프레임 정보를 이용하여 구간속도를 측정할 수 있다. 시작된 프레임과 검지영역에 도착한 프레임의 차는 $\Delta frame = final_fr - init_frame$ 이며, 초당 디코딩되는 프레임수를 $frame_rate$ (frames/sec)라 하면 차량객체가 진행하는데 걸린 시간(sec)은,

$$\Delta t = \frac{\Delta frame}{frame_rate} \tag{2}$$

와 같다. 만약 <그림 12>의 투영 변환된 검지영역의 x, y 방향의 화소수가 $PL \times PW$ 이며, 검지영역의 물리적인 길이와 폭이 $L \times W$ 라면, 한 화소가 차지하는 가로, 세로의 물리적인 길이는 L/PL 및 W/PW 이다. 한편 추적과정에 얻어진 차량객체의 검지영역에서 최초위치 및 최종위치 (x_p^i, y_p^i) 와 (x_p^f, y_p^f) 를 투영 변환하여 얻은 좌표값을 각각 (x_p^i, y_p^i) 와 (x_p^f, y_p^f) 라 하면 실제 차량이 진행한 거리는,

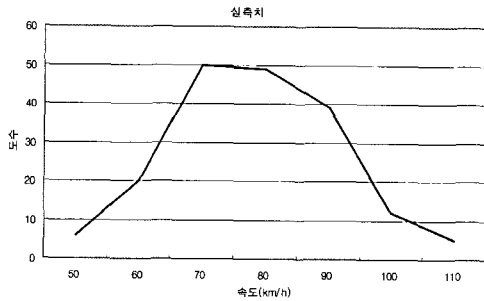
$$\Delta dist = \sqrt{\left[(x_p^i - x_p^f) \frac{L}{PL} \right]^2 + \left[(y_p^i - y_p^f) \frac{W}{PW} \right]^2} [m]$$

와 같다. 따라서 실제 차량의 구간 속도(km/hour)는,

$$v = \frac{\Delta dist}{\Delta t} \cdot 3600 [km/hour]$$

로 주어진다. 본 논문에서는 차량객체의 최초위치 및 최종위치는 추적 중인 차량객체의 바운딩 박스 진행 방향의 전단부 중앙값을 기준으로 산정하였다. 왜냐하면 차량간의 차두거리 등의 계산에도 활용할 수 있도록 하고, 추적과정에서 바운딩 박스의 크기가 변화하여 오차를 발생시키는 영향을 최소화하기 위해서이다.

위의 방법에 의해 개별 차량별로 130m의 도로구간에서의 주행속도를 산출하였으며, 이를 실측치와 비교하였다. 이를 통해 차량에 대한 트래킹 자료가 정확히 산출되었는가를 검증하고자 한다. 이 평가를 위해 사용된 추적 차량수는 레미콘 트럭 등 두개의 객체로 분리되어 과계수된 차량은 두 대로 측정되었으며, 가려짐이나 농침의 경



(그림 15) 실측에 의한 차량속도 분포현황

우에는 속도 산출을 할 수 없는 경우로 제외되었다.

실측에 의해 산출된 263대의 각 차량의 속도에 대한 분포를 보면 (그림 15)와 같이 전체적으로 정규분포 형태를 가지므로, 두 방법에 의해 산출된 값을 비교하여 통계적으로 다르지 않음을 증명하고자 한다.

1) 오차율

오차율은 실측자료와 계측자료간 상대오차를 분석할 수 있는 간접적인 지표로서, 식(3)에 의해서 산출된다.

$$\text{오차율}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n |f_r - f_o|}{\sum_{i=1}^n f_r} \times 100 \quad (3)$$

단, f_r : 계측값, f_o : 실측값

본 연구에서 산출된 오차율은 4%이하로 두 자료가 매우 유사한 형태를 보이고 있음을 보여주었다.

2) 쌍체 비교를 통한 T-검증

오차율외에 통계적 검증방법으로 실측치와 계측치간 차이가 없음을 증명하기 위해 T-검증을 시행하였다. 이때 T-검증은 실측치와 관측치의 값에 대해 쌍체 비교법을 적용해야 한다. 먼저 계측값(f_r)과 실측값(f_o)의 차이를 D라 한다면, D의 평균값은 MD로 표현할 수 있다.

또한 샘플수가 30개 이상일 경우, T값은 정규분포와 같게 되며, 이를 식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$Z = \frac{M_D - \mu_D}{S_D / \sqrt{n}} \quad (4)$$

이 검증의 "귀무가설(H_0)은 실측치와 계측치가 같

다"이며, "대립가설(H_1)은 실측치와 계측치가 같지 않다"로 정의된다.

유의수준 $\alpha=0.05$ 일때 기각역은 1.96이며, 이보다 큰 값을 보일 때 H_0 은 기각된다. 그러나 앞의 자료에서 분석한 Z값은 1.86으로 기각역보다 작게 나와 H_0 은 채택된다. 이러한 결과는 실측치와 관측치의 두 값이 서로 다르지 않다는 것을 의미한다.

검증 결과, 오차율과 T-검증에서 두 방법이 서로 다르지 않다는 결과가 나왔다. 즉 영상자료를 통한 차량추적기법에 의한 구간통행시간 산출이 실측치에 준한 결과를 나타냄으로써 본 검지기술의 정확성을 검증하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 비교적 긴 도로구간에서 단위시간대별 차량의 움직임에 대한 자료를 취득할 수 있는 차량추적 알고리즘을 개발하였다.

이러한 기술에 의해 수집된 기초자료는 데이터의 가공여부에 따라 당 구간의 교통류적 특성 파악과 통행속도와 같은 소통상황을 제공하는데 활용이 가능하다.

본 논문의 제안된 추적알고리즘은 차량 Tracking 과정에서 나타나는 여러 가지 현상들을 다양한 규칙을 이용하여 해결하는 방법을 제안하였으며, 실험을 통한 탐욕적 탐색방법인 Mean-Shift 알고리즘보다도 추적의 정확성이 우수한 것으로 나타났다.

또한 제안된 방법은 Surendra Gupte의 방법과는 달리 그래프를 생성하는데 소요되는 시간을 단축시키며, 전처리 과정에서 나타나는 오류들을 적절한 규칙을 생성하여 해결할 수 있음을 제시하였다.

본 기술의 차량추적 정확도를 검증하기 위해 차량간 엇갈림이 발생하는 130m의 도로구간에서 실제 차량을 대상으로 자료를 수집하였으며, 차량위치 데이터를 취득하였다.

분석 결과, 전체 촬영시간동안 통과된 263대의 차량중 94.3%의 차량을 성공적으로 추적하여 그 데이터를 취득하였으며, 위치데이터는 1/20초 단위로 추출하였다. 또한 데이터의 정확도 검증을 위해 데이터를 가공하여 통행속도를 산출하고, 이를 실측치와 비교한 결과 상호 같은 결과를 나타냈다. 따라서 본 트래킹 기술은 원초적인 차량의 데이터를 취득하는데 유용하게 사용할 수 있다.

이러한 기술은 현재 CCTV나 루프검지기과 같은 지점기반 정보체계와는 달리 구간정보에 대한 취득이 가능

함으로써 도로관리 및 운영에 보다 더 효율적으로 적용할 수 있는 데이터의 수집이 가능하다는데 그 의미가 있다. 또한, 지정된 도로구간에 대한 정보를 사전에 탑재한 영상시스템을 도로에 설치할 경우, 실시간으로 차량정보 자료를 취득할 수 있게 된다.

특히 이러한 방법은 전수차량에 대한 추적을 통해 구간 소통 상황을 파악할 수 있으며, 구간내에서 차량의 단위시간대별 개별위치를 파악함으로써 미시적인 교통류 특성의 파악이 가능해진다. 즉 개별차량의 미시적 움직임에 대한 자료의 취득이 가능함으로써 Lane Changing, Car Following과 같은 이론의 개발과 응용이 가능해진다.

또한, 본 연구에서의 분석구간은 130m영역에서 실시하였으나, 영상취득자료인 카메라의 성능과 촬영 각도에 따라서는 그 이상의 트래킹도 가능할 것으로 판단된다. 그리고 추후 영상적으로 겹치는 차량들에 대한 효율적 분리가 가능한 알고리즘을 추가한다면, 혼잡시간대에서의 위치데이터 취득도 가능해질 것이다.

향후 본 연구에서 제안한 방법에 있어 차량추적의 속도를 보다 높이기 위해 칼만 필터 예측기법과 정확성을 높이기 위한 시각적 클러스터링 기법을 융합하면 더 우수한 추적 정확성을 보일 것으로 기대된다.

또한 광범위한 영역을 대상으로 추적이 가능함으로 인해 영상기반의 차량속도 측정의 신뢰성과 정확성이 증가할 것으로 예상하며, 개별차량의 검지영역 내에서의 행태에 관련된 다양한 정보 추출이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. LG산전(1999), "영상검지시스템 개발 결과 보고서".
2. 박은종(2005), "컴퓨터 비전을 이용한 오픈라인 및 실시간 교통량 조사 시스템", 전북대 석사 학위 논문.
3. 이선구·이용래(2003), "고속도로 합류부의 차선 변경 확률 보정에 관한 연구", 대한토목학회 정기 학술대회 논문집.
4. 최재성·이승준(2002), "고속도로 합류부 임계차 두간격 및 용량 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제 19권 제6호, 대한교통학회, pp.195~205.
5. Young-Kee Yung and Yo-Sung Ho(2001), "A Feature-Based Vehicle Tracking System in Congested Traffic Video Sequences", Proceedings on Second IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia, Beijing, China, Oct, 2001.
6. Surendra Gupte, Osama Masoud, Robert F.K. Martin, and Nikolaos P.Papanikolopoulos(2002), Member, IEEE, "Detection and Classification of Vehicles", IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 3, NO.1, MARCH 2002.
7. Dorin Comaniciu Visvanathan Ramesh, Peter Meer(2000), "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on Volume 2, 13-15 June 2000 Page(s):142 - 149 vol.2.
8. Raju Patil, Paul E. Rybski, Takeo Kanade, Manuela M. Veloso(2004), "People Detection and Tracking in High Resolution Panoramic Video Mosaic", Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems September 28-October 2, 2004, Sendai, Japan.
9. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing 2nd Edition", pp. 523-532, 2003.
10. Dar-Shyang Lee(2005), "Effective Gaussian Mixture Learning for Video Background Subtraction", IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Vol.27, No.5, MAY 2005.

✉ 주 작 성 자 : 이기영

✉ 논문투고일 : 2005. 8. 24

논문심사일 : 2005. 9. 22 (1차)

2005. 10. 14 (2차)

2005. 10. 18 (3차)

심사판정일 : 2005. 10. 18

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30