

스펙트럼 분석방법을 이용한 Tripwire 영상검지시스템 개발

Development of Tripwire Vehicle Detection System Using Spectrum Analysis

박준석* 오주택** 노정현***
(Jun-Seok Park) (Ju-Taek Oh) (Jeong-Hyun Rho)

요약

본 연구에서는 교통량, 차량의 이동여부에 따른 속도, 방향 이외에 주정차 감시경보, 역주행, 금지영역진입 등 기본적인 교통정보를 실시간 영상분석을 통한 실시간 측정 및 검지방식을 조사하고, 보다 정확하고 환경적응적인 영상을 이용한 차량검지 알고리즘을 제시한다. 또한 본 연구에서 제시된 차량검지 알고리즘을 이미 상용화된 영상검지 시스템(A제품)과 성능을 비교하여 이들의 개선점을 도출하고 이를 통해 비교우위의 정확한 검지 성능을 갖는 영상검지 알고리즘을 개발하였다. 본 연구과제의 결과를 분석한 결과는 기성 제품(A제품)과의 비교 시에도 유사한 성능을 나타내고 있다. 기성 제품인 A제품의 경우 4개 샘플의 검지누락이 발생한 반면 본 연구에서는 1개 샘플의 중복 검지가 발생하였다. 연구과제의 결과를 보완하여 다양하고 복잡한 실제 교통 환경에서 2차 시험을 실시하여 높은 검지 정확성을 확인하였다.

Abstract

This research intended to study a vehicle detection method for traffic volume, speed, stoping, parking activity, etc. using real time image processing and to propose the more accurate, environment adaptive image processing algorithm. The new method was compared with an existing commercialized image processing system, 'A' Product, for performance reliability tests. Also, the new method improved and developed the comparative advantage image processing algorithm. With regard to the test results, the algorithm over-counted one more vehicle, while 'A' product missed four vehicles during the test period. The first test results were used to improve the performance of this algorithm, and it's performance was improved though the second test in various and complicated traffic environment to yield superior performance.

Key words: VDS, tripwire, autoscope, image processing system, ITS

† 본 연구는 건설교통부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심C01)에 의해 수행하였습니다.

* 주저자 : 한국교통연구원 책임연구원

** 공저자 : 한국교통연구원 책임연구원(교신저자)

*** 공저자 : 한양대학교 도시대학원 교수

† 논문접수일 : 2008년 7월 10일

† 논문심사일 : 2008년 8월 20일(1차), 2008년 9월 4일(2차)

† 게재확정일 : 2008년 9월 4일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지능형 교통체계는 기존의 교통체계에 전자, 제어, 통신 분야의 첨단기술을 접목 시켜 교통체계를 지능화 시킴으로써 교통 혼잡도를 줄이고 안전운행과 대기오염 감소 등을 실현하는 최적 교통 관리 체계로 정의된다. 이러한 최적의 교통관리 체계를 운용하기 위한 여러 가지 시스템의 구성요소의 효율적 관리와 제어를 통해 ITS구축이 보다 효율적으로 진행될 수 있다. 따라서 기본적인 자료가 되는 차량의 속도, 차종, 통과 차량 수, 차량 대기행렬길이, 여행시간, 차량신원정보, 차로 표시 등과 같은 다양한 교통 파라미터를 정확하게 실시간으로 측정하는 것은 ITS 구축의 필수 조건이다.

영상처리시스템을 통한 차량 통행을 검지하는 영상검지시스템(VDS: Vehicle Detection System)은 첫째, 도로상에 루프 설치와 같은 별도의 복잡한 장치를 설치하는 과정이 없어 교통흐름의 방해요소가 없으며 둘째, 차량의 통행량과 차량의 속도, 적재량에 관계없이 차량의 이동 속도와 이동량을 측정할 수 있고 셋째, 하나의 카메라로 여러 개의 차선이나 차량의 외관적 특성을 동시에 확인할 수도 있고 넷째, 다양한 교통정보를 동시에 수집할 수 있다는 장점이 있다.

하지만, 실제 현장에서 사용할 수준의 현실적인 성능을 보유한 영상검지시스템의 개발은 효율적인 ITS를 구축하는데 있어서는 매우 필요한 반면 현실적으로는 아직도 미흡한 부분이 많이 있다는 것은 우리가 주목해야 할 부분이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 수행하고자 하는 연구범위로는 우선, VDS(Vehicle Detection System) 검지기의 영상처리 기술(Image Processing Technology)이 기본적으로 갖추어야 할 차량들의 통행속도, 통행량 등의 데이터를 정확하게 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이며, 차량의 고속화에 적용될 수 있을 만큼 실시간 처

리가 가능한 최적의 검지방식을 구축하는 것이다. 구체적인 방안으로서는 Tripwire 기반의 영상검지시스템 기술에 공간 분석방법을 가미한 방식을 사용하고자 한다. 공간 분석방법을 사용함에 있어서는 영상의 전체 처리를 지양하고 부분별 분할영상 분석방식을 사용하여 수집된 영상 내에서 실시간 다중검지가 가능토록 하고자 한다.

차량의 이동여부에 따른 교통량, 속도 등의 기본적인 교통정보에 추가적으로 주차차 감시경보, 역주행, 금지영역진입 등의 교통정보를 실시간 영상분석을 통한 실시간 측정 및 검지방식을 개발하였으며, 이를 현장실험을 통하여 성능을 검증하고자 한다. 성능검증은 가장 보편적으로 널리 사용되고 있는 제품인 A 제품을 이용하였으며, 이에 추가적으로 적외선 검지기와의 성능비교를 통하여 본 연구개발의 우수성을 검증하고자 한다.

또한, 기존의 영상검지시스템에서 가장 문제가 되고 있는 환경조건의 변화에 따른 오검지 확률을 저감하기 위해서 기존 배경영상의 실시간 생성 및 복구방식을 새롭게 개발·제시 하여 환경의 변화에도 능동적인 영상처리가 가능토록 하였고, 그 적용성을 확인하고자 하였다.

II. 관련 문헌조사

기존의 노상 루프검지 시스템은 그 정확성에도 불구하고 도로상에 검지센서로서 루프 시공을 위해 도로를 절개하여 매설하는 등의 공사 형태로 인해 상당기간 교통 흐름의 방해를 초래하게 되며, 또한 도로상을 주행하는 차량의 통행량 및 통행속도, 차량 등에 의해 도로에 매설되어 있는 루프와 케이블의 잦은 손상이 발생하여 정보의 손실을 가져올 수 있는 문제점이 지속적으로 제기되어 왔다.

이에 비해 영상처리시스템을 통한 차량 통행을 검지하는 영상검지시스템(VDS: Vehicle Detection System)의 장점은 도로상에 루프 설치와 같은 별도의 복잡한 장치를 설치하는 과정이 없어 교통흐름의 방해요소가 없으며 차량의 통행량과 차량의 속도, 적재량에 관계없이 차량의 이동 속도와 이동량을 측정할

수 있으며, 카메라 영상내의 모든 정보를 활용할 수 있는 광역적 정보처리가 가능한 수단이 될 수 있기 때문에 하나의 카메라로 여러 개의 차선을 동시에 검지할 수 있다는 점이 큰 장점으로 부각되고 있다. 이는 결국 대기 길이와 속도, 차선변경 등의 다양한 정보를 수집할 수도 있다는 것을 의미한다[1-4].

영상처리시스템(Visual Information Processing)은 CCTV카메라로부터 수집되는 교통자료를 분석하기 위하여 머신비전(Machine Vision)을 이용한다[5, 6].

국외에서 연구된 영상검지기는 1950년대 “운전자 통행형태분석”을 위하여 필름을 이용한 것이 최초로, 그 이후 1970년대 영상처리를 위한 전용 하드웨어의 개발로 관련 연구개발이 급속도로 발전하게 되었다.

일반적으로 영상검지기에 대한 본격적인 연구는 1970년대 중반에 미국과 일본에서 연구되기 시작했으며, 당시 연구는 영상 처리 시 요구되는 방대한 연산량과 메모리 부족 등의 기술적인 문제로 실용화 수준에 이르지 못하였다. 그러나 1980년대 중반에 와서 전자 및 제어 기술의 발달로 인한 DSP(Digital Signal Process)의 출현으로 실시간 영상처리는 물론 정교하고 복잡한 다양한 알고리즘들을 효과적으로 적용하여 실용화단계에 이르게 되었다[7].

1989년 Hoose & Bell의 루프 검지기능과 같은 기능을 하는 영상처리 관련연구를 기반으로 영상검지기 관련된 다양한 연구결과가 보고된 바 있다. 이 연구는 초기 영상처리 기법으로 포인트 기반 방법(Point-Based Method)이 적용되었음을 감안하여 그동안 교통 분야에서 인위적으로 교통정보를 조사해 왔던 작업들을 영상처리를 기반으로 자동처리 할 수 있도록 하는 것을 궁극적인 목적으로 하여 개발되었다[8].

현재까지 개발되어온 일반적인 영상검지기의 체계는 일반적으로 다음과 같은 3개의 범주에 속한다. 즉, 트립와이어 시스템(Tripwire Systems)과 트래킹 시스템(Tracking System) 그리고 공간 분석(Spatial Analysis) 방법이다.

트립와이어 시스템의 경우 카메라는 검지를 위한 작은 검지영역(Detection Area)을 이용하여 루프검지

기와 같은 기능을 에뮬레이션(Emulation)하기 위하여 이용된다. 이 경우 다중검지는 수집된 영상영역 내에서 가능하며, 도로의 기하학적구조에 적합하도록 쉽게 구성할 수 있다. 이러한 접근방법에서의 단점은 개별 검지기의 정확도가 카메라의 가시영역에 따라 달라진다는 점이다. 이러한 접근방법에 기초한 대표적인 시스템은 AUTOSCOPE와 CCATS이다.

트래킹 시스템은 카메라의 영상 내에서 이동하는 개별차량을 검지하고 추적한다. 따라서 이 시스템은 이동하는 각 차량들에 대한 세부정보를 취득할 수 있으며, 갑작스러운 차선변경 및 잘못된 방향으로의 주행, 안정상태의 차량 등의 상황이 발생 시 새로운 정보를 취득할 수 있다. 따라서 이 시스템은 이러한 다양한 정보를 파악하기 위하여 복잡하고 정교성이 증가되며, 결국 더욱더 강력한 컴퓨터 연산 능력을 필요로 한다. 이러한 시스템의 대표적인 사례가 TRISTAR(INVAID) [9], EVA, IPVD 등이다[10, 11].

공간(Spatial) 분석 방법을 사용하는 대표적인 시스템은 IMPACT (Automatic Computer Traffic Surveillance System)이다[12]. 이 시스템은 2차원의 Video영상을 분석하는 시스템으로, 개별차량에 기초한 정보보다는 단위시간 동안 특정영역을 효과적으로 이용하는 가시적 도로 공간을 기술하기 위한 것이다. 교통류의 방해요인은 주어진 시간동안 분석을 통하여 결정될 수 있으며, 도로 공간의 이용은 어떠한 교통흐름도 없는 상태, 이동차량이 존재하는 상태와 교통상태가 안정적인 상태와 같이 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 이러한 정보들은 근본적으로 정상적 의사결정을 위한 것들이다. 영상자료는 도로변에 설치된 약 5~15m의 기둥에 설치된 CCD 카메라로부터 수집되며, 각 카메라는 각 차선별 수백m의 검지범위를 5개 차선까지 수행할 수 있다.

이러한 방식으로 구현되는 영상 검지기의 경우 각각 대응하는 화소(pixel)나 블록(block)간의 밝기 차를 구하고 일정한 임계치(Threshold Value)를 기준으로 밝기 값 차이가 한계치 이상이면 물체가 존재한다고 가정하여 교통자료를 산출한다[13, 14]. 다시 말해서 검지할 영역에서의 화소 값들의 분포를 미리 인식하고 차량이 진입할 때 화소값들의 변화에 의하여 차

량 진입여부를 판단하며, 검지원리는 일정 길이의 검지영역을 차량이 통과하는 시간을 측정하는 것이다[15].

저자는 차량의 속도변화에 따른 영상검지기의 성능분석을 실시하여 속도자료의 경우, 차량의 통과 속도가 50km/h 이하로 떨어질 때부터 성능이 저하되었으며, 교통량과 점유율에 대해서는 30km/h 이하일 때부터 성능이 저하되는 것으로 분석하였다. 또한 영상검지기의 성능저하를 방지하기 위한 현실적인 설치높이는 17m~21m로 제안하였다.

영상검지기의 정확도 분석을 위한 연구를 수행함에 있어서 영상검지기 제조업체와 장치의 설치년도 등 각각의 영상검지기 특성의 비균질성 때문에 발생할 수 있는 이분산성 문제를 고려하여 영상검지기의 정확도 감소곡선을 추정하였다.

선행연구를 검토한 결과, 영상검지 분야의 다양한 연구가 수행되고 있음을 확인할 수 있었으나, 국내에서는 오검지 등의 문제로 인하여 교통 분야에서는 활발하게 적용이 되고 있지 않은 상황이다. 관련 문헌은 주로 기존 개발 내용의 성능검증을 위주로 수행되었다.

이에 본 연구에서는 선행 연구되었던 오주택 외 4인[16]의 Tripwire 및 Tracking 기반의 영상검지 기법에 관련한 연구 중에서 Tripwire 부분에 대한 교통정보 수집 알고리즘에 추가적으로 공간 분석방법을 결합하여 Tripwire방식이 가지는 장점인 고속의 영상검지처리 기능을 구현하고자 한다.

Ⅲ. 영상신호를 이용한 차량 검지 알고리즘

1. 차량 검지 알고리즘

본 연구에서는 차량 오인식 문제를 최소화시키고 차량의 속도를 정확히 검지할 수 있는 알고리즘으로, 영상의 색상도나 영상의 밝기를 분석하는 스펙트럼 분석방법 중의 하나인 히스토그램 구역적 평활화 및 기법(Histogram Locally Equalizing Method)을 사용하고자 한다.

히스토그램을 사용하는 대부분의 경우는 영상의 화질을 개선하기 위한 방법으로서 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)를 사용하기도 하고, 화질의 전체적인 평가를 위해 전체 화상의 히스토그램 정규화(Image Normalization)를 사용하는 등 화질의 변화를 위한 기술로서 적용되어왔다. 그러나 전체 화질을 평가하거나 화상의 특정 부분을 분석하기 위한 기술을 사용하지 않는 경우는, 빠르고 간단한 방법으로 화상의 효과적인 이진화를 위해 히스토그램을 사용하기도 하였다. 이러한 기법은 임계치에 의한 화상의 이진화기법(Image Binarization method by using Image Threshold)라고 하여 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 일반적으로 사용되는 히스토그램의 사용 목적과는 다른 방식으로 차량 검지방식을 구현하였다. 일반적으로 정적인 영상의 경우, 히스토그램을 통해서 우리가 알 수 있는 정보는 영상의 조도의 수준별 총합이나 색상정보량의 총합 정도로서 극히 제한적이다.

하지만 연속적이고 순차적인 영상의 경우 각 히스토그램은 영상의 입력 시퀀스에 따라 그 영상의 내용이 변화하는 것을 알려주는 신호가 될 수도 있다. 또한, 단일 카메라를 통한 다차선상의 차량 감지와 실시간 검지를 위한 고속영상처리는 목표를 달성하기 위해서 영상의 전역처리를 지양하고 영상의 지역별 할당처리를 수행함으로써 영상처리에 소요되는 시간을 줄이는 방법을 사용하였다.

1) 차량 인지과정

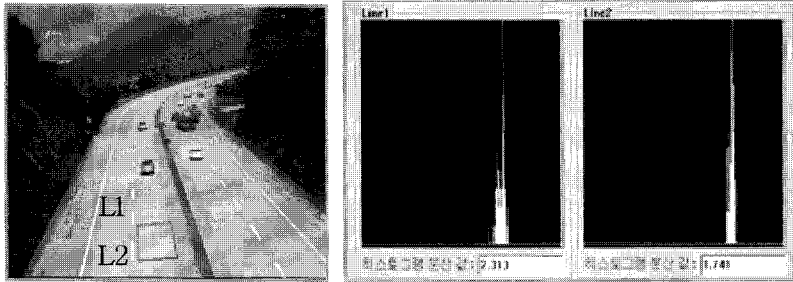
영상이 입력되면 우선 그 영상의 왜곡이나 노이즈에 의한 장애요소를 제거해야 한다. 본 연구에서는 영상의 왜곡이나 노이즈에 대한 부분을 최소화 하는 방법을 하드웨어의 성능개선을 통해 구현하여 시스템의 처리속도에 영향을 극소화 하였다.

우선 영상이 입력되면 그 영상에 포함될 수 있는 환경적인 장애요인을 제거해야 한다. 그 장애요인을 제거하는 방법으로는 기본적으로 그림자와 같은 장애요소에 대해서 차량검지에 거의 영향을 받지 않는 알고리즘을 사용하고 있기 때문에 본 연구에서는 시간에 따른 배경영상의 밝기와 배경의 변화에 따른

차량 인식을 저하요인을 제거할 수 있는 방식을 도입하였다.

그 방식으로서는 기준 배경영상의 지속적이고 실시간적인 생성과정과, 그 배경영상을 사용하여 입력

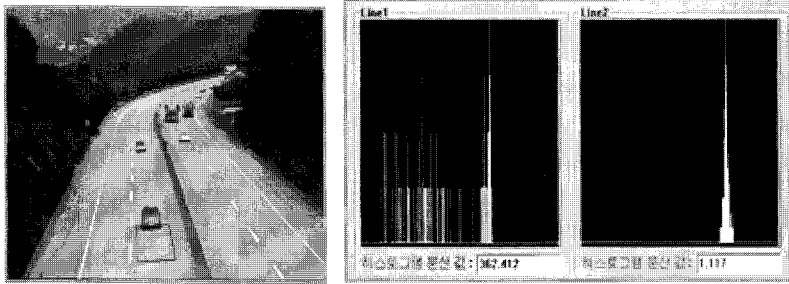
된 영상으로부터 배경영상을 제거하여 기본적으로 입력된 영상으로부터 차량으로 추정되는 영상정보만을 처리한다. 또한 <그림 1>과같이 검지구간으로 설정된 지역의 제1검지선과 제2검지선 영역의 변화율



(a) 도로현장사진(가상검지영역)

(b) 전방(L1) 후방(L2)영역 히스토그램

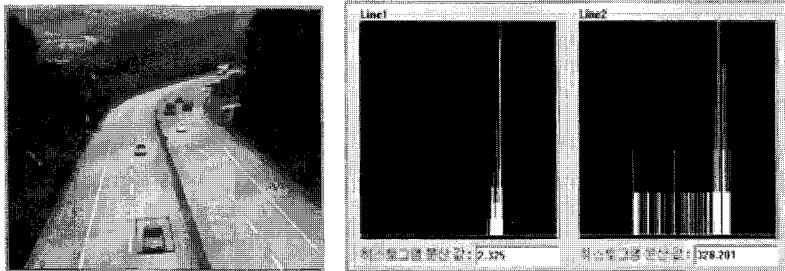
(a) 검지구간 공백상태, (b)검지구간공백상태의 히스토그램, 전방 및 후방검지선 배경 화면에 대한 히스토그램만 존재,



(c) 도로현장사진(L1 차량진입)

(d) 1차 변화된 전방(L1), 후방(L2)히스토그램

(c) 전방검지선에 차량 진입개시, (d) 전방 검지선의 히스토그램의 분산 변화(2.313 → 362.412) 즉 전방검지선 차량검지,



(e) 도로현장사진(L2 차량진입)

(f) 2차 변화된전방(L1),후방(L2)히스토그램

(e) 후방검지선에 차량진입개시, (f) 전방검지선 공백, 히스토그램분산은 (362.412 → 2.325)로 복귀, 후방검지선 히스토그램분산도 변화(1.117 → 328.201) 차량 진입검지.

<그림 1> 검지선과 검지영역의 히스토그램

<Fig. 1> Histogram of detection line and detection area

을 추적하고 비교함으로써 본 연구가 목적하는 고속 검지를 구현 하였다.

따라서 본 연구에서는 차량의 이동 상황에 대해서는 위의 방법과 같이 차량 통행로 상에 일정한 두께의 검지 영역을 가지는 검지선 2개를 설치하고 각각의 검지선을 통과하는 차량을 인식하는 기법으로서 각 검지영역으로 설정된 영역내의 히스토그램의 변화율을 검지하는 알고리즘을 사용한다.

본 연구에서는 히스토그램의 분포를 주변 조명환경의 영향을 최소화 하기 위해 다음과 같은 방식으로 부분적인 히스토그램의 평활화를 적용하였다.

우선 입력된 n 개 픽셀로 구성된 영상의 특정밝기 부분 p 를 나타내는 히스토그램을 $h(p)$ 라 하고, 히스토그램을 평활화 하기 위해, 주어진 히스토그램을 누적하는 함수 g 를 고려하여 이 함수에 대응되는 특정한 영상의 밝기 정보에 매핑되는 밝기 정보를 q 라 하였을 때, 히스토그램 $h(p)$ 와 이 히스토그램의 평활화 함수 $g(q)$ 의 관계는 식(1)과 같다.

$$g(q) dq = h(p) dp \quad (1)$$

여기서, $g(q)$ 는 새로운 히스토그램을 뜻한다. 즉 히스토그램이 평활화 되었다면 당연히 $g(q)$ 는 일정한 크기로 매핑될 것이다. 따라서,

$$g(q_2) = \frac{N^2}{M} \quad (2)$$

여기서, N^2 는 영상에서의 화소수이고 M 은 중간 조 수준의 개수이다.

따라서 함수 (1), (2)를 결합하고 적분을 취하면 다음을 얻는다.

$$g(q) = \frac{M}{N^2} \int_0^q h(p) dp \quad (3)$$

히스토그램 평활화는 어느 부분의 영상이 실제 히스토그램의 추적 및 비교에 가장 적합한지를 실시간으로 추적하는데 유효한 도구가 된다. 입력된 기본

영상의 적절한 영역으로의 평활화가 이루어지면 구역별 히스토그램의 정보를 배경화면의 히스토그램과 비교하여 변화율을 감시하게 된다. 이 변화율의 감시를 보다 효율적으로 하기위해 위의 식 (3)을 적용하여 최적의 평활화 위치를 사용하게 되면 비교적 일정한 수준의 영상을 확보할 수 있기 때문에, 히스토그램이 가지는 특성을 이용하여 기준영상의 히스토그램과의 차이성을 확보하는데 필요한 정보의 신뢰성을 향상시킬 수 있게 된다.

여기서, 얻어진 신규 입력 히스토그램과 배경영상의 히스토그램 간에 유사성, 혹은 이질성을 확인하기 위한 방법으로 고전적인 패턴매칭 방법이나 Bayesian 공간에서 통계적인 오류를 극복하기 위해 많이 사용하는 Kullback-Leibler divergence 혹은 Bhattacharyya Distance등을 고려할 수 있으나, 본 연구에서는 비교적 간단하게 적용할 수 있는 Bhattacharyya Distance 의 변형된 형태를 사용하였다. Bhattacharyya Distance의 형식은 다음과 같이 요약될 수 있으며, Bhattacharyya Distance가 멀 수록 히스토그램의 유사도가 높다고 할 수 있다.

우선 주어진 2가지 영상의 각 화소위치 $\{x\}$ 에 대한 확률적 영상정보의 분포함수를 각각 $b(x)$ 와 $f(x)$ 라고 정의하였을 때, Bhattacharyya Distance는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(b,f) = \sqrt{b(x).f(x)} dx \quad (4)$$

이 Bhattacharyya 거리로부터 평가 기준함수를 생각한다면, 다음과 같다

$$D(f,g) = 1 - \sqrt{f(x).g(x)} dx \quad (5)$$

이 평가기준은 입력된 영상의 급격한 변화를 전제로 한다. 다시 말하면 천천히 진입하는 차량의 경우라고 할지라도 통상의 경우 정지되어 있는 차량이 아니라면 매 초 30프레임의 영상이 입력되는 경우 실제 이동속도 50km/h의 속도로 이동하는 차량일 경우 실제 초당 0.5m 정도로 이동하며 실제 영상정보를 통해 판단할 경우에는 이보다도 더 적은 범위의

이동으로 나타나기 때문에 어느 정도 속도의 변화를 가진 차량에 매우 유효하게 판단될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 색상정보와 밝기 정보를 모두 R-G-B 시스템에서 HSI시스템으로 변환한 후, 색상히스토그램(Hue)의 Bhattacharyya 거리와 밝기(I) 히스토그램의 Bhattacharyya 거리의 곱으로 두 가지의 특징을 모두 반영하였고, 차량의 검지영역에 진입하는 순간을 포착하는 정확성을 상당히 향상시켜 차량 검지의 기술로서 반영할 수 있었다.

본 연구에서 Bhattacharyya 거리로 사용한 알고리즘을 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$P(H_1, H_2) = \sum_{x=1}^N \sqrt[2]{H_1(x) \times H_2(x)} \quad (6)$$

$$\sum_{x=1}^N H_1(x) = 1, \quad \sum_{x=1}^N H_2(x) = 1 \quad (7)$$

여기서, x는 히스토그램의 밝기 혹은 색상에 대한 인덱스를 나타내고 N은 각 분류별 인덱스의 총 개수를 나타낸다.

이와 같은 방법으로 기준 배경영상의 해당 검지영역과 신규 입력된 영상의 해당 검지영역으로부터 얻어진 각 히스토그램과 위의 식(6),(7)을 이용하여 얻은 Bhattacharyya 거리 판별값을 통해 주어진 영역에 차량이 진입했음을 감지하게 된다. 이러한 감지 방식은 한 개의 영상 카메라에 입력된 다수의 차선에 차선별로 2개의 검지영역을 설정함으로써 동시에 다수의 차량의 이동상황과 속도를 검지할 수 있게 된다.

그러나 차량의 속도에 따라서는 Bhattacharyya 거리 판별 값이 불명확한 위치에서 산출될 수 있으며, 실제 현장 상황에서는 고장으로 인해 검지선상에 정지되어 있는 차량의 경우 검지하지 않는 경우가 있기 때문에, 검지 판별값으로 사용되는 Bhattacharyya 거리의 기준을 적절하게 선정하는 것이 중요하다. 이러한 어려움을 때문에 영상검지기술을 응용하고 있는 기존의 차량 속도 검지장치들은 측정대상 차량들의 최저 이동속도를 제한하는 등의 방법으로 오검지

의 문제를 줄이고자 하였다.

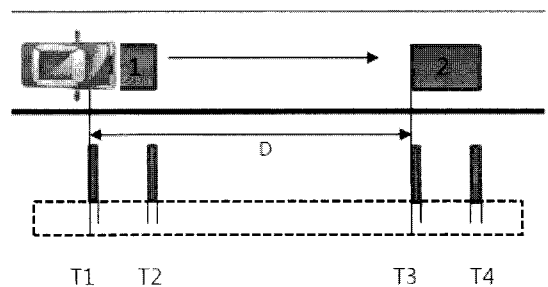
본 연구에서는 이러한 문제점들을 해소하기 위해, 배경영상의 생성 및 갱신과정 중 고장이나 정체상태로 정지되어 있는 차량의 경우에 대해 배경영상 오판별을 최소화 할 수 있도록 일정 시간간격으로 배경영상을 갱신하고 있고, 이와 병행하여 강한 일조 조건으로 인해 발생하는 주위 환경의 질은 그림자나, 정지되어 있는 차량으로 인해 발생된 오인식된 임시 배경화면 위로 새로운 차량의 궤적이 발생할 경우에는 배경을 새로이 갱신하는 예외처리과정을 적용하였다. 본 연구에서는 Bhattacharyya 거리를 25%로 설정하여 연구를 수행하였고, 배경영상의 생성을 위해 10개의 임시 배경 버퍼를 운용하여 매 영상 프레임으로부터 배경 영상 판별을 실시하고, 2분마다 배경화면의 갱신을 실시하는 등의 예외처리과정을 적용하여, 저속차량이나 정지차량으로 인한 오검지 문제의 최소화를 시도하였다.

Histogram을 사용한 Bhattacharyya거리 비교를 통해 얻어진 검지영역내의 차량의 존재를 검지한 후 차량의 속도를 검지하는 것은 다음과 같은 방법을 사용할 수 있다.

우선 <그림 2>에 2개의 검지선을 가진 2개소의 검지영역을 통과하는 차량을 표현하였다.

그림에 표시된 각 부호의 의미는 다음과 같다.

T1, T2: 첫째(1번) 검지영역의 전반부, 후반부를 차량이 통과하는 시간



<그림 2> 전방검지영역 및 후방검지영역의 검지 파라미터 표시도

<Fig. 2> Detection parameters of front and rear detection area

T3, T4 : 둘째(2번) 검지영역의 전반부, 후반부를 차량이 통과하는 시간

D : 두 검지영역의 전반부사이의 거리. 즉 검지구간거리.

T2 - T1 = A : 검지선 전반부와 후반부를 통과하는 시간 차이

이 때 차량의 이동 속도 v_m 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v_m = \frac{3.6D}{T_3 - T_1} [km/h] \quad (8)$$

또 전방 검지 영역의 폭과 후방 검지 영역의 폭이 동일한 경우, 이러한 구조의 검지 시스템을 운용 시 검지속도의 오차는 다음과 같이 표현되며 <그림 3>과 같다.

$$E_v(t) = 3.6 \left| \frac{D}{T_3 - T_1} - \frac{D}{T_4 - T_1} \right| [km/h], \text{ 혹은}$$

$$E_v(t) = 3.6 \left| \frac{D}{T_3 - T_1} - \frac{D}{T_3 - T_2} \right| [km/h] \quad (9)$$

초당 영상프레임 수가 F인 카메라를 사용하는 경우는 같은 Td간에 이동되어 나타난 거리가 다르지만 실제 검지영역내의 어느 위치에서 차량의 진입이 검

지되었더라도 동일한 프레임에 동일한 위치라고 판단하게 되므로, 전방검지영역 및 후방 검지영역부분의 거리에 해당하는 만큼 오차가 발생할 수 있으며 이 경우 을 때 또 초당 프레임수 f [f/s]인 카메라로 위 식(8)이 나타내는 영역 내에서 발생할 수 있는 오차의 경우는 다음 <그림 3> 과 같다.

거리 포착시간에 따른 오차발생 크기를 분석하기 위하여 검지구간 통과에 소요되는 시간을 t_d 로 하면 검지구간 통과 속도는,

$$v_m = \frac{D}{t_d} [m/s] \text{ or } \frac{3.6D}{t_d} [km/h] \quad (10)$$

검지부 오차를 고려하고 D거리의 이동시간 t_d 를 표기하면

$$t_d = \frac{(D \pm D_d)[m]}{v_m [km/h]} = \frac{3.6(D \pm D_d)[m]}{v_m} [sec] \quad (11)$$

D[m]를 움직이는 동안 촬영되는 프레임 수 F_m 은

$$F_m = INT\{f [fps] \times t_d [sec]\} \quad (12)$$

이제 다시 영상프레임으로 양자화 된 이동시간 T_{F_m} 을 산출하면,

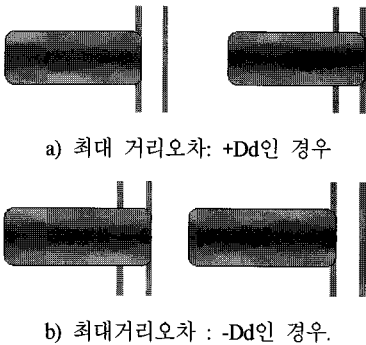
$$T_{F_m} = T_f \times F_m = \frac{1}{f} \times F_m [sec] \quad (13)$$

영상 프레임 F_m 의 시간으로 환산된 양자화된 차량속도 V_m 은

$$V_m = \frac{D}{T_{F_m}} [m/s] = \frac{3.6D}{(F_m/f)} = \frac{3.6D}{INT(f \times t_d)/f}$$

$$= \frac{3.6D}{INT(f \times \frac{3.6(D + D_d)}{v_m})/f} [km/h] \quad (14)$$

실제 차량속도와 검지된 차량의 오차량 ΔV_m 는



<그림 3> Flame 수 f인 카메라로 포착한 영상의 최대 오차 발생 경우

<Fig. 3> Maximum error cases of detected images at f frame (a) case of +Dd and (b) case of -Dd

$$\Delta V_m = v_m - V_m \quad (15)$$

와 같다.

결과적으로, 속도검지 오차의 발생은 카메라의 셔터속도와 차량검지를 위한 검지 구간의 폭, 차량의 속도 즉 차량이 검지구간을 통과하는 시간 등에 상당히 민감하게 변화하는 것을 알 수 있는데 이러한 현상을 Modulation Effect, 이러한 Modulation Effect로 인해 발생하는 검지오차를 카메라 프레임속도에 의한 Sampling Error라고 볼 수 있다.

따라서, 검지 오차를 줄일 수 있으려면 카메라의 초당 Frame 수 f 를 크게 할수록 유리하고, 식(14)의 분모항 $INT(\dots)$ 괄호 내부의 값이 정수가 될 수록 오차가 작아지게 된다. 또 전방 혹은 후방검지영역의 길이가 작아질수록 원래의 속도에 가까운 결과를 나타냄을 알 수 있다. 다만 D_d 의 검지영역길이는 작을수록 좋으며, 피 측정물체의 이동속도가 고속일수록 촬영했을 때의 $f \times 3.6D_d/v_m$ 의 항이 정수이상의 크기가 되어야 오차에 영향을 주는 요소가 되므로 검지 목적에 따라 적절한 값으로 설정되어야 한다.

또한 검지 구간(D)이 길수록 연속적 영상의 샘플링속도로 발생하는 변조효과가 적어지게 되므로 가능한 한 검지구간의 길이를 늘려주는 것이 유리하다.

다음 <표 1>, <표 2>에 전방 검지영역길이와 후방 검지영역길이 (D_d)를 사용하지 않는 조건에서, 다양한 차량의 실제속도를 가정하여, CCTV 카메라의 프레임수(Fc), 검지구간거리별(D) 검지오차량(km/h) 및 검지오차률(%)을 계산한 결과를 보이고 있다. <표 1>에 나타난 바와 같이 검지구간이 5m 정도일 때는 저속일 때부터 큰 오차를 보이고 있지만 검지구간이 15m가 되면 150km/h까지 계산오차 5km/h이내의 결과를 보인다. <표 2>에서와 같이 60fps 성능의 카메라를 사용할 경우에는 검지구간 10m, 15m 모두 속도오차 5km/h, 오차율 3%이내의 결과를 보이고 있다.

따라서 차량의 이동속도에 대한 오차는, 차량속도 검지를 위한 검지구간의 거리 (D)가 클수록(즉 T_d 가 클수록) 작아지고, 카메라의 초당 촬영 프레임수(fps)

가 클수록(즉 프레임간의 시간차 (F_m)가 작을수록) 오차가 줄어들게 된다.(식 (14))

좀 더 정밀한 측정을 위한 방법으로는 검지영역의 전방검지선과 후방검지선 2개에 한정하지 않고 좀 더 넓은 범위의 검지영역에 다수의 검지선을 설정해 두면 더 효과적이다. 예를 들어 약 3m 구간에 50cm 간격으로 7개를 설치해 두면 50km/h의 차량으로부터 200km/h에 이르는 다양한 속도의 차량의 속도를 +/-5km/h 정도의 정밀도로 검지할 수 있다. 다만 검지영역이 커지고 검지선의 숫자가 늘수록 정확도는 증가하나 실시간 처리능력이 점점 떨어지는 문제점이 상존한다.

<표 1> 검지구간거리별, 카메라 프레임수별 속도 검지 오차표(Fc=30, Dd = 0)

<Table 1> Speed detection error table(Fc=30, Dd = 0)

D[m]	5			10			15		
	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %
35	36.00	1.00	2.86	34.84	-0.16	-0.46	35.22	0.22	0.62
40	38.57	-1.43	-3.57	40.00	0.00	0.00	39.51	-0.49	-1.22
45	45.00	0.00	0.00	45.00	0.00	0.00	45.00	0.00	0.00
50	49.09	-0.91	-1.82	49.09	-0.91	-1.82	50.63	0.63	1.25
55	54.00	-1.00	-1.82	54.00	-1.00	-1.82	55.86	0.86	1.57
60	60.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00
65	67.50	2.50	3.85	63.53	-1.47	-2.26	64.80	-0.20	-0.31
70	67.50	-2.50	-3.57	72.00	2.00	2.86	70.43	0.43	0.62
75	77.14	2.14	2.86	77.14	2.14	2.86	73.64	-1.36	-1.82
80	77.14	-2.86	-3.57	77.14	-2.86	-3.57	81.00	1.00	1.25
85	90.00	5.00	5.88	83.08	-1.92	-2.26	85.26	0.26	0.31
90	90.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00
95	90.00	-5.00	-5.26	98.18	3.18	3.35	95.29	0.29	0.31
100	108.00	8.00	8.00	98.18	-1.82	-1.82	101.25	1.25	1.25
105	108.00	3.00	2.86	108.00	3.00	2.86	108.00	3.00	2.86
110	108.00	-2.00	-1.82	108.00	-2.00	-1.82	108.00	-2.00	-1.82
115	108.00	-7.00	-6.09	120.00	5.00	4.35	115.71	0.71	0.62
120	108.00	-12.00	-10.00	120.00	0.00	0.00	115.71	-4.29	-3.57
125	135.00	10.00	8.00	120.00	-5.00	-4.00	124.62	-0.38	-0.31
130	135.00	5.00	3.85	135.00	5.00	3.85	135.00	5.00	3.85
135	135.00	0.00	0.00	135.00	0.00	0.00	135.00	0.00	0.00
140	135.00	-5.00	-3.57	135.00	-5.00	-3.57	135.00	-5.00	-3.57
145	135.00	-10.00	-6.90	154.29	9.29	6.40	147.27	2.27	1.57
150	135.00	-15.00	-10.00	154.29	4.29	2.86	147.27	-2.73	-1.82

<표 2> 검지구간거리별, 카메라 프레임수별 속도 검지 오차표(Fc=60, Dd = 0)

<Table 2> Speed detection error table(Fc=60, Dd = 0)

D[m] =	5			10			15		
Vreal [km/h]	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %	Vdet [km/h]	Verr [km/h]	Error %
35	34.84	-0.16	-0.46	34.84	-0.16	-0.46	34.84	-0.16	-0.46
40	40.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00
45	45.00	0.00	0.00	45.00	0.00	0.00	45.00	0.00	0.00
50	49.09	-0.91	-1.82	50.23	0.23	0.47	49.85	-0.15	-0.31
55	54.00	-1.00	-1.82	55.38	0.38	0.70	54.92	-0.08	-0.15
60	60.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00
65	63.53	-1.47	-2.26	65.45	0.45	0.70	64.80	-0.20	-0.31
70	72.00	2.00	2.86	69.68	-0.32	-0.46	70.43	0.43	0.62
75	77.14	2.14	2.86	74.48	-0.52	-0.69	75.35	0.35	0.47
80	77.14	-2.86	-3.57	80.00	0.00	0.00	79.02	-0.98	-1.22
85	83.08	-1.92	-2.26	86.40	1.40	1.65	85.26	0.26	0.31
90	90.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00
95	98.18	3.18	3.35	93.91	-1.09	-1.14	95.29	0.29	0.31
100	98.18	-1.82	-1.82	98.18	-1.82	-1.82	101.25	1.25	1.25
105	108.00	3.00	2.86	102.86	-2.14	-2.04	104.52	-0.48	-0.46
110	108.00	-2.00	-1.82	108.00	-2.00	-1.82	111.72	1.72	1.57
115	120.00	5.00	4.35	113.68	-1.32	-1.14	115.71	0.71	0.62
120	120.00	0.00	0.00	120.00	0.00	0.00	120.00	0.00	0.00
125	120.00	-5.00	-4.00	127.06	2.06	1.65	124.62	-0.38	-0.31
130	135.00	5.00	3.85	127.06	-2.94	-2.26	129.60	-0.40	-0.31
135	135.00	0.00	0.00	135.00	0.00	0.00	135.00	0.00	0.00
140	135.00	-5.00	-3.57	144.00	4.00	2.86	140.87	0.87	0.62
145	154.29	9.29	6.40	144.00	-1.00	-0.69	147.27	2.27	1.57
150	154.29	4.29	2.86	154.29	4.29	2.86	147.27	-2.73	-1.82

* 카메라 frame 수가 60[fps]일 경우에는 30km/h~140km/h대 전 조건에서 오차를 5km/h 이내임.

본 연구에서는 기존의 차량 검지영역의 전방 검지선과 후방 검지선간의 거리를 3m로 두고 시험하던 관행을 벗어나서 대형 승용차의 경우까지 구간 내에 들어갈 수 있을 만큼의 최소한의 영역으로 검지영역을 15m로 설정하고, 카메라의 속도는 30fps로 설정하여 실험하였다. 또한 검지 영역의 길이는 시속 50km/h ~ 120 km/h에 이르는 속도 범위에서 오차 5km/h(5% 미만)로 낮추기 위해서는 검지구간 거리는 최소한 10m로 설정하는 것이 좋다.

검지 오차를 줄일 수 있는 다른 방법으로 본 연구

에서 병행 실시한 방법은, 검지영역의 길이(D_d)를 0로 두고

(i) 전방 검지영역이 최초 감지되면 검지영역 부근의 1m 정도 길이가 초과된 영역까지 원도를 취하고, 원도영역 안에서 배경영상을 추출하여 도출된, 전경영상의 최 하단으로부터 검지선 까지 전방검지영역 초과거리 (ΔD_{d1})을 산출하고, 원래의 검지 구간거리(D)로부터 전방검지영역초과거리 (ΔD_{d1})을 빼서 실제 거리를 보정한 1차 보정거리 (D_{adj1})을 산출한다. 이때의 전방영상 frame 번호 (n_{f1})를 저장해 둔다.

(ii) 후방 검지영역이 최초 감지되면 전방검지영역의 경우와 같은 방법으로 후방검지영역 초과거리 (ΔD_{d2})를 산출하고, 1차 보정거리(D_{adj1})에 후방 검지영역 초과거리(ΔD_{d2})를 더하여 2차 보정거리(D_{adj2})를 계산한다. 이때의 후방영상 frame 번호(n_{f2})를 저장해 둔다.

(iii) 검지된 2개의 영역으로부터 산출된 보정거리 (D_{adj2})를 후방영상frame번호(n_{f2})와 전방영상 frame번호(n_{f1}) 차로부터 산출된 시간(t_d)로 나누면, 검지된 차량의 보상속도(v_{comp})는 D_{adj2}/t_d 로 산출된다.

그 산출 과정은 식 (16)와 같다.

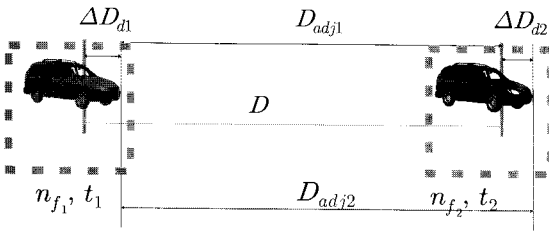
$$D_{adj1} = D - D_{d1}; \text{ frame } n_{f1}, \tag{16}$$

$$D_{adj2} = D_{adj1} + D_{d2}; \text{ frame } n_{f2},$$

$$t_d = \frac{(n_{f2} - n_{f1})}{F_c}$$

$$v_{comp} = D_{adj2}/t_d = 3.6D_{adj2}/t_d \text{ [km/h]}$$

여기서, F_c 는 카메라의 고유 규격으로서 초당 프레임수이고, t_d 는 검지구간 통과시간이며, D_{adj2} 는 보정된 검지구간거리이고, n_{f1} , n_{f2} 는 각각 전방검지영역 검지 영상프레임번호와 후방검지영역 검지 영상프레임번호이다. <그림 4>는 검지구간 거리보정관계를 설명해 주는 개념도이다.



<그림 4> 검지구간 오차거리 보정 개념도

<Fig. 4> Error correction concept for detection area

2) 2D-2D 투영변환

본 연구에서 사용한 2D-2D 투영 변환은 실제 도로 정보(차선의 도색길이 및 차선과 차선 사이의 빈 거리)를 이용하여 실제 촬영한 영상의 검지선의 근사적인 길이를 얻고자 하는데 있다. 즉 일반적으로 도로의 높낮이의 굴곡을 배제하면 도로 면은 2차원 평면이며, 이를 카메라를 통하여 취득된 도로면의 영상과는 2차원 투영변환 관계를 가진다. 따라서, 현재 도로교통법에 명시되어 있는 차선과 차선사이의 폭과 중앙 점선으로 표시된 차선의 도색기준에 따르면, 도로영상에 나타난 차선을 이용하여 설정되는 검지영역의 길이를 간접적으로 계측할 수 있다.

본 시스템에서는 사용자가 촬영한 영상을 보고 직접 검지영역을 입력하면, 이를 바탕으로 기준점상의 차선정보와의 투영변환을 구성하며, 투영변환 정보

는 궁극적으로 검지영역의 실제 길이정보를 얻을 수 있도록 구성하였다.

입력한 실제 도로 정보와 검지선과의 관계는 아래의 2D-2D 투영 변환식을 이용한다.

<일반식>

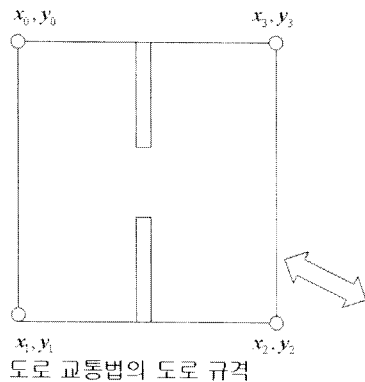
$$x' = \frac{a_{11}x + a_{21}y + a_{31}}{a_{13}x + a_{23}y + a_{33}}, y' = \frac{a_{12}x + a_{22}y + a_{32}}{a_{13}x + a_{23}y + a_{33}} \quad (17)$$

<변환 계수 구하기>

$$\begin{aligned} a_{11} &= x'_1 - x_0 + a_{13}x_1 \\ a_{21} &= x'_3 - x_0 + a_{23}x_3 \\ a_{31} &= x_0 \\ a_{12} &= y'_1 - y_0 + a_{13}y_1 \\ a_{22} &= y'_3 - y_0 + a_{23}y_3 \\ a_{32} &= y_0 \\ a_{13} &= (\Delta x_3 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_3) / (\Delta x_1 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_1) \\ a_{23} &= (\Delta x_1 \Delta y_3 - \Delta x_3 \Delta y_1) / (\Delta x_1 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_1) \\ a_{33} &= 1 \\ \Delta x_1 &= x'_1 - x_2, \Delta x_2 = x'_3 - x_2, \Delta x_3 = x_0 - x_1 + x'_2 - x_3, \\ \Delta y_1 &= y_1 - y_2, \Delta y_2 = y_3 - y_2, \Delta y_3 = y_0 - y_1 + y_2 - y_3 \end{aligned} \quad (18)$$

여기서, (x'_i, y'_i) 는 도로영상의 검지영역 부분을 지시하며, (x_i, y_i) 는 기준 영상의 상대적인 위치정보로, 구성된 2D-2D 투영변환은 이 관계를 규정짓는다. 일단 투영변환을 구성하면 (x'_i, y'_i) 로부터 (x_i, y_i) 의 변환 관계를 알 수 있고, (x_i, y_i) 들이 이

<변환 모양>



<그림 5> 2D-2D 투영 변환 적용 방법

<Fig. 5> Application method of 2D-2D projection conversion

용하여 검지영역의 길이와 폭 정보를 간접적으로 알 수 있다.

2. 교통정보의 산출

위의 III -1. 차량검지 알고리즘에서 설명된 본 연구의 내용을 바탕으로 해서 다음과 같은 교통관련 정보가 산출될 수 있다. 그 교통정보의 내용은 교통량 정보, 차선별 속도, 차로상의 차량의 통행유무 혹은 지정된 구역 내의 차량의 존재여부, 제한지역으로의 차량의 진입여부, 및 역주행 상태 정보 등이다. 이때 카메라 설치 시 검지 타워 상에 부착된 카메라의 높이, 카메라가 커버하고 있는 지역의 광학적 사각 및 검지범위, 이에 따른 실제 영상상의 설정 길이 등이 사전에 조율되어야 한다. 이러한 변수들은 설치 현장에서 실측할 수 있는 검지물체를 도로상의 측정범위에 사전에 설정해 줌으로써 카메라에 투영된 영상으로부터 실제 현장의 검지지역의 위치 및 검지지역간의 거리등을 비교적 정확하게 설정할 수 있다.(식 (17), <그림 5> 2D-2D 투영변환, 식 (18) 참조)

1) 차선별 차량 속도 검지

차선별 차량의 속도는 각 차선에 가상적으로 전방 검지영역과 후방검지영역을 사전에 설정하는 작업으로부터 시작된다. 전방검지영역 및 후방검지영역의 검지선의 두께는 영상으로 투영된 이후 영상의 처리 과정에서 그 화소정보가 훼손되지 않는 최소한의 크기 이상이 되도록 설정해야 한다(본 연구의 시험을 통해 영상으로 투영변환 후 최소한 10 pixel line 이상 되는 범위가 적당함을 확인하였다.). 특히 2D-2D 투영변환 시에 발생할 수 있는 위치왜곡 발생하는지 여부에 대한 확인이 필요하다.

차선별 개별 차량의 속도는 전방 검지영역을 통과한 첫 번째 영상 프레임 시간으로부터 후방 검지영역을 통과한 첫 번째 프레임간의 시간 및 사전에 설정된 거리로서 통과속도가 앞에서 언급한 것처럼 식 (8)과 같이 결정된다. 또한, 영상프레임의 양자화 과정에서 발생하는 변조효과 오차를 줄이는 보정속도는 앞에 설명된 식 (16)과 같다.

2) 차선별 차량의 평균속도

각 차선의 차량의 평균속도는 주어진 시간동안 측정코자 하는 차선을 통과한 차량의 총 수를 계수하면서 각 차량의 속도를 측정하여 통과한 차량 모두의 속도를 총합을 하고, 해당 시간 간격이 완료가 되는 순간까지 통과한 차량의 숫자로 누적된 차량의 속도를 나눗셈하여 얻을 수 있다.

평균속도는 다음 식 (19)와 같이 표현된다.

$$M = \sum_{t=0}^T C(V_i(t)), \quad (19)$$

$$\overline{V}_n = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_i(t))$$

여기서 M 은 T 시간 구간동안 통과한 차량 총 수, $C(V_i(t))$ 은 단위시간당 검지 차량 수, \overline{V}_n 은 임의의 차로에 n 대해 T 시간 구간동안 검지한 차량평균속도이다.

차로 전체의 평균속도 \overline{V}_T 를 구하고자 하면, 각 차로별 평균속도와 통과차량의 합을 곱하고, 그 값을 모두 합한 뒤, 각 차선을 통과한 차량의 총 합으로 나눗셈하여 구한다.

$$\overline{V}_T = \frac{1}{\sum_{x=1}^N (M_x)} \left(\sum_{x=1}^N (M_x \overline{V}_x) \right) \quad (20)$$

여기서, N은 측정대상 도로의 총 차로 수(속도검지기 수)이다.

3) 차량의 유무, 차량의 주정차 상황

차량의 존재유무를 판별하는 방법으로는 크게 2 가지를 들 수 있다. 그 첫째는 위와 같은 방법으로 특정지역을 지정하여 차량이 진입가능한 곳에 검지영역을 설치해 두고 그 영역의 어느 한 쪽으로 차량이 진입한 숫자를 총 합을 구하고, 또 진출 가능한 곳에 다른 검지 영역을 두어 합산된 존재차량의 총 합에서 검지시마다 하나씩 제외해 나가는 방법이며, 이는 차량의 속도검지 알고리즘을 활용한 임의의 지

역에서 사전 설정 가능한 차량검지 방법이다. 다른 하나는 본 연구과제와 관련 있는 사고차량 자동검지 시스템에서와 마찬가지로 배경영상 갱신기간동안 원래 보존중인 기준영상의 특정한 지역에 비교해 현재 화면상에 특이한 영상의 변화가 발생했는가의 여부를 판단하는 방법이다.

특정지역에 주, 정차하고 있는 차량의 총 수를 위의 첫 번째 방법을 이용한다면,

$$N(t) = \sum_{i=0} D_I(i,t) - \sum_{j=0} D_O(j,t) \quad (21)$$

여기서, $N(t)$ 는 특정 시간 t 까지 시간 구간 동안 특정지역에 주,정차된 차량의 총 수를 나타내고, $D_I(i,t)$ 는 해당 지역에 진입이 검지된 차량이고, $D_O(j,t)$ 는 해당지역으로부터 이탈된 차량을 나타낸다. 따라서 주어진 시간 간격 내에서 위의 검지 방법을 사용하면 특정지역에 주, 정차, 혹은 차량의 유무 상태를 확인할 수 있다.

4) 금지구역 진입차량 검지

금지구역이라 함은 위 (3)항의 특정지역과 마찬가지로 사전에 설정 가능한 영역으로 정의될 수 있다. 따라서 특정지역을 사전에 설정하고, 그 지역에 차량이나 기타의 이동물체가 검지되면 그 이동물체의 속도에 관계없이 즉시 경보를 알려줄 수 있도록 하며, 이때, 차량이 해당지역을 벗어나면 경보는 즉시 자동적으로 해제할 수 있게 된다.

5) 역 주행

역 주행은 정상주행과 영상으로는 동일하다. 다시 말하면 대부분의 차로는 상행선과 그 반대방향으로 달리게 되어 있는 하행선이 인접한 형태로 구성되어 있다. 또한 차량의 정상적인 소통을 위해서는 모든 차량은 정해진 차로방향으로 주행하게 된다.

따라서 차량의 차선별로 차량 통과 속도 검지영역을 설정하기 위해 전방검지선과 후방검지선 영역으로 구성하고 있고, 차량의 속도를 검지하기 위해 사

용되는 식 (16)을 통한 속도의 검지 결과는 항상 양 (+)의 값을 나타내게 된다. 만일 식 (16)에서 전방검지영역 검지 영상프레임번호 (n_{f_i})의 크기가 후방검지영역 검지 영상프레임번호크기보다 크다면, 검지 구간 통과시간 t_d 는 음의 값을 가지게 되어 보상속도 (v_{comp})는 음의 값을 가지게 된다. 즉,

$$v_{comp} = \begin{cases} > 0 : \text{차량 정상주행} \\ < 0 : \text{차량 역주행} \end{cases}$$

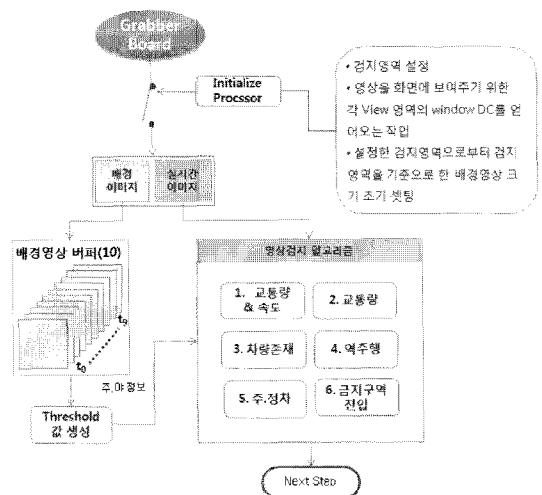
으로 판단할 수 있으며,

검지된 차량 속도의 정(+)/부(-) 부호에 따라 차량의 역주행을 감지할 수 있게 된다.

다만 차량의 평균속도를 계산할 경우에 대해서 역주행 차량의 차량속도와 차량 수는 배제하고 산출할 필요성이 발생함에 유의하여야 한다.

IV. 영상검지 알고리즘 구현

본 연구에서는 배경영상의 효과적인 갱신과 Tripwire기반의 영상검지 알고리즘에서 사용했던 검지 영역의 경계치 변화비에 의한 검지(ECD) 방식과 지역별 영상의 공간적 분포를 계산하기 위해 우선



<그림6> 영상자동검지 알고리즘 준배경영상 생성부
<Fig. 6> Vice-base image part of VDS

영상으로부터 보다 정확한 목표영상을 얻기 위해 기준배경영상의 생성이 필요하며 주기적인 배경영상갱신을 통해 주변 환경의 변화에 적응적인 시스템의 성능을 확보도록 하였다. 영상자동검지시스템의 배경영상 생성부 구성은 다음 <그림 6>과 같다.

위의 기준 배경영상 생성을 통해 보다 입력되고 있는 순차적인 영상들로부터 차영상을 확보하고, 차영상으로부터 설정된 검지구간을 통과하는지의 여부를 감지하여 개별차량의 속도 및 교통량을 산출한다 <그림 7>.

차량이 통과하는지의 여부는 전방 및 후방 검지영역의 검지선상에 발생하는 히스토그램분산도의 변화로부터 확인할 수 있다.

검지영역을 통과하는 차량의 검지에 있어서의 카메라 프레임간 양자화 시간간격으로부터 발생할 수밖에 없는 속도 감지 오차를 최소화 할 수 있는 방안을 도출하고 구현하였다.

또한 검지 구간내의 전방 및 후방 검지 영역의 검지 기법을 기반으로 하여 각 차로상의 개별차량 속도는 물론 일정 시간 구간동안 통과한 차량의 수를 계수할 수 있도록 하였고, 개별차로의 개별차량의 속도와 통과차량의 숫자로부터 도로 전체의 평균속도와 전체 통과 차량의 숫자를 동시에 계수할 수 있다. 그뿐 아니라, 영상검지방식 최대의 장점인 도로 상 어느 곳이든지 임의로 검지구역을 설정할 수 있기 때문에, 필요시 도로상에 진입금지 구역, 혹은 주차 금지구역, 등의 경보지역 설정이 가능하며, 대형사고의 주요 원인이 되고 있는 역진입 및 역주행 발생 시 이에 대응하여 즉시 경보를 발령할 수 있는 검지기능 또한 가능하다. 이와 같이 검지기능의 설정, 검지기의 규모와 설정방향, 수량 등에 대한 설정을 융통성 있게 운용할 수 있다.

1. 영상자동 검지기 프로그램 구현

1) 개별 차량의 통과속도 검지

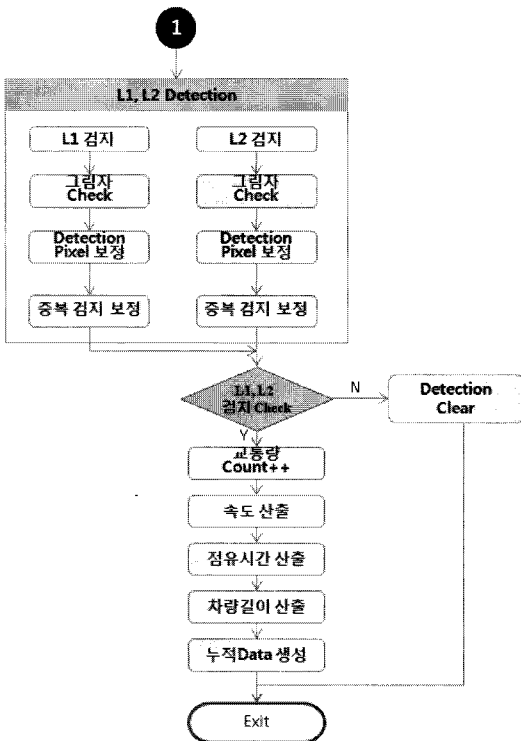
본 연구를 입증하기 위하여 초당 프레임 수 $F_c = 30[f/s]$, 화소수 42만 화소 컬러 CCD카메라를 사용하였다. 검지구간의 거리는 15m로 설정되었다.

차선별 차량의 속도검지는 각 차선에 가상적으로 전방검지영역과 후방검지영역을 사전에 설정하는 작업으로부터 시작된다.

전방검지영역 및 후방검지영역의 검지선의 두께는 영상으로 투영된 이후 영상의 처리 과정에서 그 화소정보가 훼손되지 않는 최소한의 크기 이상이 되도록 본 연구에서는 10 pixel line이상 되는 범위로 설정하였다. 또한 이러한 설정과 아울러, 2D-2D 투영변환 시에 발생할 수 있는 위치왜곡 발생 여부를 사전에 확인하고 그 오차길이는 1m 이내가 되도록 조정하였다.

차선별 개별 차량의 속도는 보통의 경우, 간략한 계산을 하기위해 전방 검지영역을 통과한 첫 번째 영상 프레임 시간으로부터 후방 검지영역을 통과한 첫 번째 프레임간의 시간 및 사전에 설정된 거리로서 통과속도가 식 (8)과 같이 결정된다.

이러한 속도 산출방법은 또는 영상프레임의 양자



<그림 7> 속도검지 및 교통량 산출 과정

<Fig. 7> Procedure for speed and count detection

화 과정에서 발생하는 변조효과로 인해 오차가 발생하기 때문에 이러한 오차를 줄이는 방안으로 본 연구에서는 차량의 통과속도 검지오차를 최소화하기 위하여 식 (16)에 제시한 바와 같이 전방검지영역 검지선 초과길이 D_{d1} 과 후방검지영역 검지선 초과길이 D_{d2} 를 가감하여 실제 검지구간 길이를 보정된 검지구간 길이로 바꾸고, 검지된 속도의 오차를 최소화한 보정속도개념을 도입하였고 이 과정을 사용하여 실제 속도에 상당한 검지속도를 산출할 수 있다.

이와 같이 오차를 줄이는 방안으로 사용되어질 보정속도는 다음과 같이 정리된다.

보상된 검지구간을 사용한 보정검지속도 알고리즘

$$D_{adj2} = D - D_{d1} + D_{d2}$$

$$v_{comp} = 3.6(D_{adj2} \times F_c) / (n_{f2} - n_{f1}) [km/h]$$

여기서, F_c 는 카메라의 고유 규격으로서 초당 프레임 수이고, D_{d1} , D_{d2} 는 전방 및 후방 검지영역 검지선 초과길이, t_d 는 검지구간 통과시간이며, D_{adj2} 는 보정된 검지구간거리이고, n_{f1} , n_{f2} 는 각각 전방검지영역 검지 영상프레임번호와 후방검지 영역 검지 영상프레임 번호이다.

실제 시험에서 추정속도 100km/h, 전방 검지영역 검지선초과길이가 30cm, 후방검지영역 검지선 초과길이가 20cm로 나타난 영상간의 프레임 수는 15프레임이었다. 영상검지 구간 거리가 15m일 때, 오차가 보상되기 전의 산출된 속도는

$$v_{org} = \frac{30[f/s] \times 3.6 \times 15[m]}{16[f]} = 101.25 [km/h]$$

이고 보정알고리즘을 사용한 경우의 보정된 속도는

$$v_{comp} = \frac{30[f/s] \times 3.6 \times (15 - 0.3 + 0.2)[m]}{16[f]} = 100.58 [km/h]$$

로 산출되었다.

2) 지정 차량의 교통량

지정 차량의 교통량은 지정차로를 통과하는 자동차의 속도검지 과정 중에 통과하는 개별차량의 숫자를 누적하여 지정된 시간구간 내에 해당 검지구간을 통과한 자동차의 누적 수량이 산출한다. 또한 지정차로의 교통량, 즉 지정된 시간구간 동안 차량 검지구간을 통과한 통과 차량의 각각의 통과 속도의 총 합을 산출하고, 검지구간을 통과한 차량의 누적수량의 비로서 지정 차량의 평균속도를 산출하였다 (식 21).

3) 교통량 정보의 산출

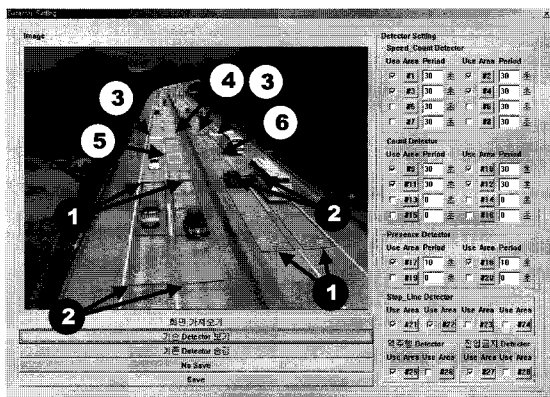
개별 차량의 속도 자동검지로부터, 지정된 시간구간 동안 검지구간을 통과한 차량의 누적수량, 이를 통한 차로별 평균속도까지는 특별한 추가적인 영상의 처리 없이 가능하게 된다. 또한 영상정보의 장점인 다중 검지가 가능하기 때문에 복수 차로에 각각 검지구간을 설정하고, 전방 및 후방 검지영역을 설정해 줌으로써, 복수 차로 각각에 대한 교통량 정보를 산출하고, 각 차로별 교통량과 평균속도를 총합적으로 계산하여 도로의 평균속도와 통행량을 산출하였다 (식 22).

2. 현장 시험

본 연구의 타당성을 검증하기 위한 실제 시험 현장은 중앙고속도로 원주에서 제천 방향이며 촬영거리 350m 구간에 걸쳐 있는 지역에서 실시하였다.

다음 <그림 8>은 교통정보를 산출하기 위해 실제 현장의 동영상을 직접 입력받고 현장의 화면위에 필요한 교통정보 산출 구간을 설정해 놓은 실 예를 보이고 있는 사진이다.

각 차로별 자동검지구간을 설정하고, 각 검지구간별 전방검지영역과 후방검지영역을 설정하여 차량의 통과를 검지하는 차량의 유, 무를 검지를 비롯해서 (<그림 8>의 ⑥), 차량의 계수기(<그림 8>의 ②), 차량 속도 자동검지영역(<그림 8>의 ①), 그리고 차량 검지구간을 임의의 장소에 가상적으로 설치하게 되면 해당 영역을 기준으로 진입검지구역(<그림 8>의 ④), 주정차금지구역(<그림 8>의 ③) 및 차량의 역주행 검지구역(<그림 8>의 ⑤)를 검지할 수 있으며, 본 연구의



<그림 8> 교통정보 산출을 위한 자동검지영역설정 화면
 <Fig. 8> Detection area setting for traffic information

확인 시험에서는 역주행에 대해 임의로 설정하는 것이 현실적으로 곤란했기 때문에, 정상주로 1개 주로 역주행 감시를 위한 역주행 자동검지구역을 설정하였다. 이때 역주행 자동검지구역의 전방검지영역과 후방검지영역은 정상주로의 반대의 순서로 배치되었으며, 검지구간은 정상도로의 검지구간과는 달리 3m ~ 5m로 설정되었다. 이 차로를 정상적으로 진입하는 차량은 모두 역주행으로 인식하게 되는데, 그 이유는 검지된 차량의 속도가 음의 값(-)을 가지도록 알고리즘이 설계되어 있기 때문이다.식 (8), 식 (16).

3. 시험결과

본 연구에서 제시하고 있는 영상 자동검지에 대한 현장의 동영상을 기준으로 기존 제품으로 출시된 A제품과 데이터를 추출하여 비교하였다.

그 시험결과 데이터는 다음의 <표 3> 과 같다.

본 연구의 결과를 기존제품과 비교했을 때, 본 연구과제의 결과가 정확하게 얼마나 개선되었다고 단정하기는 어렵지만 통계분석 방법을 이용하여 살펴보기로 한다. 우선 속도의 평균값은 큰 의미는 없으나 전체 데이터를 비교하는 방식으로서 의미를 두면, 평균값은 전반적으로 하락하여 실제 데이터 안에 실측(失測)자료였던 부분에서 약간의 개선이 있었다. 전반적으로는 고속으로 이동하고 있는 자동차에 대한 자동검지 값의 오차로 인한 실측이라고 판

<표 3> 영상검지 시스템 1차 시험 결과
 <Table 3> The 1st test results of the developed VDS

시간	Developed Method		A제품	
	교통량 (Count)	속도 (Km/h)	교통량 (Count)	속도 (Km/h)
9:31:25	1	92	1	96
9:31:35	2	116	2	111
9:31:42	3	108	3	103
9:31:43	4	104	4	107
9:31:45	5	101	5	107
9:31:49	6	114	6	123
9:31:52	7	117	7	114
9:31:52	8	116	8	115
9:32:09	9	113	9	112
9:32:22	10	111	10	120
...				
9:55:13	277	120	272	128
9:55:23	278	107	273	110
9:55:24	279	104	274	105
9:55:26	280	91	275	92
9:55:29	281	104	276	101
9:55:46	282	118	277	117
9:56:10	283	91	278	93
9:56:14	284	112	279	116
9:56:18	285	111	280	112
9:56:20	286	119	281	119
avr		113.4126		112.605
stddev		13.12548		12.26656
VAR		172.2783		150.4684

단이 되며, 그러한 결과는 이미 앞의 <표 1>, <표 2>에 제시된 바와 같이 고속의 이동물체를 중·저속의 카메라 셔터로 샘플링하여 발생하는 불가피한 양자화 오차에서 기인하는 것으로 판단된다. 특히 고속주행에서 커다란 오차의 범위를 보이는 것은 어떻게 보면 당연한 일이라고 생각할 수 있다.

전반적인 데이터를 분석해 보았을 때, 전체적인 평균값은 안정화된 것으로 확인되었고, 표준편차는 13.13으로 기준 시험장치인 A제품의 12.27보다는 떨어지는 값이 나타났다. 또한 이산도의 경우 본 방법으로 172.28의 결과를 얻었으나 아직은 분산도가 높은 편이라고 보아야 할 것이다.

그러나 상품으로 판매되고 있는 A제품으로 영상 자동검지를 실시하여 얻은 통행량 자동검지의 결과를 보았을 때, 총 285개의 샘플 데이터를 투입하여 281개의 샘플만이 통과된 차량으로 인식되었고, 본 과제의 실험결과에서는 285개의 샘플을 투입하여 286개의 샘플이 통과된 차량으로 인식되어, 1개의 샘플이 중복 인식된 결과를 보였다. A제품의 경우 검지 누락이 4 샘플이라는 미 검지량에 비하면, 오히려 본 연구의 결과가 나은 결과를 보이고 있다.

기타 교통정보의 자동검지에서는 위의 시험데이터에서 유추할 수 있듯이 검지 대상의 유무 판단과 검지 영역으로의 진입에 대한 사항은 99.65%까지 완벽하게 검지해 내고 있으나 약간의 주변 환경의 문제로 인해 오검지하는 사례가 드물게 발생하고 있다는 것을 알 수 있다.

위 시험의 결과를 평가하고 정확도에 영향을 미치는 요인을 분석하여 알고리즘의 실행방법을 보완, 2008년 7월 17일 경기도 이천 곤지암 JC 부근에 위치한 건설기술연구원 시험소에서 2차 인증 예비시험을 실시하였다. 시험 방법은 영상검지 알고리즘에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 환경적 조건을 고려하여 일조량이 강한 주간 시간대, 일몰 시간대, 야간 시간대, 일출 시간대의 4개 시간대로 구분하고, 각 시간대별 30분씩 시험을 실시하였다. 시험대상 차로는 상행2개 차선과 하행 2개차선, 총 4개 차선이었고 1개의 카메라를 이용하여 시험하였다. 시험 결과 요약 데이터는 다음의 <표 4>와 같다.

2차 시험은 고속도로가 아닌 일반 도로에서 각종 차량(오토바이 포함)을 대상으로 실시되었고 일조량에 의한 그림자, 야간의 전조등, 자동차후미 신호등, 주변 환경으로부터의 조명, 일출 및 일몰시의 태양광의 난반사 등의 악조건이 시험조건에 포함되었다. 1차 시험과는 달리 교통량 오차가 증가하였고 태양광의 조사각도에 따른 그림자 길이에 따라 여러 가지 형태의 오차가 발생하였다. 특히 차로를 진행하는 대형 차량의 그림자 영향으로 인접차선에 존재하지 않은 차량을 오검지하는 경우와 카메라 사각의 영향으로 인한 중첩된 차량의 미 검지가 발생하였다.(태양광이 존재할 경우 상행1,2차선과 하행1차선

<표 4> 영상검지 시스템 2차 시험 결과
<Table 4> 2nd test results of the developed VDS

검사차로	교통량	교통량 오차	교통량 오차평균%	속도 평균	속도오차 평균(%)	점유율
주간 : 15:10:00 - 15:40:00						
상행2	318	-4	1.99	64.32	5.60	5.53
상행1	402	-5	0.78	67.26	3.86	5.14
하행1	451	-4	1.39	64.39	1.19	5.06
하행2	325	17	5.64	60.17	2.87	9.47
			2.45		3.38	6.30
일몰 : 19:35:00 - 20:05:00						
상행2	265	-5	2.94	61.69	3.07	7.79
상행1	353	-7	2.71	63.67	1.75	14.00
하행1	353	-5	1.61	63.75	3.64	7.50
하행2	264	12	7.11	62.02	4.46	12.20
			3.59		3.23	10.37
야간 : 21:10:00 - 21:40:00						
상행2	265	9	4.81	60.25	7.44	14.50
상행1	344	6	7.26	60.98	4.76	17.22
하행1	251	-11	5.63	69.63	3.64	6.58
하행2	178	-11	11.00	69.52	3.99	15.25
			7.18		4.96	13.39
일출 : 05:05:00 - 05:35:00						
상행2	71	-2	2.08	68.28	7.80	10.60
상행1	55	0	0.00	74.75	4.85	8.60
하행1	82	-2	2.22	74.62	2.96	8.39
하행2	99	10	13.83	69.60	5.42	16.24
			4.53		5.26	10.96
			전체오차평균(%)	4.44	4.21	10.25
			시험결과 정확도(%)	95.56	95.79	89.75

의 미검지가 많이 발생하고 하행2차선에 오검지가 많이 발생하고 있으며 야간의 경우는 그 반대현상을 보이고 있다). 전조등과 신호등의 영향으로 정확한 검지에 영향을 미치는 결과도 발생하였다. 또한 기준시험장치에서는 검지대상이 아닌 오토바이, 경운기등의 인식으로 인한 오검지도 다수 발생하였다.

시험된 결과 통계분석 결과 각 시간대별 교통량 오차평균은 태양광의 조사시에는 2.45%~4.44%, 야간에는 7.18%의 오차를 나타내고 있으며, 차량의 평균속도 오차는 3.23%~4.96%를 보이고 있으며, 점유율은 야간 13.4%, 일출일몰시 10%~11%, 주간 6.3%

의 결과를 보이고 있다.

4가지 시간대에 대한 전체적인 검지 정확도는 교통량 검지 정확도 95.5%, 평균속도 검지 정확도 95.8%, 점유율 검지 89.7%로 매우 양호한 검지 정확도를 얻을 수 있었다.

그러나 위에서 분석한 내용과 같이 다양한 교통 환경에 정확히 대응할 수 있는 성능을 가지기 위해서는 길게 늘어지는 길은 그림자의 이동, 카메라 사각의 영향으로 인한 인접차량의 오 검지와 미 검지, 야간 전조등의 난반사에 의한 영향 등에 대해서는 개선의 여지가 있음을 보이고 있다.

또한 차량으로 간주하지 않는 이동물체에 관한 현재의 평가 기준이 검지율에 영향을 미치는 부분도 검토해 보아야할 사항으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 교통량, 차량의 이동여부에 따른 속도, 방향 이외에 주정차 감시경보, 역주행, 금지영역진입등 기본적인 교통정보를 실시간 영상분석을 통한 실시간 측정 및 검지방식을 조사하고, 보다 정확하고 환경적응적인 영상을 이용한 차량검지 알고리즘을 제시하고자 하였다. 또한 본 연구에서 제시된 차량검지 알고리즘을 이미 상용화 된 영상검지 시스템(A제품)과의 성능을 비교하여 이들의 개선점을 도출하고 이를 통해 비교우위의 정확한 검지 성능을 가지는 영상검지 알고리즘을 개발하였다.

또한 연구 결과에 대한 실제 도로환경에서의 시험 결과는 비교적 안정된 결과를 산출하고 있지만 아직도 산출데이터의 균일도 측면에서는 부족함이 있다고 평가된다. 따라서 향후 연구에서는 다음과 같은 측면의 보완이 필요할 것이다.

첫째, 본 연구과제의 결과를 분석한 결과는 기성 제품(A제품)과의 비교 시에도 크게 떨어지지 않는 데이터를 보이고 있으나, 기성 제품인 A제품의 경우 4개 샘플의 검지누락이 발생한 반면 본 연구와 선행 연구 모두 1개 샘플의 중복 검지가 발생하였다. 실제 현장에서 중복검지와 검지누락을 놓고 선택해야 한다면 과연 어떤 검지기준이 최선의 선택인가에 대해

깊이 고려해야 할 사항이며, 근본적으로 중복 검지된 원인인 검지의 예민성에 대한 보편적 검지 평가 기준이 연구되어야 할 것이다.

둘째, 본 연구 중간에 알고리즘의 효용성에 대해 시험진행 중에 제외한 검지영역내의 다중검지선을 이용한 검지 방식을 확장 연구하여 영상의 공간적 분포를 분석한 속도 보정방식의 처리속도 지연에 대한 문제를 완화시켜야 한다. 또한 향후 교통정보로 활용될 차량의 종류를 인식함에 있어 야간 조명하에서 차량의 후미신호등을 이용하기 위한 다중검지선 검지방식에 대해 심도 있는 연구가 필요하다.

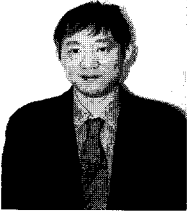
셋째, 교통정보시스템으로서 산출해야 할 정보들을 산출하고 그 산출된 정보를 정밀하게 평가할 수 있는 시험환경이 구축되어야 함에도 현실적으로 시험위주로 도로를 운용할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 기존 도로상에서 교통정보 검지 영역을 정해 놓고 검지하는 방안에 대해서도 평가방법에 상대평가 방법을 도입하여 지속적으로 평가의 질의 향상을 모색해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] F. Lemaire, M. Coussment, "Report of DEVLONICS video based traffic detector system," *ASCE (TE) Applications of Advanced Technologies*, pp. 101-105, 1991.
- [2] M. Higashikubo, T. Hinenoya, and K. Takeuchi, "Traffic queue length measurement using an image processing sensor," *Proc. Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems*, vol. 43, pp. 64-68, Oct.1996.
- [3] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi, and M. Skauchi, "Occlusion robust vehicle tracking spatio-temporal Markov random field model," *Proc. 7th World Congress on Intelligent Transport Systems*, vol. 1, pp. 140-144, Nov. 2000.
- [4] 이건호, 유성준, 무인교통단속장비와 교통사고 자동기록장치 기능통합 및 효율적 운영방안 연구(II), 도로교통안전관리공단 교통공학연구실기본

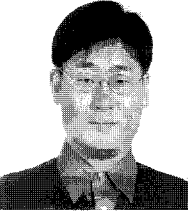
- 과제 중간심의회자료, 도로교통안전관리공단, 2007.
- [5] C. Pellerin, "Machine vision for smart highways," *Sensor Review*, vol. 12, no. 1, pp. 22-27, Jan. 1992.
- [6] R. M. Inigo, "Application of machine vision to traffic monitoring and control," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 38, no. 3, pp. 112-122, Aug. 1989.
- [7] R. M. Inigo, "Traffic monitoring and control using machine vision; A survey," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 177-185, Aug. 1985.
- [8] M. A. Ismail and M. S. Kamel, "Multidimensional data clustering utilizing hybrid search strategies," *Pattern Recognition*, vol. 22, no.1, pp. 75-89, Jan. 1989.
- [9] T. D. Sanger, "Optimal unsupervised learning in a single_layer linear feedforward neural network," *Neural Networks*, vol. 2, pp. 459-473, Apr. 1989.
- [10] N. Papanikolopoulos, P. K. Khosla, and T. Kanade, "Visual tracking of a moving target by a camera mounted on a robot; a combination of control and vision," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 14-35, Feb. 1993.
- [11] T. Zielke, M. Brauckmann, and W. V. Seelen, "CARTRACK:computer vision-based car-following," *Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp.156-163, Nov. 1992.
- [12] N. Friedman and S. Russel, "Image segmentation in video sequences," *Proc. Thirteenth Conf. Uncertainty in Artificial Intelligence*, pp. 45-65, Aug. 1997.
- [13] 박창수, 도시교통운영론, 출판사, 2003.
- [14] 한국건설기술연구원, 수도권 RTMS를 위한 검지 기술, 1997.
- [15] 장진환, 박창수, 백남철, 이미영, "차량 속도별 영상검지기 정확도 추정," *대한교통학회지*, 제 23권, 제5호, pp. 105-170, 2005. 8.
- [16] 오주택, 민준영, 김승우, 허병도, 김명섭, "Tripwire 및 Tracking 기반의 영상검지 시스템개발," *대한교통학회지*, 제26권, 제2호, pp. 177-186, 2008. 04.

저자소개



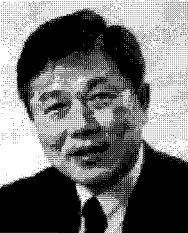
박 준 석 (Park, Jun-Seok)

1988년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
1994년 5월 : University of Michigan 도시계획학 석사
2008년 현재 : 한양대학교 도시공학과 박사과정
1998년 8월 ~ 현재 : 한국교통연구원 책임연구원



오 주 택 (Oh, Ju-Taek)

1995년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
1998년 8월 : Rutgers, The State University of New Jersey 도시 및 지역계획 석사
2002년 12월 : Georgia Institute of Technology 교통공학 박사
2003년 5월 : University of Arizona Post. doc
2003년 5월 ~ 현재 : 한국교통연구원 책임연구원



노 정 현 (Rho, Jeong-Hyun)

1976년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
1984년 2월 : 고려대학교 산업공학과 석사
1988년 : University of Illinois at Urbana-Champaign 도시 및 지역계획학 박사
1998년 ~ 현재 : 한양대학교 도시대학원 교수