

■ 論 文 ■

GMM(Gaussian Mixture Model)을 적용한 영상처리기법의 연속류도로 사고 자동검지 알고리즘 개발

Development of the Algorithm for Gaussian Mixture Models based Traffic Accident Auto-Detection in Freeway

오 주 택
(한국교통연구원 연구위원)

임 재 극
(서돌전자통신 이사)

여 태 동
(한국교통연구원 연구위원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경
 - 2. 연구방법 및 절차
 - II. 선행연구 분석
 - III. 영상검지기를 이용한 사고 자동검지 알고리즘 개발
 - 1. 사고 예비검지 모듈
 - 2. 사고검지 영상처리 모듈
 - IV. 사고검지 알고리즘 검증
 - 1. 검증방법
 - 2. 검증결과
 - V. 결론
 - 1. 연구결과
 - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 연속류 도로 사고검지, 영상검지, 오인식 예외처리, ECD, 가우시안 복합모형 Incident Detection, Vehicle Detection, Background imaged, ECD, Gaussian Mixture Model

요 약

영상기반의 교통정보수집시스템은 관리 및 운영상의 한계를 보이고 있는 기존의 루프검지기의 역할을 대체하는 검지기로서의 역할 뿐만 아니라 다양한 교통류의 정보를 제공하고 관리할 수 있으며, 교통사고의 발생 전과 후의 순차적인 상황을 정확히 기록하고, 이 자료를 통해 발생된 교통사고의 사고 메커니즘을 객관적이고 명확하게 조망하고 분석하는 것은 교통사고 처리에 있어서 중요한 부분을 차지함으로써, 여러 나라에서 보급·활용되고 있다. 본 논문에서는, 기존 기술들이 연속류 도로의 특성인 속도변화, 교통량 변화, 점유율 변화와 같은 교통류 흐름을 반영하여 1차 예비판단을 실시하였다. 또한, 1차 예비판단된 경우 영상추출 및 처리를 통해 최종 사고판단을 실시하게 된다. 이 때, 도로상의 다양한 환경적 변화로 인해 극복하기 어려운 차량의 객체추출, 객체분리, 추적 등의 정확성을 확보하기 위해서 계산속도와 정확도 측면에서 우수함을 보이고 있는 Adaptive GMM(Gaussian Mixture Model) 기반으로 실시하였으며, 환경적인 요인으로 인해 자주 발생하고 있는 오 검지 상황을 효과적으로 저감시킬 수 있는 능동적이고 환경적응적인 기법을 통해 사고 최종판단을 실시하였다. 이렇게 구현된 기술의 성능을 평가하고자 중부내륙 실험도로에서 12건의 사고 모의실험을 실시하였으며, 실제 운용되고 있는 장항IC에서의 사고영상을 실시간 온라인으로 입력받아 시험하였다. 결과적으로, 검지율 93.33%, 오검지 6.7%로 높은 신뢰성을 보였다.

Image-based traffic information collection systems have entered widespread adoption and use in many countries since these systems are not only capable of replacing existing loop-based detectors which have limitations in management and administration, but are also capable of providing and managing a wide variety of traffic related information. In addition, these systems are expanding rapidly in terms of purpose and scope of use. Currently, the utilization of image processing technology in the field of traffic accident management is limited to installing surveillance cameras on locations where traffic accidents are expected to occur and digitalizing of recorded data. Accurately recording the sequence of situations around a traffic accident in a freeway and then objectively and clearly analyzing how such accident occurred is more urgent and important than anything else in resolving a traffic accident. Therefore, in this research, existing technologies, this freeway attribute, velocity changes, volume changes, occupancy changes reflect judge the primary. Furthermore, We pointed out by many past researches while presenting and implementing an active and environmentally adaptive methodology capable of effectively reducing false detection situations which frequently occur even with the Gaussian Mixture model analytical method which has been considered the best among well-known environmental obstacle reduction methods. Therefore, in this way, the accident was the final decision. Also, environmental factors occur frequently, and with the index finger situations, effectively reducing that can actively and environmentally adaptive techniques through accident final judgment. This implementation of the evaluate performance of the experiment road of 12 incidents in simulated and the jang-hang IC's real-time accident experiment. As a result, the do well detection 93.33%, false alarm 6.7% as showed high reliability.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심C01)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

I. 서론

1. 연구의 배경

국내외에서는 현재 차량이용의 증가로 인하여 교통 혼잡, 교통사고 및 대기오염 등과 같은 교통문제가 날로 심각해지고 있으며, 특히 교통 혼잡은 도로의 용량부족, 과포화 교통량, 도로위에서의 공사, 사고, 차량의 고장 등 다양한 원인으로 발생한다.¹⁾

이러한 교통 혼잡상황 중, 교통사고는 비정상적인 교통상황을 형성하여 일시적인 병목현상을 발생시킴으로 교통용량 감소, 대기행렬의 증가로 인한 정체현상을 유발하게 되므로 교통사고발생에 따른 교통 혼잡 문제를 완화시키기 위하여 신속한 검지의 필요성이 대두되었다.

하지만 기 구축되어있는 사고검지시스템은 루프검지기, 적외선 검지기와 같은 지점 검지기 등이 많이 사용되었으며, 최근에 들어서 영상검지기술을 활용한 영상검지기(VDS)의 사용이 크게 증가하고 있다. 이러한 검지를 통해 수집된 교통정보 즉, 속도, 교통량, 점유율과 같은 교통류 흐름을 이용한 것이므로 높은 오보율과 낮은 검지율로 인하여 현실적 적용에 많은 어려움이 있다. 또한, 현재 사고 상황의 판단은 교통정체 상황을 파악한 후 CCTV로 상황을 파악하는 정도에 머무르고 있으며, 수집된 교통정보만을 사용하므로, 사고 발생 및 해지정보만을 제공하여 발생 전과 후의 순차적인 상황을 기록할 수 없어 발생한 교통사고의 메커니즘을 객관적이고 명확하게 분석이 불가능하다.

따라서 램프 진출입로의 교통사고가 많다는 것과 사고검지 뿐만 아니라 사고 분석까지 가능토록 하기 위해 영상기반의 사고검지 알고리즘 개발이 필요한 실정이다. 이러한, 영상기반의 사고검지 알고리즘은 기존의 루프검지기의 역할을 대체하는 검지기로써의 역할뿐만 아니라 다양한 교통류의 정보 및 램프 진출입로의 사고정보까지 다양한 정보의 수집이 가능하며, 교통류 흐름을 통한 교통사고 검지기에 비해 오검지율이 매우 낮아 시스템 신뢰성이 높아 관리 및 운영상에도 장점이 있다.

이에, 본 연구는 교통사고 발생 시 사고발생의 자동 인식과 사고발생 상황의 교통정보를 산출할 수 있는 기술을 개발하고, 취득된 사고 당시의 영상을 자동으로 기록하여, 교통사고 조사에 필요한 정확한 증거영상과 과

학적인 판단 자료를 확보할 수 있도록 하였다. 또한 하류부 도로를 운행 중인 운전자에게 보다 정확한 사고정보를 제공하여 운전자가 우회도로를 판단할 수 있어 도로의 효율성을 극대화 시키는 것과, 사고영상의 자동기록으로 인해 사고조사에서 가장 필요한 증거영상을 확보 기록함으로써 효과적이고 과학적인 교통사고의 조사 분석을 위한 기술적 토양을 제시함을 그 목적으로 한다.

2. 연구 방법 및 절차

본 연구는 연속류 도로의 사고를 검지하기 위해 교통류를 이용한 방법과 영상처리를 이용한 방법을 함께 사용하였다. 이는, 복잡한 교통 환경에 따른 다양성과 변화로 인해 오 검지되는 현상을 낮추기 위해서이다. 본 연구를 위해 자유로 장항 IC 부근에 Test Bed를 구축하여 실시간 교통상황을 감시할 수 있는 시스템을 설치하여 실시간으로 감시되는 도로 상황 하에서의 교통정보 수집 기능을 구현하였다.

실제 장항 IC에 설치된 감시 카메라를 통해 시험 기간 동안 수집된 영상에서 사고 상황 샘플은 충분할 만큼 발생하지 않았기 때문에 사고검지를 위한 알고리즘의 수행 및 평가는 12가지의 사고 시나리오를 설정하여 해당 시나리오별 모의사고를 발생시킨 비디오 영상을 통해 실시되었다. 모의사고 발생을 위해 여주 IC 부근의 2차선 폐 국도 상에서 다수의 차량을 이용하여 실제 사고 상황과 유사한 상황을 만들었다.

연속류 도로에서의 사고 검지율의 검지 성능을 평가하기 위해 기존의 연구를 조사한 결과 연속류 도로에서의 지점별 사고 검지기술로서 비교할 대상을 찾지 못하여, 기존의 교차로 사고 자동기록장치 기술의 검지 기술 표준으로 사용하고 있는 검지 척도를 평가 기준으로 하여 비교하였다.

본 연구의 사고검지는 다음과 같은 절차에 따라 진행되었다. 우선 수집된 교통정보를 통해 속도, 교통량 점유율의 시간 주기 t 에 따른 변화 값을 통해 기준차선에 비교하여 임계값 이상의 차이가 발생하면 이상 징후가 있는 것으로 판단하게 된다.

이렇게, 교통류를 이용하여 사고 검지 1차 판단을 시행하여 사고 징후가 발생하게 되면, 2차 본 검지를 실시하게 된다. 2차 본 검지는 검지기를 통해 수집되는 영상

1) 김성호, 인공신경망을 이용한 유고검지 모형에 관한 연구, 공학기술 논문집, Vol.8, No.1, 1999.8

을 차량과 배경영상으로 분리하여, 혼잡을 분석, 사고 판단필터, 사고 예외처리를 거쳐 최종 사고 판단의 과정을 통해 사고를 검지하게 된다. 또한 교통류의 분석과는 독립적으로 감시지역 내에서 발생하는 돌발적인 사고에 대해서 상시 검지기능이 활성화 되어 있으며 통상 30초 정도의 시간 내에 사고를 검지할 수 있도록 영상처리를 위한 파라미터를 설정하였다.

이 때, 기존의 영상처리기술이 환경적 다양성으로 인해 극복하기 어려웠던 객체분리 등의 문제를 기존의 제거 방식 중 가장 우수한 방식으로 평가 받고 있는 가우시안 복합모델(GMM:Gaussian Mixture Model) 분석 기법에서조차 자주 발생하는 오 검지 상황들에 대해 효과적인 예외처리 방법을 제시하였으며, 여러 번의 사고 판단필터를 통해 검지율은 높이며, 오검지율을 낮출 수 있도록 하였다.

따라서, 본 연구는 기존의 교통류 흐름과 영상처리를 독립적으로 사용했던바와 달리 각각의 2가지 검지모듈을 함께 활용함으로써 처리시간을 단축시킬 수 있으며, 오검지율을 낮출 수 있는 획기적인 방법이라 할 수 있다.

II. 선행연구 분석

현재까지 교통사고 자동 검지 기술은 최근 다양한 방법으로 연구되고 있다. 그 기술들의 배경은 교통사고 발생 시 수반되는 교통 혼잡도의 증가, 대기행렬의 증가, 소통속도의 저하 등의 영상 판별이 가능한 영상검지방식과 사고 순간에 발생하는 충돌 및 충격음을 검지하는 음향검지 방식 등이 있으며, 현재까지는 대표적으로 루프 검지기 혹은 VDS(Vehicle Detection System)을 통해 수집된 지점 데이터로 교통 혼잡도 및 대기행렬 증가, 속도 저하 등을 계산하여 교통흐름을 파악하는 방식이 주로 사용되었다. 이러한 방식으로 국내에서는 분류 시스템을 이용한 유고검지 모형 개발 (최기주, 구정욱, 오승훈, 대한토목학회지, 제21권, 제2-D권, 2001. 3)은 이진 문자열로 부호화된 규칙들의 개체집단이 환경으로부터 주어지는 자극을 기초로 하여 진화하는 기계학습 분야중의 하나인 분류 시스템을 이용하여 유고모형을 개발하였으며, 도시고속도로 비 혼잡상황에서의 자동 돌발 상황 감지 알고리즘 개발 (김영찬, 대한토목학회지D, 제24권 제2호, 2004. 3)에서는 유고상황을 검지하기 위하여 두 개의 판단 변수를 이용하는 퍼지모형과 모형에 사

용되는 매개변수를 자동으로 정산할 수 있는 유전자알고리즘이 결합된 hybrid genetic-fuzzy algorithm을 개발하였다.

Improved Freeway Incident Detection Using Neural Network Based on Pulse Data of the Loop Detector (Weiming Liu 외 2인, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control, 2004)는 루프검지기의 펄스 데이터를 이용한 뉴럴 네트워크의 개선된 고속도로 유고검지에 관한 연구를 통해 향상된 고속도로의 자동 유고검지 알고리즘을 제시하였다.

또한, Hybrid Fuzzy Logic-Genetic Algorithm Technique for Automated Detection of Traffic Incidents on Freeways (Ruey Long Cheu 외 1인, 2001 IEEE Intelligent Transportation System Conference Proceedings, 2001)에서는 고속도로에서의 유고에 대해 즉각적으로 자동 검지하는 융합 인공지능 접근 방식을 이용하여 유고상황을 검지하는 것을 목적으로 하였다. 특히 퍼지 로직과 유전자 알고리즘의 복합 융합 방식이 자동적으로 교통망에서의 유고를 감지하는데 적용되었다.

이러한 방식은 검지기 사이의 거리가 멀어지게 되면 (통상 500m) 검지 효율성이 급격히 떨어지게 되며, 교통량이 매우 적은 경우 사고 검지율이 낮아지며 교통량이 매우 많은 경우에는 사고검지가 아닌 지체 혹은 정체로 판단되는 경우가 많이 발생된다. 또한 사고 검지가 가능하더라도 사고에 대한 원인 규명 및 실시간 상황파악이 되지 않는 단점이 있다.

상향 처리 방식을 기반으로 개발한 중국 청화대학 VISTRAM 시스템은 도로의 차선과 수직방향과 수평방향의 일정 부분에 해당하는 동영상 프레임의 한 부분의 프로파일을 모아 영상의 형태로 재구성하고, 재구성된 영상에서 차량유무, 차종, 차량속도 등의 정보를 추출한다. 이 방법은 조명의 변화, 일부의 가려짐 등에 대해 안정된 데이터 산출이 가능하지만 사고차량이나 개별 차량의 추적을 통해 다양한 정보를 추출하기에는 부적합한 방법인 것으로 알려져 있다.

Shunsuke Kamijo는 영상처리를 통해 사고 검지를 실시하였으며, hidden Markov model(HMM) 모델을 기초로 Markov random field(MRF) 알고리즘을 활용하여 교차로 차량의 트래킹을 통해 사고검지를 실시하

<표 1> 기존의 영상검지기를 이용한 돌발검지 알고리즘의 한계점

기존 사고 검지기술	사고검지 알고리즘 처리 목적(연속류 도로)
사고검지 알고리즘	- McMaster 혹은 APID 등 교통정보를 이용한 돌발검지 알고리즘 사용
영상검지기 목적	- 지점검지기로서 사용. 기존의 Loop 검지기의 대체기능 (일부 영상처리를 통해 개별차량 트래킹 기술을 사용하는 경우도 있음.)
영상검지기의 활용도	- 차로로 통행량, 속도, 점유율 등 특정지점의 교통정보량을 산출 - 특정 지역에 대한 실시간 감시 기능
기존사고 검지기술의 한계점	- 실시간 사고검지 기능보다는 Loop 검지기를 대체하는 지점검지기로서 사용됨. 또한 지점검지기 설치 간격이 통상적으로 500m 이상으로서 해당구간내의 상황은 알 수 없음 - APID 혹은 McMaster와 같은 사고검지 알고리즘의 특성상 사고 혹은 돌발 상황 발생 후 약 5분 이상 경과 후 사고 및 돌발 상황이 검지되는 한계점이 있음. - 개별 지점에 대해 독립적인 사고검지기로서 사용되지 못함. - 차량의 독립 사고는 검지할 수 없음. - 차량소통에 무리가 없는 교통량이 적은 경우에는 효과 없음.

였으며, 차량 검지율은 93~96%로 나타났다. 하지만 이는 차량 추출을 통한 사고검지의 정확성에 대한 추정 값이며 검증은 하지 않은 상태이다.

그리고 비디오 사고감지 시스템으로 Traficon, Auto-scope가 상용화 되어 있는데, 이들 제품들의 대부분의 방법이 지점감지로 정지차량 감지, 노면 등 비정상적 도로주행 감지로 기존의 영상검지기 기능 중심에서 제한적으로 돌발, 사고감지를 하는 기능으로 소개 되고 있다. 하지만, Autoscope 등이 사용하고 있는 일반 동영상 프레임을 이용하는 방법은 다양한 정보를 산출할 수 있다는 이점이 있으나 가려짐, 그림자, 조명변화 등의 문제를 해결해야 안정된 정보를 추출할 수 있다. 이 방법 역시 배경영상을 획득하는 방법, 배경영상과 현재의 영상을 비교하여 차영상을 생성하고 이를 이진화하여 차량객체의 유무를 알아내는 전처리과정, 개별차량의 추적 방식에 따라 여러 가지 변용이 있다.

<표 1>은 기존의 영상검지기술을 사용하는 연속류 도로돌발 검지 기술의 한계점을 보여주고 있다.

기존의 영상검지기술을 이용하는 돌발검지 알고리즘의 모델은 기본적으로 교통류의 통계적 모델을 기반으로 하고 있기 때문에 많은 시험데이터와 도로 특성에 따른 여러 가지 임계값 설정에 많은 데이터베이스를 필요로 함에도 불구하고 사고 및 돌발 발생 시에 즉각적인 사고 검지를 할 수 없는 문제점들을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 돌발검지 알고리즘이 안고 있는 한계점을 극복하기 위해 즉각적이고 직관적인 사고검지 기술과 함께 사고 발생 전, 후 5분 정도의 상황을 저장장치에 저장할 수 있는 사고 자동검지 알고리즘을 개발하였다. 또한 영상검지기가 가지고 있는 조명의 변화, 전조등에

의한 장애, 도로 주변 환경의 그림자, 우천 시 도로상의 난반사광 등의 장애요소를 극복하기 위한 예외처리 방법을 개발하였다.

III. 영상검지기를 이용한 사고 자동검지 알고리즘 개발

본 연구에서는 자유로 장항 IC 부근에 Test Bed를 구축하여 연속류 도로에서 발생하는 사고검지 알고리즘을 개발하고 시험하였다. 사고검지를 위해 설정된 감시 영역은 카메라가 설치된 지주로부터 반경 60m ~ 80m 까지로 설정하였으며, 해당 영역 내에 교통정보를 추출하기 위한 영상검지 영역을 포함하도록 설정되었다. 본 연구에서는 기존의 영상처리 기법을 사용한 교차로 사고 검지 알고리즘과 같이 GMM 기법을 활용하여 배경영상을 생성하고 실시간 입력 동영상과 배경영상에서 차량영상을 구하여 객체를 추출하는 방법을 사용하고 있다. 다만 교차로에서의 사고검지 방법은 신호주기 따라 사고 판단을 하지만 연속류 도로에서는 사고검지를 위한 주기시간도 없고, 교차로와 같이 제한된 영역이 좁지 않을 뿐 아니라 대개의 경우 교차로와는 달리 조명조건도 상이하기 때문에 이러한 방법을 사용하기 적합하지 않은 환경이다.

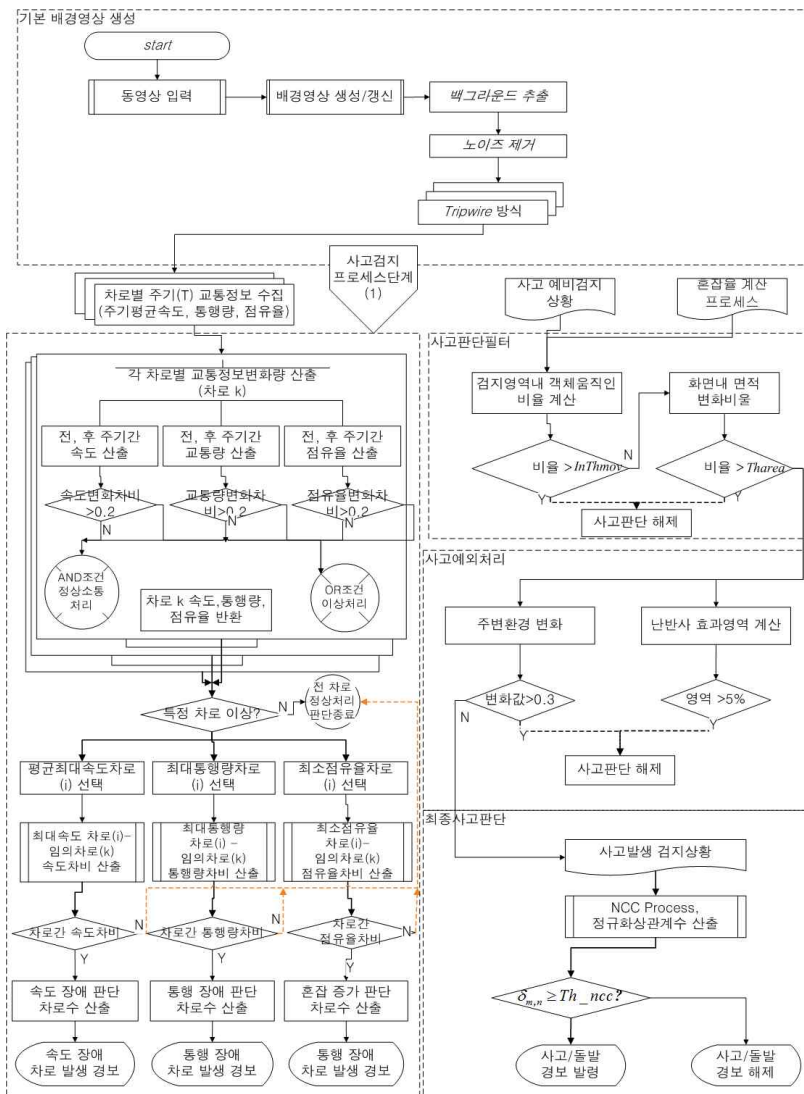
연속류 도로에서는 차량의 충돌에 의한 사고 이외에도 차량 단독 사고나 고장차량의 발생도 고려해야 한다. 또한 차량의 정체상태가 발생하면 교차로와는 달리 차량의 흐름이 변화되는 시간이 불특정한 상태임을 고려하여야 한다. 이러한 상태를 고려하여 본 연구에서는 기존의 영상처리 방식의 사고검지 기술이 가진 한계점을 극복하기 위해 영상처리기술을 활용한 교통정보 수집은 물론

교통량의 변화량을 실시간 감시하여 교통류의 변화량이 급격한 시점을 검출하는 기능과 차량 단독사고 혹은 고장의 경우를 포함한 사고 상황의 차량을 추출하는 사고 검지기능으로 구성하였다.

사고 자동검지 알고리즘 개발을 위해 교통류의 변화를 이용하여 사고 검지 1차 판단으로서 사고징후를 감시하며 사고 징후가 포착되면, 2차 본 검지를 실시하게 된다. 1차 예비검지는 일정주기 (τ) 간격으로 운용되는 t 시간대의 차로 k 의 교통류변화(v, m, occ)와 각각의 차로 (k)간 교통류비교를 통한 특정차로의 이상여부를 판단하여 이상 징후가 포착되면 2차 본검지를 통해 수집되는

영상을 차량과 배경영상으로 분리하여, 혼잡을 분석, 사고 판단필터, 사고 예외처리를 거쳐 최종 사고 판단의 과정을 통해 사고를 검지하게 된다.

기존의 교통류 흐름 혹은 영상처리 방법을 사용한 사고검지 알고리즘의 문제점은 높은 오검지율이었다. 이러한 오검지로 인해 시스템 운영자들이 사고검지시스템의 신뢰성이 없다고 판단하고 사용을 중단하는 경우도 종종 발생하였다. 이러한 문제점들을 최소화하고 시스템의 신뢰성을 확보하는 방안으로서 오검지율을 낮추기 위해 3단계의 사고판단 절차와 예외처리를 실시하였다. 이는, 기존의 교통류 흐름과 영상처리를 독립적으로 사용했던



<그림 1> 사고검지 알고리즘 상세흐름도

바와 달리 각각의 2가지 검지모듈을 함께 활용함으로써 검지 및 처리시간을 단축시키며 오검지율을 낮출 수 있는 획기적인 방법이라 할 수 있다.

또한 본 연구에서는 기존의 사고 및 돌발검지 알고리즘의 검지정확도가 통상적으로 60%를 넘지 못하는 한계를 영상처리기술을 사용하여 사고 검지율 80%이상 확보할 수 있는 기술을 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 전체적인 사고검지 Flow Chart는 <그림 1>과 같으며 상세한 절차에 대한 설명은 다음과 같다.

1. 사고 예비검지

1) 일정주기 (τ)간 t 시간대의 차로 k 의 교통류변화 (v, q, occ)

사고 예비검지를 위해 사용하는 교통정보 검지 방식으로는 기존에 사용하고 있는 Tripwire 방식의 영상 검지 기술을 사용하였으며, 검지영역 내의 다수의 차로에 대해 각각 독립적인 검지기능을 가지도록 검지기를 설정하였다. 각 검지기의 검지 영역의 길이는 차량의 길이, 전방검지선 통과 차량의 후방검지선 이탈시의 오검지문제 등을 고려하여 15m ~ 20m로 설정하였다. 검지영역 내에서 일정주기 ($\tau \approx 30$ 초)을 설정하여 t 시간대의 차로 k 의 교통류 변화를 계산하여 일정 시간 이후에 교통류 변화가 급격해지는 경우 사고 또는 돌발로 판단할 수 있으며, 각 주기를 t , 수집된 차로를 k 라 하며, 주기 t 와 $t - \tau$ 와의 속도, 교통량, 점유율 변화량을 산출하게 된다.

여기서, t 시간대와 $t - \tau$ 시간대 k 차로의 속도를 $V_k(t), V_k(t - \tau)$, 교통량을 $Q_k(t), Q_k(t - \tau)$, 점유율을 $Occ_k(t), Occ_k(t - \tau)$ 라 설정한다.

속도, 교통량, 점유율의 변화 값을 산출하기 위해 각 주기 $t, t - \tau$ 에 대한 교통량을 산출한 후, 직전 주기시간대를 기준으로 산출된 교통량차 변화비 값 $\Delta V_k(t), \Delta Q_k(t), \Delta Occ_k(t)$ 이 임계값 Th_v, Th_q, Th_{Occ} 을 넘어선 상황을 임의돌발로 판단한다.

이 때, $Th_{Occ} \approx -0.2$ 로 설정한다.

$$\Delta V_k(t) = \frac{V_k(t) - V_k(t - \tau)}{V_k(t - \tau)} \tag{1}$$

$$\Delta V_k(t) < Th_v$$

$$\Delta Q_k(t) = \frac{Q_k(t) - Q_k(t - \tau)}{Q_k(t - \tau)} \tag{2}$$

$$\Delta Q_k(t) < Th_q$$

$$\Delta Occ_k(t) = \frac{Occ_k(t) - Occ_k(t - \tau)}{Occ_k(t - \tau)} \tag{3}$$

$$\Delta Occ_k(t) < Th_{Occ}$$

2) 각각의 차로(k)간 교통류 비교를 통한 특정차로의 이상 여부판단

각 차로의 이전주기와의 비교와 더불어 차선 간 비교를 통해 사고 차로 판단이 가능하다.

이는, 같은 구간에서의 속도, 교통량, 점유율은 차선 별로 큰 차이가 나는 경우 소통장애가 있다고 판단이 가능하므로, 수집된 데이터를 통해 평균최대속도차로(i)와 최대 통행량차로(i), 그리고 최소점유율차로(i)를 통해 MAX 또는 MIN 값을 기준데이터로 활용하여 속도값은 각 차선에서 가장 높은 값을 MAX $\{V_k(t) | k = 1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ 라 하며, 교통량이 가장 높은 차선을 기준값으로 $MAX\{Q_k(t) | k = 1, 2, \dots, i, \dots, n\}$, 그리고 정상소통상황이 기준이 되어야 하므로 점유율 값은 가장 낮은 상태인 $MIN\{Occ_k(t) | k = 1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ 값을 기준으로 한다.

계산된 차로별 기준속도자료 (i)와 임의차로(k)의 속도차비를 산출하여 차로 간 이상여부를 판단하며, 이상여부 판단은 두 차로의 속도차비가 임계값 Vr_{lane}, Qr_{lane} 이상인경우로 판단한다. 본 연구에서는 Vr_{lane}, Qr_{lane} 은 80%로 설정한다.

$$\Delta V_{i,k} = 1 - \frac{V_k(t)}{V_i(t)}, \{k \neq 1, 2, \dots, n\} \tag{4}$$

$$\Delta V_{i,k} > Vr_{lane}$$

$$\Delta Q_{i,k} = 1 - \frac{Q_k(t)}{Q_i(t)}, \{k \neq 1, 2, \dots, n\} \tag{5}$$

$$\Delta Q_{i,k} > Qr_{lane}$$

그리고 점유율 변화는 점유율이 MIN인 차선이 정상소통이라 가정된 후, 이를 기준으로 점유율차를 산출하여 차로 간 이상여부를 판단하며, 이상여부 판단은 두 차로의 점유율비가 임계값 Ocr_{lane} 이상인 경우로 하며,

이때 $Occr_{lane} = 0.2$ 로 설정한다.

$$\Delta Occ_{i,k} = \frac{Occ_k(t)}{Occ_i(t)} - 1, \{k \neq 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

$$\Delta Occ_{i,k} > Occr_{lane}$$

2. 사고 검지 영상처리 모듈

영상처리를 이용한 사고 검지를 위해서는 우선 사고의 영상처리 정보모델을 정의해야 하는데, 영상에 포함된 사고 정보는 정지된 영상에서 추출하는 것은 사실상 곤란하기 때문에, 연속적으로 입력되는 영상프레임에 포함되어 있는 정보량들의 변화를 관찰하고, 정보량의 변화가 많은 부분과 정보량들의 변화가 적은 부분을 구분 지음으로써 필요한 정보를 가공 추출하게 된다. 이러한 연속적으로 입력되는 영상간의 정보량 변화를 추적하는 일련의 과정이 교통의 흐름에 관한 일이라면, 사고의 영상처리 정보모델 정의는 특정 시점으로부터 이동정보를 포함하지 않는 객체라고 특정할 수 있다. 따라서 영상 내 다양한 정보 중에서 정지된 부분과 변화되는 부분을 구별하는 것, 또 특정시점부터 움직임 정보를 상실한 부분을 추출하기 위한 수단으로서, 도로영상정보로부터 변화량의 정보가 없는 배경영상의 생성이 가장 기본적인 수단 이 되고, 이를 근거로하여 특정시점으로부터 일정시간 이상 움직임이 없는 객체를 정확하게 추출하는 과정을 수행하게 된다. 본 연구에서는 움직임 정보를 정확하고 신속하게 처리하기 위해 배경영상을 생성하고, 입력영상으로부터 객체를 추출하는 과정에서 장애요소로 등장하는 여러 가지 형태의 시-공간적 잡음을 제거하는 일련의 과정을 거쳐 최종적으로 사고발생 여부를 판단하게 된다.

1) GMM 알고리즘 수행

배경영상이란 차량이 주행하는 도로에서 변화속도가 느린 도로 및 주변 환경조건에 해당하는 부분만의 영상을 취득하여 구성한 영상을 의미한다. 차영상을 생성하여 차량객체를 추출하기 위해서는 배경영상은 차량의 속도보다 느린 도로상의 조명변화, 차선, 가로수 및 구름, 가로수의 그림자, 도로 주변의 시설물 등이 배경영상에 반영되어야 한다. 즉 배경영상이 정교하게 추출되어야 차영상을 통해 차량객체의 영역이 확연하게 드러날 수 있다. 본 연구에서 현재까지 계산속도와 정확도 측면에서 가장 우수하다는 GMM 방법을 사용하였으며, 사고

객체 검지기능을 높이기 위해 도로환경내의 조도의 변화, 즉 주간조도 및 야간조도에 적응적으로 대응할 수 있도록 조도의 변화에 따라 배경영상 생성 주기를 적절히 조정할 수 있도록 한 Adaptive GMM을 개발하여 적용하였다. GMM은 각 화소를 임의의 개수의 가우시안 분포의 혼합으로 모델링하는 방법이다. 이 방법은 온라인 근사법을 이용하여 모델의 계수를 갱신하는데, 계수의 값을 조절하여 다양한 환경에 적응하는 배경을 추출할 수 있으며, 시간 t 에서 화소 (x_0, y_0) 의 히스토리는 다음과 같이 산정 가능하다.

$$X_1, \dots, X_i, \dots, X_t = I(x_0, y_0) : 1 \leq i \leq t \quad (7)$$

여기서, I 는 영상의 시퀀스(sequence)이며, 각 화소의 최근 히스토리를 K 개의 GMM으로 나타내면 다음 식(8)과 같다.

$$P(X_t) = \sum_{j=1}^K w_{j,t} * \eta(X_t, \mu_{j,t}, \Sigma_{j,t}) \quad (8)$$

여기서,

$w_{j,t}$: 시간 t 에서 j 번째 가우시안 가중 계수

($0 < w_{j,t} < 1$)

$\mu_{j,t}$: 시간 t 에서 j 번째 가우시안 평균

$\Sigma_{j,t}$: 시간 t 에서 j 번째 가우시안 분산

η : 가우시안 확률 분포 함수

각 분포의 계수를 초기화한 후 새로 들어온 프레임의 화소 X_t 에 대하여 각 분포의 표준 편차를 구하고, 표준 편차가 2.5이내인 매칭 분포를 찾은 후, 구한 분포를 w_k/σ_k 값이 큰 순서대로 정렬하여 이 중 몇 개의 분포를 영상의 배경으로 간주하고 식(9)와 같이 계수를 갱신한다.

$$\omega_{i,n} = (1 - \alpha)\omega_{i,n-1} + \alpha M_{i,n} \quad (9)$$

여기서,

$\omega_{i,n}$: 가중 변수

α : 학습률(learning rate), $0 \leq \alpha \leq 1$

$M_{i,n}$: 정합함수(Matching Function)

$$= \begin{cases} 1: \text{정합되었음} \\ 0: \text{정합되지 않았음} \end{cases}$$

$1/\alpha$: 시정수(Time constant)

가중변수는 1 ~ n 시간동안 i 번째 가우시안에 정합된 픽셀 값들의 평균에 대해서는 저역 통과필터를 적용한 것과 같은 효과를 갖는다. 이러한 가중 변수는 과거의 픽셀 값들에 대한 지수 윈도우(exponential window)를 적용하여 기대값을 구하는 것과 동일한 효과를 낸다. 정합되지 않은 가우시안들의 평균과 분산은 그대로 유지하고, 정합된 가우시안들은 현재 픽셀 값으로 평균과 분산을 갱신한다. 결국 n 번째 프레임에서 갱신되어질 가중변수 및 평균, 분산은 식(10)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \omega_{k,t} &= (1-\alpha)\omega_{k,t-1} + \alpha M_{k,t} \\ \mu_{k,t} &= (1-\rho)\mu_{k,t-1} + \rho X_t \\ \sigma_{k,t}^2 &= (1-\rho)\sigma_{k,t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_{k,t})^2 \end{aligned} \quad (10)$$

이상과 같은 GMM 알고리즘을 사용함으로써 도로상에 이동되는 물체의 크기, 색상에 관계없이 임의의 시간에 임의의 Pixel 위치에서의 Pixel 이 가지는 밝기 값은 통상적인 다수 시퀀스의 가중평균에 의한 평균값보다 더 정확한 개별 Pixel에 대한 배경 밝기 정보를 산출하는 것이 가능하게 되며 결과적으로 깨끗한 배경영상의 생성이 가능하게 된다.

2) 차영상 생성 및 정지객체정보추출

차영상이란 추출된 배경영상과 현재 프레임의 영상의 차이를 구하여 얻은 영상으로 그 차이가 큰 부분은 차량객체가 존재할 가능성이 있다. Adaptive GMM에 의한 배경영상 및 차영상(2)의 이진 영상을 얻는 과정은 식(11)과 같다.

$$\begin{aligned} D_t(x,y) &= |I_t(x,y) - B_t(x,y)| \\ D_t(x,y) &\geq Th_level_1, Bin_t(x,y) = Black \\ D_t(x,y) &\neq Th_level_1, Bin_t(x,y) = White \end{aligned} \quad (11)$$

위 식에서 $D_t(x,y)$, $I_t(x,y)$, $B_t(x,y)$ 는 각각 시간 t에서의 차영상, 입력동영상 프레임, 배경영상을 의미한다. 위와 같은 방식으로 얻어진 이진영상은 차량의 그림자(cast shadow)와 차량객체를 포함하게 된다. 따라서 그림자의 영향이 큰 경우에는 계산량이 늘어나더라도 그림자 제거 기법이 필요하다. 그림자 제거 방법으로는 색상과 채도의 변화양상에 기반하는 방법, 밝기의 기울기에 기반하는 방법, 조명 변화에 불변적인 고유영상 추정

법 등이 알려져 있으나 본 연구에서는 야간이나 우천으로 인한 차량, 조명 등의 반사로 인한 차량의 오인식을 줄일 수 있는 경계선 크기의 비변화 검지법(ECD, Edge magnitude Change ratio Detection Algorithm)을 사용했다.

경계선 크기의 비가 모두 같고 변화가 없는 관심영역 내에서의 경계선 크기비의 분산은 다음과 같이 정의되고 값은 0이 된다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\nabla E_{ti}}{\nabla E_{bi}} - \bar{m} \right)^2 \quad (12)$$

여기서, N은 관심영역의 크기, σ^2 은 경계선 크기의 비의 분산, \bar{m} 은 경계선 크기 비의 평균이다. 따라서, 식(13)과 같이 재정의 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\nabla E_{ti}}{\nabla E_{bi}} - \bar{m} \right)^2 \\ &\cong \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\nabla E_{ti}}{\nabla E_{bi}} - \frac{\nabla E_{ti}}{\nabla E_{bi}} \right)^2 = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

만일, 관심영역에서 물체가 움직이면 경계선 크기의 비가 변화하여 아래식이 성립되어 경계선 크기 비의 분산은 식(14), 식(15)와 같으며 0보다 크게 된다.

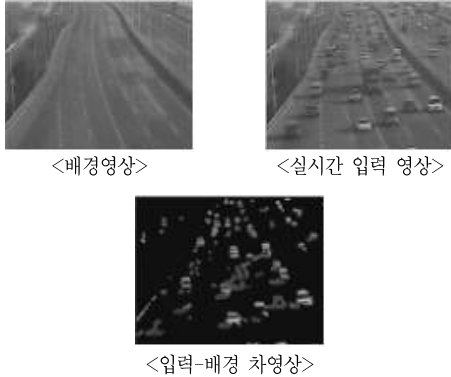
$$\frac{\nabla E_{t1}}{\nabla E_{b1}} \neq \frac{\nabla E_{t2}}{\nabla E_{b2}} \neq \dots \neq \frac{\nabla E_{tn}}{\nabla E_{bn}} \neq 0 \quad (14)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\nabla E_{ti}}{\nabla E_{bi}} - \bar{m} \right)^2 > 0 \quad (15)$$

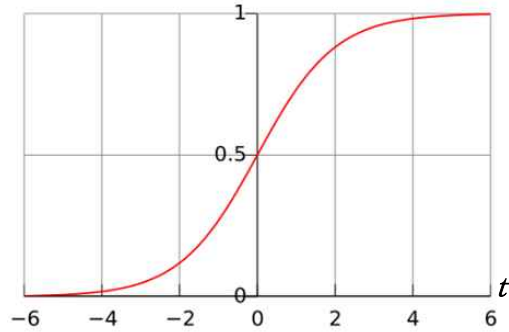
위와 같이 기준 배경 영상과 실시간 입력 영상 사이의 경계선 크기 비의 분산을 측정치로 사용하면 차량의 유/무를 알아낼 수 있다. 경계선 크기의 비를 이용한 차량 검지 예는 <그림 2>와 같다.

3) 혼잡도 계산

혼잡도는 신경 회로망의 입력 함수로 정의된 시간의 함수(즉, 카메라 프레임단위별 시간) $x(n)$ 을 변수로 하는 Logistics 함수 $P(n)$ 로서 다음과 같이 정의되며, 신경망 입력절 다항식을 표현하면 식(16)과 같다.



<그림 2> ECD를 이용한 차량 검지(주간)



<그림 3> Logistic 함수 그래프

$$x(n) = \{Imrw(n-k) + Imrw(n) + \Sigma P_{n-1} + Imrad(n)\} / 2$$

$$\Sigma P_n = \left\{ \sum_{i=1}^{Fcount} P_i \right\} / Fcount$$

$$P(n) = Sigmoid\{x(n)\} = \frac{1}{1 + e^{-x(n)}} \quad (16)$$

따라서, 혼잡도는 $0 < P(n) < 1$ 범위에 놓이게 된다.

여기서, Sigmoid함수 $P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$ 로 정의되어지

며, Logistic Function은 다음과 같은 단순 1차 비선형 미분방정식의 해가 된다.

$$\frac{dP}{dt} = P(1 - P) \quad (17)$$

여기서 P 는 경계값 $P(0) = 1/2$ 인 시간 t 에 관한 변수이며, 미분방정식의 해는 식(18)과 같다.

$$P(t) = \frac{e^t}{e^t - e^c}$$

여기서 적분 상수 $e^c = -1$ 로 정하면,

$$P(t) = \frac{e^t}{e^t + 1}, \quad \text{즉 } P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad \text{이다.} \quad (18)$$

Logistics 함수 $P(t)$ 는 <그림 3>과 같이 t 다음의 값에서 증가함에 따라 쉽게 지수적으로 증가하여 $t = 0$ 부근에서 기울기 1/4를 가지다가 $t \rightarrow \infty$ 로 될수록 1로 접근하게 된다.

4) 사고판단 필터

사고 자동검지 2단계로서 사고예비검지상태로 검지된 사고영상의 정확한 판단을 위해 사고 판단필터를 통해 사고로 예비 검지된 Object가 올바른 것인지 판단해야 하며, 주변의 환경적요인 및 장기 정체에 의한 오검지등의 오판단 가능성 있는 조건에 대해 예외처리를 실시하여 사고예비검지 결과로부터 사고분석 및 판단을 실시해야한다.

이 때, 사고로 예비 검지된 영상은 일시 정지해 있거나 서서히 움직이는 물체일 수 있으며, 그 움직임이 미세하여 GMM을 통해 추출된 Object가 오인식될 가능성을 없애기 위해 다음의 사항을 동시에 판단하게 된다. 여기서, Object의 이동 비율은 Object 이동량 변화가 있을 때 그 변화율이 5% 이상일 경우에 사고 판단에서 제외되며, Object 영상의 면적이 다른 Object의 이동에 의해 겹쳐져 변화될 경우, 변화된 사고예비검지 Object의 면적이 원래의 Object 면적에 비해 50% 이상 초과할 경우 사고 판단에서 제외된다. 또한, Object주변의 차량영상의 이동이 존재할 때 정지되어 있는 Object 영상위로 새로운 객체가 겹쳐 통과할 경우 사고 판단에서 제외하도록 한다.

$I_{ma}(n), I_{ma}(n-k)$ 를 $n, n-\tau$ 시간에 관측된 영상 중 object가 $n-\tau, n-2\tau$ 시간대에 관측된 Object에 비해 이동된 면적이라 정의 하면, n 및 $n-\tau$ 시간에 관측 대상 전체영역의 면적 Ta 에 대한 이동된 면적의 비 $I_{mwr}(n), I_{mwr}(n-k)$ 는,

$$I_{mwr}(n-k) = \frac{I_{ma}(n-k)}{Ta}, \quad I_{mwr}(n) = \frac{I_{ma}(n)}{Ta} \quad (19)$$

이때 두 측정 시각에서의 움직임의 차이 비율을 $\Delta I_{mrw}(n-k)$ 로 정의하여 이 차이 비율이 다음과 같이 일정 임계값 이상이 되면 차량들이 정체에 의한 일시적 정지 상태에서 어느 정도의 이동이 존재하는 것으로 판단하고, 그렇지 않은 경우에는 객체가 장기 정체상태에 있다고 판단한다. 이때의 움직임 차이비의 임계값을 본 연구에서는 50%로 설정하였다.

$$\begin{aligned} \Delta I_{mrw}(n-k) &= \left| 1 - \frac{I_{mrw}(n)}{I_{mrw}(n-k)} \right| \\ &: I_{mrw}(n-k) \neq 0 \text{ 일 경우} \\ \Delta I_{mrw}(n) &= \left| \frac{I_{mrw}(n-k)}{I_{mrw}(n)} - 1 \right| : I_{mrw}(n) \neq 0 \text{ 일 경우} \\ \Delta I_{mrw}(n) &= \Delta I_{mrw}(n-k) = 0 \\ &: I_{mrw}(n-k) = 0, I_{mrw}(n) = 0 \text{ 일 경우} \\ \Delta I_{mrw}(n) \text{ or } \Delta I_{mrw}(n-k) &> Th_{area} \end{aligned} \quad (20)$$

5) 사고 예외처리

이렇게 사고판단 필터를 통해 확인된 Object일 경우에 사고영상 이외에 주변의 영상까지 모두 사고로 판단되는 경우나 도로면의 광학적 난반사, 영상잡음 등에 의해 오인식 될 수 있으며, 다음과 같은 논리적 처리가 모호한 경우에 대해 사고예외처리를 실시한다.

대표적인 예로서 차량의 장기 정체에 의한 오류, 난반사 간접광들에 의한 오검지, 그림자 및 도로변 가로수, 주변의 조명 등의 환경을 들 수 있다.

위와 같은 상황에 대해 예외처리를 실시하는 경우, 환경의 시간적인 변화에 따라 측정되는 추가적인 영상의 변화량을 일정 시간 주기로 갱신되는 배경 영상들 $I^k(n), I^k(n-k)$ 로 비교할 수 있는데, 기준 배경영상과의 비교 시 관측되는 특정위치 k 의 시간 $t-k$ 및 t 에서의 비교 대상 환경 변화량의 차이 비를 산출하여 환경 변화 차이의 비 $S_{en}^k(n)$ 로 정의하고, 해당 주기 구간에서의 환경 변화에 대한 차이 비를 주기 내 환경 변화율 S_{var} 로 정의하여 환경 변화율이 특정 임계값을 초과하였을 때 추출된 부분은 환경에 의한 오류로 판단하여 사고 판단에서 제외시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{en}^k(n-k) &= \frac{|I^k(n) - I^k(n-k)|}{I^k(n-k)} : I^k(n-k) \neq 0 \text{ 일 경우,} \\ S_{en}^k(n-k) &= \frac{|I^k(n) - I^k(n-k)|}{I^k(n)} : I^k(n) \neq 0 \text{ 일 경우,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{en}^k(n-k) &= S_{en}^k(n) = 0 \\ &: (I^k(n-k) = 0) \text{ AND } (I^k(n) = 0) \text{ 일 경우,} \\ &\text{ 마찬가지로} \\ S_{var}^i &= \frac{|S_{en}^i(n) - S_{en}^i(n-k)|}{S_{en}^i(n-k)} \\ &: S_{en}^i(n-k) \neq 0 \text{ 일 경우} \\ S_{var}^i &= \frac{|S_{en}^i(n-k) - S_{en}^i(n)|}{S_{en}^i(n)} \\ &: S_{en}^i(n) \neq 0 \text{ 일 경우} \\ S_{var}^i &= 0 : S_{en}^i(n) \neq 0 \text{ 일 경우} \end{aligned} \quad (21)$$

이때 본 연구에서 사용한 각각의 초기 임계값은 본 연구에서 설정한 감시영역의 최대 한계거리에 대해 객체 영상의 크기를 고려하여 다음과 같이 설정하였다.

$$S_{en}(n) > 0.3, \sum S_{var} > 0.05$$

또한 일출 및 일몰 시, 카메라로 인입되는 강한 광선의 효과, 야간의 경우 전조등 이외에는 식별하기 곤란한 어두운 색의 차량 등에 대한 예외처리이다. 이 때, 1차적으로 영상검지기는 주변의 조도에 적응적으로 반응하여 인식광도를 조절하며, 주변의 조도에 비해 강한 전조등의 영향을 감소시키기 위해서 전체적인 전조등의 스펙트럼부분을 특정레벨로 영상을 균등화하여 전조등 효과를 최소화 시키는 방법을 활용한다.

$$\begin{aligned} &\{I^k(n) | I_{ma}^1(n), I_{ma}^2(n), I_{ma}^3(n), \dots, I_{ma}^N(n)\}, \\ S_{total} &= \sum_{i=1}^N I_{ma}^i(n) = I_{ma}(n) \\ &\text{여기서 각 } \{\forall I^k(n) < 5\%\} \{k \geq 3\} \end{aligned} \quad (22)$$

6) 사고 최종판단

사고 최종판단 단계로서 사고판단된 영상처리 결과로부터 일정시간동안 사고 상황을 계속 감시하는 과정에서, 다음과 같이 오인식이 일어나는 상황을 방지하는 수단으로 최종 사고판단 및 사고/돌발 경보를 발령하거나 사고 상황이 해제되었을 경우 자동으로 사고 경보를 해제하기 위한 최종 판단단계이다.

이를 위해 첫 번째로 ROI-NCC처리를 실시하게 된다. 이는, 사고판단 일정시간 뒤 GMM 알고리즘의 처리 과정에서 사고영상이 배경영상화 되는 것을 방지하고,

일정시간 뒤 사고 상황이 해제되었을 경우 자동으로 사고 상황을 해제하기 위해 사고영상부분(관심영역:ROI)에 대해 Mask 처리하여 저장하여 두었다가 일정시간 간격(20초 - 30초)으로 입력영상화면의 해당 ROI영역과 저장된 Mask 영상간의 정규화상관계수를 구하게 되며, 이를 통해 ROI 영역추출 뒤 NCC 를 계산하게 된다.

먼저 ROI 영역을 산출하기 위해 입력된 실시간 영상 공간을 $R(x,y)$ 라 하면, 관심영역의 마스크 $M(x,y)$ 는 다음과 같으며, 입력된 실시간 영상 내 기준 ROI Object 영역 $f(x,y,t-\tau)$ 는 식(23)과 같다.

$$M(x,y) = \{M_1, M_2, \dots\} \in R(x,y),$$

$$f(x,y,t-\tau) = I(x,y,t-\tau) \cap M(x,y), \quad (23)$$

또한 현재 입력된 영상 $I(x,y,t)$ 일 경우, 현재 영상중의 ROI Object는 식(24)와 같다.

$$s(x,y,t) = I(x,y,t) \cup M(x,y) \quad (24)$$

이를 통해, 기준ROI 영상과 현재 입력된 영상의 ROI의 정규화 상관계수 $NCC=NCC = \delta(x,y)$ 이며, ROI 영역의 크기가 $m \times n$ 픽셀이고 기준 마스크 영상이 $f(x,y)$, 입력된 영상의 ROI영역이 $s(x,y)$ 일때 정규화 상관계수 $\delta(x,y)$ 계산은 식(25)와 같다.

$$\delta(x,y) = \frac{\sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} f(x+i,y+j) \cdot s(x+i,y+j) - mn\mu_f\mu_s}{\left\{ \left(\sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} f^2(x+i,y+j) - mn\mu_f^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} s^2(x+i,y+j) - mn\mu_s^2 \right) \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (25)$$

여기서, μ_f 는 기준 마스크영상 $f(x,y)$ 의 평균레벨, μ_s 는 입력 영상의 ROI영역 $s(x,y)$ 의 평균레벨로서 식(26)과 같이 계산 가능하다.

$$\mu_f = \frac{1}{mn} \sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} f(x+i,y+j)$$

$$\mu_s = \frac{1}{mn} \sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} s(x+i,y+j) \quad (26)$$

7) 임계값 설정

본 연구의 목적은 연속류 도로에서 발생한 사고 혹은

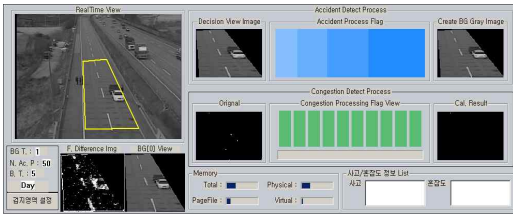
돌발 상황을 신속하고 정확하게 자동으로 검지하기 위한 것이다. 따라서 도로상의 실시간 교통상황으로 부터 여러 가지 변수들을 추출하고 평가하여 사고의 징후 판단 및 사고영상의 추출, 사고 예비판단 상황으로부터 사고에 해당되지 않는 영상 노이즈 및 장애요인을 제거 하고, 최종적으로 object영상의 존재여부를 지속적으로 감시 판단하여 사고 경보의 발령 혹은 경보 해제를 실시하는 일련의 과정으로 구성되어 있다. 따라서 도로 환경의 변화에 대응한 영상처리 기술을 통해 사고 object 정확한 추출이 가장 중요한 요소이다.

영상추출에 사용하는 요소 데이터로는 배경영상 추출에 적용되는 학습률 α , 배경영상과 입력 영상의 차영상을 구하기 위한 임계값 Th_level_1 , 사고 감시지역 내에서 포착된 사고 object의 크기인 Th_pixel , 2진화 영상 생성을 위해 실시하는 차영상의 filtering 이후의 2진화 임계값 Th_level_2 등이며 많은 반복적 실험을 통해 최적의 결과를 도출하는 값을 얻었다. 특히 학습률 α 는 도로의 조도 조건에 따라 적용적으로 주간의 조건에 대해 50% 까지 자동 변화될 수 있도록 시험되었다. 또한, 교통류를 감시하여 사고발생의 징후 상황을 포착하는데 사용하는 교통 변화량 관련 변수 $\Delta V_k(t)$, $\Delta Q_k(t)$, $\Delta Occ_k(t)$ 등은 APID 알고리즘과 같은 교통 공학적 돌발검지 모델에서 사용하는 초기값을 적용하였다. 사고 판단의 보조 수단으로 사용한 정체의 판단 및 환경적 요

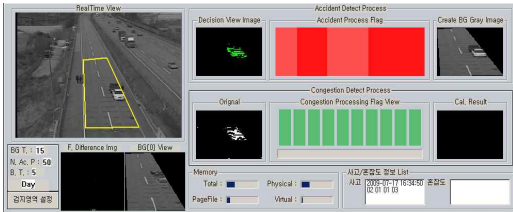
인의 제거를 위한 임계값은 매 관측시점의 변화량이 일정 주기 뒤에 얼마나 변화하는지의 변화량 차 비율로 정규화 하여 초기값 0.5로 시험하였으며, 사고 영상의 추출 및 사고영상의 지속적인 분석 범위는 30초를 기준으로 설정하였다. 임계값 결정 및 사고검지 알고리즘 검증을 위한 시험은 중부 내륙 고속도로상의 실험도로에서 약 20여대의 시험차량을 사용하여 12가지의 임의의 사고 상황을 모의 실시하였으며, 이의 영상을 취득하고 기록하여 실시간 영상과 동일한 조건으로 영상알고리즘에 대해 다양한 임계값을 반복 실험하여 최적의 임계값을 추출하였다.

시험을 통해 영상검지 성능을 최적화하기 위한 변수 임계값은 배경-입력차 영상 레벨(Th_level_1), 사고영상최

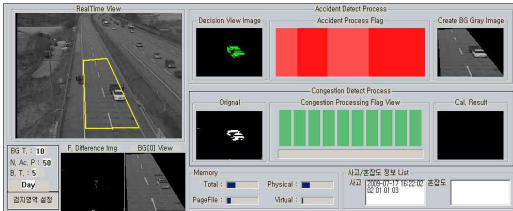
a) 1-50-5 검지안됨



b) 15-50-5 (검지는 되나 Object 영역이 훼손됨)



c) 10-50-5 (최적화됨)



<그림 4> 실험영상을 이용한 임계값 설정 과정

<표 2> 사용 변수의 초기 임계값

임계값 적용 변수		임계값
임계 변수 내용	변수명	
주기속도 변화차 비	$\Delta V_k(t)$	10%
	$\Delta V'_k(t)$	10%
주기 내 점유율 차이 비	$\Delta Occ_k(t)$	10%
주기간 통행량변화차 비	$\Delta M_k(t)$	30%
배경-입력 차영상 레벨	Th_level_1	10/5(0~255중간조)
Object 2진화 레벨	Th_level_2	5/5(0~255중간조)
사고영상 최소 크기	Th_pixel	50~80
영역 내 객체 이동량 비	$\Delta I_{ma}(n)$	50%
영역 내 객체 면적변화 비	$\Delta I_{mrw}(n)$	50%
환경요인 변화율/변화율 변화비 합	$S_{en}, \sum S_{var}$	30%/5%
난반사 등 주변조명 영향 면적비/난반사영역 수	$S_{total} = \sum_{i=1}^N I_{ma}^k(n) / k$	5% 미만
보존 사고영역 및 실시간 해당영역의 유사도(NCC)	$\delta(x, y)$	75% 이상

소크기(Th_{pixel}), Object 2진화 레벨 (Th_{level_2}) 이며 각 그림의 위쪽에 표시하였다.

<그림 4>와 같이 영상을 통해 알고리즘 임계값을 계속하여 변경해 봄으로서 최적의 임계값을 선정하도록 하였다.

<표 2>은 본 연구에서 사용하고 있는 여러 가지 변수에 대한 임계값을 나타낸 것이다. 각 임계값에 대한 설명은 앞의 3장 2절 바)의 임계값 설정과 같다.

IV. 사고검지 알고리즘 검증

1. 검증방법

본 연구 결과의 신뢰성을 검증하기 위하여 실제 사고 동영상 혹은 이에 상응하는 동영상상을 수집하여 검증을 실시하였다. 본 알고리즘의 성능 평가를 위해 다음과 같이 검지율, 미검지율, 오검지율로 구분하여 평가의 척도를 정의하고 시험결과를 평가하였다. 각 평가 척도의 의미는 다음과 같다.

$$\text{검지율} = \frac{\text{자동 검지된 실 사고 수}}{\text{실제 발생된 사고 총 수}}$$

미검지율=

$$\frac{\text{실제 발생된 사고 총 수} - \text{검지된 실 사고 수}}{\text{실제 발생된 사고 총 수}}$$

오검지율=

$$\frac{\text{검지된 사고 수} - \text{검지된 사고 중 실제발생사고 수}}{\text{실제 발생된 사고 총 수}}$$

또한 위의 평가척도를 측정하기 위해 많은 시험영상의 표본이 필요하지만 2009년 4월 ~ 2010년 2월간의 연구기간동안 실제 도로상에서 발생된 사고영상만으로는 정확성 평가가 사실상 불가능에 가까웠기 때문에, 본 연구의 효과를 측정하기 위한 표본은 다음과 같이 중부내륙 실험도로에 실시한 모의실험을 통한 4차선 모의사고 영상과 자유로 장항 IC에서 발생된 실제 차량사고 3건을 활용하여 평가하였다. <그림 5>는 사고영상을 획득하기 위한 모의사고실험 장비를 나타낸 것이다.

- 모의시험영상 : 중부 내륙 고속도로 여주분기점 부근의 폐 국도(2차선) 도로상에서 주간 20여대의 차량을 사용하여 12번의 모의 사고를 발생시켜 영상을 수집함
- 실제 사고영상 : 자유로 장항 IC 야간 사고 동영상 사용(2009년 1월 27일 18:50, 2010년 01월 29일 10:58, 2010년 02월 01일 09:57)



<그림 5> 모의사고실험을 통한 사고영상 수집

<표 3> 사고모의시험 영상을 이용한 사고자동검지 알고리즘 시험 결과

사고 유형	사고발생 시나리오	결과	검지소요시간
1차로 혹은 2차로 사고	1차로 사고	성공	1' 13"
	1차로 사고	성공	1' 13"
	2차로 사고	성공	1' 14"
	2차로 사고	성공	1' 28"
	2차로 사고	실패	-
1,2차로 점유사고	1,2차로 교차사고	성공	1' 11"
	2,1차로 교차사고	성공	1' 15"
1차로 혹은 2차로에서 고장차량으로 인한 사고	1차로 고장차량 사고	성공	1' 12"
	2차로 고장차량 사고	성공	1' 14"
복합사고 상황	1차로 진행차량 고장으로 인한 급제동	성공	1' 12"
	뒷차량 고장차량 충돌 회피를 위해 차로변경	성공	1' 08"
	2차로로 가속해 진행중인 차량과 충돌	성공	1' 11"

2. 검증결과

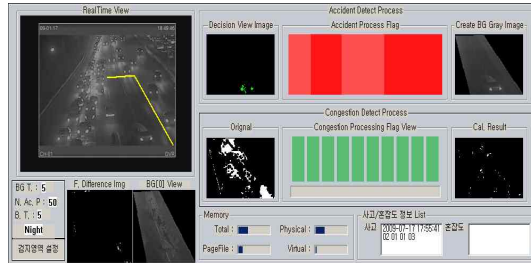
중부 내륙 고속도로 부근의 실험도로상의 모의시험 결과 12가지 모의 사고 중 미검지한 경우는 영상상태 불량으로 인해 1건 발생하여 총 12건의 사고중 11건을 검지하여, 검지율= 11/12=91.67%, 오검지율 =0, 미검지율=8.33%의 신뢰성을 가진 것으로 나타났다.

이와 같은 중부 내륙 고속도로 부근의 실험도로상의 사고유형별 모의시험 결과 및 검지소요시간은 <표 3>과 같다.

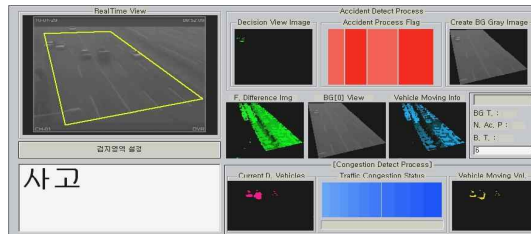
또한 자유로 장항 IC 부근 Test Bed의 실시간 동영상 사고자동검지의 경우 사고건수는 3건 중 3건 모두 검지하였으며 오검지 및 미검지는 발생하지 않았다.

야간 사고영상의 경우 실제 사고 발생 직후(충돌 직후 정지된 시점) 부터 1분 48초 뒤 사고검지 경보를 표출하였으며, 주간 사고의 경우 2분 28초, 1분 23초의 시간이 소모되었다.

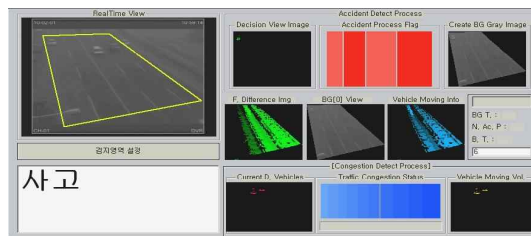
시험에 사용된 표본수가 충분치는 않지만, 총 15건의 실험 중 14건의 사고검지가 이루어져 검지율 93.3%로 높게 나타났으며, 오검지 0%, 미검지 6.7%로 나타났으며, 이와 같이 영상의 흔들림으로 인한 미검지 1건을 제외한 나머지 사고검지는 모두 가능하였으므로, 연속류 도로 조건에서의 시험결과는 신뢰성이 매우 높은 것을 알 수 있다.



<그림 6> 09년 1월 27일 사고영상을 이용한 검증(야간)



<그림 7> 10년 1월 29일 사고영상을 이용한 검증(주간)



<그림 8> 10년 2월 1일 사고영상을 이용한 검증(주간)

<표 4> 자유로 장항IC 사고영상을 이용한 사고자동검지 알고리즘 시험결과

사고 유형	사고발생 시나리오	결과	검지소요 시간
복합사고 상황	4.5차로 끼어들기로 인한 사고	성공	1' 48"
	4.5차로 끼어들기로 인한 사고	성공	2' 28"
	5차로 진입부 차량정지	성공	1' 23"

본 연구 결과의 우수성을 판단하기 위한 비교 가능한 기존의 연속류 도로 사고검지 알고리즘의 연구 사례가 없어 알고리즘의 개선 혹은 우수성을 비교평가 할 수는 없었으나, 교차로 사고 자동 기록 장치에 대한 기존의 성능평가 기준을 참고로 제시하면, 사고 이벤트율 80% 이하, 검지율 20%이상으로서 사실상 오검지율이 80%에 해당하는 점과 비교하면 본 연구의 결과는 매우 높은 검지율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

1. 결론

본 논문은 사고로 인한 정지차량 및 돌발상황을 파악하기 위해 교통류를 이용한 1차 예비검지 및 영상처리를 이용한 2차 사고확정판정을 하는 알고리즘을 제안하였다.

이를 통해 기존의 영상처리 혹은 속도, 교통량, 점유율 차만을 이용한 방식에서 벗어나 2가지 방식을 혼용함으로써 검지율을 높이고 미검지, 오검지를 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

이러한 사고 자동검지 알고리즘을 충분히 시험하기 위해서는 다양한 조건하의 많은 사고영상 표본이 필요하지만 이러한 시험조건을 충족할 사고영상을 구하는 것이 현실적으로 매우 곤란하기 때문에, 많은 새로운 알고리즘을 개발하고 시험하기 위해서는 오랜 기간을 거쳐 충분한 사고 전/후의 상황이 기록된 영상을 채집하고, 축적하는 일이 시급하다고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구에서는 많은 사고영상 표본을 위한 모의사고 실험영상을 획득하고, 자유로 장항IC의 영상검지기에서 수집된 3건의 사고영상을 토대로 알고리즘의 효용성 및 성능을 확인할 수 있었다. 결과적으로 검지율 93.3%의 높은 검지율을 나타내 실제 도로상의 적용 시 효과적인 것으로 판단된다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서는 최소한의 평가가 가능한 사고영상을 확보하기 위해 연속류 도로 모의실험 영상 12건 및 3건의 실제 사고영상을 사용하였지만, 다양한 환경조건에 대해서는 평가하기에 미흡한 상태였으며, 특히 좋지 않은 기상조건에 대해서는 더 많은 시험이 필요하다고 판단된다. 따라서 강우, 안개, 강설과 같은 다양한 조건에서의 사고영상을 획득하여 검증을 실시해볼 필요가 있다.

이를 위해 자유로 상의 장항 IC 및 킨텍스 IC, 이산포 IC, 신평동 IC에서 수집되어지는 사고 환경 중 악천후 야간영상 등을 통해 검증이 이루어져야 할 것이다.

이러한 검증 과정을 통해 알고리즘의 부족한 부분을 파악할 수 있으며, 또한 환경적 변화에 대응 가능한 사고검지 알고리즘의 개선 연구가 가능하게 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- 오주택·임재극·황보희(2009), “신호교차로 내 실시간 교통사고 자동검지 알고리즘 개발”, 대한교통학회지, 제27권 제5호, 대한교통학회, pp.97~111.
- 성신승(2005), “교통사고 자동기록장치(TAAMS)에 의한 교통사고의 발생메카니즘에 관한 연구”, 일본 경찰과학연구소 보고, 교통편, 제38권 제2호.
- 유성준 외2인(2006), “교차로 교통사고 검지시스템 성능개선 방안 연구”, 한국ITS학회 제5회 추계학술대회 논문집, 한국ITS학회, pp.254~259.
- 김성호(1998), “인공신경망을 이용한 유고감지 모형에 관한 연구”, 공학기술논문집, 제8권 제1호.
- 김진학·박창호·전경수·이성모(1999), “자동유고감지 알고리즘의 고찰”, 제36회 학술발표회-1999년도 추계 학술대회-, 대한교통학회, pp.167~172.
- 이상민·이승환(2002), “Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황검지 모형 개발”, 대한교통학회지, 제20권 제6호, 대한교통학회, pp.81~98.
- 이진광(2004), “연속류 돌발상황 예측 알고리즘 및 관리기법 개발”, 아주대학교 산업대학 건설교통공학전공.
- Dar-Shyang Lee(2005), “Effective Gaussian Mixture Learning for Video Background Subtraction”, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 27, NO. 5.

9. S. Khan 외 1인(2000), "Tracking People in Presence of Occlusion", in Asian Conference on Computer Vision, pp.1132~1137.
10. C. Stauffer외 1인(2000), "Learning Pattern of Activity Using Real-time Tracking", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 8, pp.747~757.
11. Y. Cheng(1995), "Mean Shift, mode Seeking, and Clustering", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., pp.790~799.
12. Shunsuke Kamijo, Yasuyuki Matsushita, Katsushi Ikeuchi(2000), "Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections", IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, VOL.1, No.2, June. 2000.
13. Michael L. Pack(2005), "An Open Source, Video-Based, Automatic Incident Detection Program", TRB.
14. Harini Veeraraghavan, Paul Schrater, Nikos Papanikolopoulos(2006), "Robust target detection and tracking through integration of motion, color, and geometry", Computer Vision and Image Understanding 103, pp.121~138.
15. Weiming Hy Xuejuan Xiao, Dan Xie, and Tieniu Tan(2003), "Traffic Accident Prediction Using Vehicle Tracking and Trajectory Analysis", IEEE.
16. John Hourdakias, Vishnu Garg, Panos G. Michalopoulos, Gary A. Davis(2006), "Real-time detection of crash prone conditions in freeway high crash locations", TRB 2006 Annual Meeting.
17. Michael L. Pack, Phillip Anderson(2005), "An Open Source, Video-Based, Automatic Incident Detection Program", TRB 2005 Annual Meeting.
18. Sibok Lee, Raymond A. Krammes, John Yen(1998), "Fuzzy-logic-based incident detection for signalized diamond interchanges", Transportation Research Part C 6.
19. Kun Zhang, Michael AP Taylor(2005), "Towards Transferable Incident Detection Algorithm", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.2263~2274.
20. Daehyon Kim, Seungjae Lee(2005), "Incident Detection using a Fuzzy-based Neural Network Model", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.2629~2638.
21. "Traficon Video Detection Field proven, Easy to Install", Traffic Video Systems, <http://www.ptr.pol-i.usp.br/lemt/documents/TraficonVideoDetector.pdf>
22. Durga P. Panda, Hung K. Chan(2000), "Technology for Improved Operation and Maintenance of Video-based Automated Incident Detection Sensors", The 6th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Jun. 2000.
23. P. Power, J. Schoonees(2002), "Understanding Background Mixture Model for Foreground Segmentation", Proceedings Image and Vision Computing New Zealand, 26-28th Nov. 2002.

✉ 주 작 성 자 : 오주택

✉ 교 신 처 자 : 여태동

✉ 논문투고일 : 2010. 3. 12

✉ 논문심사일 : 2010. 4. 12 (1차)

2010. 5. 31 (2차)

2010. 6. 3 (3차)

✉ 심사판정일 : 2010. 6. 3

✉ 반론접수기한 : 2010. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract