

Accident Prevention Technology at a Level Crossing

曹 烽 管[†] · 柳 祥 桓^{*} · 黃 鉉 喆^{**} · 鄭 在 一^{***}

(Bong-Kwan Cho · Sang-Hwan Ryu · Hyeon-Chyeol Hwang · Jae-Il Jung)

Abstract - The safety equipments of railway level crossing which are installed at intersections between roads and railway lines prevent level crossing accidents by informing all of the vehicles and pedestrians of approaching trains. The intelligent safety system for level crossing which employs information and communication technology has been developed in USA and Japan, etc. But, in Korea, the relevant research has not been performed. In this paper, we analyze the cause of railway level crossing accidents and the inherent problem of the existing safety equipments. Based on analyzed results, we design the intelligent safety system which prevent collision between a train and a vehicle. This system displays train approaching information in real-time at roadside warning devices, informs approaching train of the detected obstacle in crossing areas, and is interconnected with traffic signal to empty the crossing area before train comes. Especially, we present the video based obstacle detection algorithm and verify its performance with prototype H/W since the abrupt obstacles in crossing areas are the main cause of level crossing accidents. We identify that the presented scheme detects both pedestrian and vehicle with good performance.

Key Words : Railway, Level crossing, Intelligence, Safety, Interface with roadway

1. 서 론

철도건널목 보안장치는 철도와 도로가 평면교차하는 곳에 설치되어 건널목을 통과하기 일정시간 전에 열차의 접근을 통행하는 모든 차량과 보행자에게 알려주어 정지 또는 안전을 확보하게 함으로써 건널목의 사고를 사전에 방지하기 위한 설비를 말한다. 기술적인 측면에서 보면 전자, 통신, 제어 기술의 발달로 과거보다 우수한 정보전달 체계가 개발되어 있으나 이를 이용하여 다양한 상황에서 철도건널목 사고를 방지하고 안전을 향상시키기 위한 철도건널목 정보화·지능화는 국내에서는 연구가 전무하나 선진국들은 적극적으로 연구개발을 수행중이다.

국내의 철도건널목제어는 열차위주의 일률적인 차단이 대부분이며, 철도건널목의 안전성에 지대한 영향을 미치는 인접한 도로교차로의 신호와 연계가 전무한 상태이고, 기존에 사용되고 있는 열차검지시스템은 열차의 속도와 무관한 정거리 방식과 열차의 가감속을 고려하지 않은 등속도의 정시간 방식을 사용함으로써 효율적인 건널목제어에 한계가 있

는 실정이다.

본 논문에서는 기존의 철도건널목 보안설비의 단점을 보완하고, 철도건널목을 이용하는 통행자(열차, 자동차, 사람 등)의 안전을 확보하기 위해 기존의 사고사례 분석 결과 및 개선방향을 바탕으로 건널목의 사고방지 및 피해를 저감하기 위한 건널목 지능화 기술을 제시한다. 건널목 지능화 기술은 1) 국내 첨단정보통신 기술을 이용하여 철도건널목 일정구간 전방에 열차가 진입하는 경우 도로에서 진입하는 차량의 안전운전을 확보하기 위해 열차의 진입속도와 위치를 검지하여 인접한 도로교차로의 신호와 연계하고 열차진입 정보를 도로변 경고 장치로 실시간으로 표출하여 건널목에서 열차와의 충돌을 방지할 수 있는 경고시스템을 제공하고, 2) 건널목 상에 자동차 등의 고장으로 인한 대기차량이 있는 경우 이를 검지하여 건널목으로 진입하는 열차로 전송해 주어 열차를 건널목 전방에서 정지할 수 있도록 함으로써 철도건널목의 사고를 방지하고 피해를 저감할 수 있다. 특히, 본 논문에서는 영상처리를 통해 지장물을 검지할 수 있는 영상검지 알고리즘을 제시하고 시작품을 제작하여 그 성능을 검증한다. 철도 건널목 사고의 가장 큰 원인은 일단정지무시로서 차단기가 내려진 상태에서 진입한 건널목 상의 지장물의 유무를 정확히 판단하고 추적하는 것은 사고 방지에 큰 역할을 하기 때문에 그 중요성이 크다.

본 논문의 구성은 제2장에서 철도건널목 사고현황을 조사하여 사고원인을 분석하고 현재 건널목에 안전사고를 방지하기 위해 설치된 건널목 보안장치 현황 및 문제점을 분석한다. 이에 대한 보완대책으로 제3장과 제4장에서 건널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감기술을 제안하고 특히,

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大學校 電子通信電波工學科 博士修了, 韓國鐵道技術研究院 先任研究員

E-mail : bkcho@krii.re.kr

* 正會員 : 韓國鐵道技術研究院 責任研究員

** 非會員 : 韓國鐵道技術研究院 先任研究員

*** 非會員 : 漢陽大學校 電子通信電波工學科 教授

接受日字 : 2008年 8月 30日

最終完了 : 2008年 9月 4日

개발된 지장물 영상검지 알고리즘을 제시하고 및 그 성능을 검증한다. 마지막으로 제5장에서 결론을 내린다.

2. 철도건널목 사고현황 및 건널목 보안장치의 문제점

2.1 철도건널목 사고현황

2007년도의 열차사고 및 건널목사고 발생건수 총 30건 중 건널목사고가 24건으로 사고의 대부분을 차지하며 인명피해 사상자가 16명에 이른다. 2003년부터 2007년까지 사고통계를 보면, 연평균 건널목 사고는 37.4건이고, 원인별로는 일단정지무시 36.9%, 차단봉돌파 28.9%, 차량(자동차)고장 0.5%, 운전부주의 27.3%, 기타 6.4%이고, 차종별로는 자동차(승용차, 트럭 등)사고가 78%로서 철도건널목 사고의 대부분이 자동차로 인한 사고이다. 즉, 건널목 사고의 대부분은 자동차 운전자의 교통법규 위반과 운전부주의에 의해 발생하고 있다.

또한, 2007년도 사고 발생원인은 일단정지 무시에 의한 사고가 13건(54.2%)으로 건널목 경보장치가 동작 및 차단봉 하강 후 차단기 끝부분이나 반대차선으로 진입 중 사고가 대부분이다. 차단봉 돌파사고는 3건(12.5%)으로 전년대비 6건(67%)이 감소하였으며 운전부주의로 인한 사고가 전년대비 3건(100%) 증가하였다. 또한, 기타사고로는 안내원 취급부주의로 인한 2건(8.3%)이 발생하였다[1].

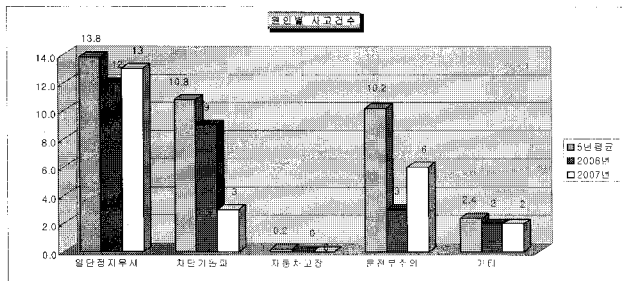


그림 1 건널목 사고 원인
Fig. 1 The causes of level crossing accidents

2.2 철도 건널목 보안장치 현황 및 문제점

2.2.1 국내 건널목 보안 장치

철도건널목에는 건널목 경보기, 경보등, 차단기가 설치되어 운영되고 있으며, 최근에는 자동차 운전자의 차단기 하강시 진입, 차단기 우회돌파 등 운전자 과실로 인한 건널목 사고를 예방하기 위해 건널목내의 지장물 검지 장치와 차량의 진입을 검지하는 지자계센서, 입·출구를 제어하는 차단기 제어장치를 일부 건널목에 설치하여 운영하고 있다[2].

1) 지장물 검지 장치

건널목내의 지장물을 검지하는 장치로 레이저식과 버튼식이 있다. 레이저 검지방식은 그림 2와 같이 광선망을 배광하여 자동차 등이 이 광선을 일정시간 차단함으로써 장애물을 검지하는 방식으로 발광기, 반사기, 수광기, 제어기로 구성되고, 발광기로부터 나온 레이저가 반사기를 거쳐서 수광기로 들어가는 원리를 이용하며 수광기에서 레이저가 검지되지 않을 경우 지장물을 인식하게 되며 검지 범위가 다소

협소한 단점이 있으며, 검지가 불가능한 사각지대가 발생할 수 있다. 또한, 동절기 적설로 인하여 투광기와 수광기가 눈에 묻혀버리면 물체를 인식할 수 없는 문제를 갖고 있다. 버튼식은 철도건널목 안내원의 인지에 의해 작동하는 방식으로 인적요인에 의지하는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 검지성능이 우수하고 이러한 현행장치의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 건널목 장애물 검지장치의 개발이 요구되고 있다.

2) 지자계식 검지센서

차단기 하강후 차량의 건널목 진입여부를 검지하며 지자계 센서의 역할은 차량의 진입방향을 판단하여 차단기를 제어하는 역할을 한다. 그러나 지자계 검지센서의 경우 차량의 중량 및 환경적인 영향으로 인하여 오동작이 발생할 소지가 있다.

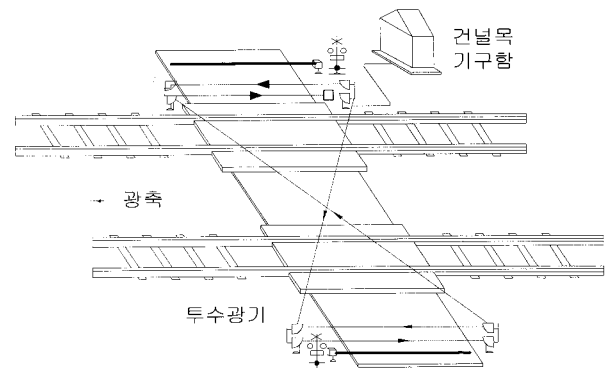


그림 2 레이저 방식 건널목 장애물 검지장치
Fig. 2 Obstacle detection equipments with laser

2.2.2 국외 건널목 보안 장치

외국의 건널목 제어방식은 건널목의 주변 환경에 따라 2, 4분할 차단기를 혼용하여 사용하고 있으며, 건널목 장애물 검지장치는 지자계(Loop)방식, 레이저 검지방식, Video-Based Sensor방식 및 초음파 검지방식을 사용하고 있다.

1) 초음파 검지방식

초음파 센서의 반사파를 이용하여 건널목 노면에서의 장애물을 검지하는 방식이다. 초음파 검지기의 경우 기체와 액체 또는 액체와 고체 등의 경계면에서 반사 손실이 적은 장점이 있다. 하지만 초음파센서의 높이가 8.5m 이상이면 바람에 의한 초음파의 확산과 눈에 의한 감쇠 영향 등으로 검지성능이 떨어지는 단점이 있다[3].

2) Video-Based Sensor방식

건널목을 점유하고 있는 차량 및 장애물을 지자계식 검지기와 함께 조합하여 비디오 센서에 의해 장애물을 검지하는 방식이다. 이 방식은 Oh and Leonard의 연구결과[4] 카메라 센서의 설치위치 및 각도에 따라 검지결과의 정확도가 떨어지는 문제점이 있는 것으로 나타났다.

3) 4분할 차단기

이것은 건널목을 횡단하는 도로의 입구·출구측을 시간차이를 두어 제어하는 방식이다. 4분할 차단기에 대한 K.W.Heathington [5]의 연구결과를 살펴보면 건널목에 마지막 차량이 횡단한 후 열차가 도착하기까지의 시간 차이를 나타내는 Clearance Time이 2분할 차단기가 설치되었을 경우보다 증가하는 것으로 나타났다. 차단기가 내려진 상태에서 열차가 도착하기 전 건널목을 횡단하는 위반 차량대수를 비교한 결과 다음과 같다. 2분할 차단기가 설치·운영될 때는 평균 2.6대의 위반차량이 나타났다. 반면 4분할 차단기가 설치·운영될 때는 위반차량이 없는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과를 바탕으로 4분할 차단기 설치 요건을 만족하는 건널목에 4분할 차단기를 설치할 경우 2분할 차단기에 비해서 건널목의 안전성이 높아지는 것으로 나타났다. 그리고 F. Coleman [6]의 연구에서는 4분할 차단기로 운영되고 있는 철도건널목에서 운전자가 교차로 진입여부를 결정하는 의사결정이 신속하게 이루어지도록 최적의 차단기 운영시간을 제시하고 있다.

2.2.3 철도 건널목 보안 장치의 문제점

- 건널목 보안 장치의 오류 발생 시 달리는 열차에서 건널목 상태를 미리 판단하여 대처할 수 없다.
- 안개, 비 등의 자연 변화에 따른 가시거리 변화에 의한 운전자의 상황 파악이 어렵다.
- 노약자(노인, 휠체어, 보행 보조의 배터리카 등), 보행자 및 이륜차의 체류에 대한 검지 능력이 부족하다.
- 열차와 건널목간 정보전송의 필요성이 높아지는 반면 양방향 통신 수준이 낮다.

3. 철도건널목 지능화 시스템

지능화란 교통의 안전, 보안, 수송용량 및 운용효율을 증대시키기 위해, 센서, 컴퓨터 및 digital 통신 기술의 적용을 통해 정보를 수집, 처리 및 보급하는 것을 말하며, 본 논문에서는 철도건널목을 지능화하기 위해 3가지 측면을 고려하였다.

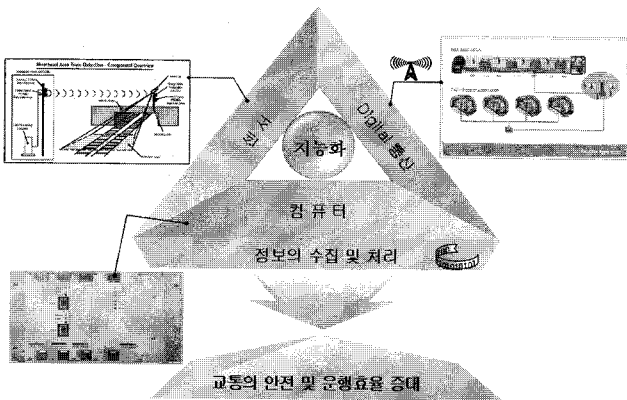


그림 3 건널목 지능화의 정의
Fig. 3 Definition of level crossing intelligence

첫 번째는 관련제어장치들과의 연계를 통해 열차와의 연계 및 도로교통제어기와의 연계를 구축하고 두 번째 최신의 지능화된 기술을 적용하여 영상처리에 의한 건널목 지장물을 검지하고 RF통신에 의한 연속적인 정보를 전송한다. 마지막으로 다각적으로 정보를 제공하기 위해 도로측 운전자에게 건널목 정보를 제공하도록 열차운전자에게 건널목 상황정보를 제공한다[7]. 이와 같이 철도건널목을 지능화함으로써 제2장에서 지적한 기존 철도 건널목 보안장치의 문제점을 해결할 수 있어 사고예방 및 피해저감을 기대할 수 있다.

3.1 시스템 구성

건널목 지능화시스템은 건널목과 열차간 양방향 무선링크를 구성하여 건널목 사고방지 및 피해를 저감시키기 위한 정보를 열차와 건널목 접근 도로측에 제공한다. 건널목으로부터 열차로 전송하는 정보로는 건널목 지장물(건널목 차단기 내에 존재하는 자동차 및 보행자)에 대한 건널목이벤트(경고메시지) 및 영상정보가 있으며, 열차로부터 건널목으로 전송하는 정보로는 열차관련정보(진행방향, 속도, 도착시간 등)가 있다. 열차로 수신된 건널목 지장물 영상정보는 운전실 내의 모니터링 장치에 현시되고 기관사가 건널목 상황을 인지하여 건널목 진입전 열차를 정지시킨다. 건널목으로 수신된 열차관련정보는 건널목 통합서버를 거쳐 도로측의 실시간 정보 현시 장치 및 인접 교차로 도로교통 신호제어기로 전송되며 도로측 운전자 또는 보행자에게 열차의 철도건널목 존재 및 건널목 접근 상황을 알려주고 열차 접근시 건널목 차단기내에 정제된 차량의 신속한 해소를 유도한다. 위와 같은 부분을 포함한 건널목 지능화시스템의 구성은 그림 4와 같다.

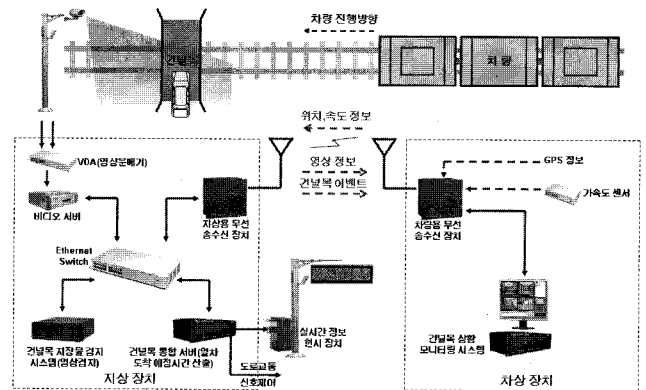


그림 4 철도건널목 지능화 시스템 구성
Fig. 4 System architecture for level crossing intelligence

건널목 지능화 시스템을 구성하는 주요 장치와 기능은 다음과 같다.

1) 건널목 지장물 영상검지시스템

건널목 설치된 카메라와 영상분배기 및 비디오서버를 통해 입력된 건널목 차단기의 이상 유무정보 및 차단기 안쪽에 갇혀 있는 지장물 영상정보를 정확히 검지하고 지장물의 이동경로를 실시간으로 추적한다.

2) 무선 송·수신 장치

건널목 열차접근시 지상·차상용 무선 송·수신 장치간 양방향 무선링크를 구성하며 건널목 지장물 영상감지시스템으로부터의 경고메시지 및 영상정보를 연속적으로 열차에 전송하고 열차의 위치 및 속도정보를 건널목서버로 전송한다. 건널목 통과열차의 최고속도(150km/h) 및 건널목 경보기 경보시분(30sec)을 고려하여 무선구간 전송거리(1,250m 이상)를 확보하도록 설계하며, 가용성을 높이기 위해 이중화 구조로 설계한다.

3) 열차에서 건널목상황 모니터링 시스템

열차 운전실내에 설치되며 기관사가 건널목 지장물을 인지하고 건널목 도착 이전에 정지할 수 있도록 건널목 지장물에 대한 경고메시지 및 지장물의 실시간 영상정보를 제공한다. 또한, 기관사가 적절한 조치를 취하지 않았을 경우, 열차의 제동장치에 비상제동명령을 보내고 열차를 강제 정지시킬 수 있도록 설계한다.

4) 건널목 정보현시장치(Variable Message Signs, 이하 VMS)

건널목 사고, 건널목 접근 열차 정보(열차 진행방향, 건널목 도착시간) 및 고장 정보 등을 건널목으로 진입하는 자동차 운전자가 육안으로 인지할 수 있도록 LED타입의 현시장치를 건널목과 인접 교차로 사이에 설치한다. 건널목 VMS는 차량의 철도건널목 존재 및 건널목 접근 열차상황을 도로측 운전자에게 건널목 VMS를 통하여 실시간으로 표시하여, 도로측 운전자가 건널목 상황에 대해 적시·적절한 정보를 취득하게 함으로써 궁극적으로 철도건널목의 사고발생 위험을 저감시킨다.

5) 도로교통 신호제어장치

건널목이 도시지역에 위치한 경우 교차로의 차량대기행렬이 철도건널목까지 연장될 수 있으며, 동시에 열차가 접근하는 경우 건널목상에 정지한 차량이 열차와 충돌하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 철도건널목과 인접한 교차로 사이의 거리가 가까운 경우, 교차로에서의 신호체계는 철도건널목에서 차량대기행렬이 발생하지 않도록 건널목에서 교차로로 접근하는 자동차에 대해 신호우선처리(preemption)를 하여야 한다. 즉, 열차 접근시에는 건널목으로 진입하는 자동차는 통제하고 진출하는 자동차는 신속히 진행시켜 사고요인을 미연에 방지하여야 한다. 미국의 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)에서는 철도건널목과 인근 신호교차로의 거리가 60m 이하이면 preemption 전략을 적용해야 한다고 권장하고 있으며, Marshall과 Berg는 거시적 교통류 모형을 이용해 철도건널목과 교차로 사이의 거리가 60m 이상이라도 교차로에 의한 대기행렬이 철도건널목까지 접근하면 preemption은 적용되어야 한다고 제안하고 있어 철도건널목과 교차로와의 거리에 관계없이 교차로에 의한 대기행렬이 철도건널목까지 접근하는 경우가 발생할 수 있으면 preemption을 적용하는 것이 타당하다[8-11]. 따라서, 국내 철도 환경에 적합한 신호우선처리 알고리즘을 개발하고 인접교차로 연계신호장치 설계, 제작 및 현장시험설치를 통하여 건널목에 정체되는 차량의 해소에 대한 실효성을 검증한다.

6) 건널목 통합서버

건널목 지능화 시스템을 구성하는 각 서브시스템에 대한 상태정보 및 고장정보를 모니터링하며 실시간 정보현시장치 및 도로교통 신호제어장치에서 활용할 수 있도록 열차도착 예정시간을 산출한다.

3.2 철도건널목 지장물 영상감지장치

2장 철도건널목 사고현황에서 살펴본 바와 같이 철도 건널목 사고의 가장 큰 원인은 일단정지무시로서 차단기가 내려진 상태에서 진입한 건널목 상의 지장물의 유무를 정확히 판단하는 것은 사고 방지에 큰 역할을 하기 때문에 그 중요성이 크다. 본 절에서는 영상처리를 통해 지장물을 감지할 수 있는 영상감지 알고리즘을 제시하고 그 성능을 검증한다.

철도건널목 지장물 영상감지장치는 그림 4의 구성에서 지장물 감지 카메라, 영상분배기, 비디오서버, 네트워크 스위치, 지상용 무선 송수신 장치, 건널목 지장물 영상감지서버로 구성된다. 지장물 감지 카메라에서는 감지영역에 진입한 지장물(차량, 사람 등)의 진입 및 이동을 촬영하며 영상감지서버로 촬영된 영상을 전송한다. 지장물 감지 카메라에서 촬영되는 건널목 영상을 비디오서버에서 MPEG4 비디오 스트림으로 압축한 후, 지상용 무선 송수신 장치를 통하여 진입하는 열차의 차상장치로 전송한다. 영상감지서버에서는 영상을 분석하여 감지영역 내에 지장물의 존재 여부를 판단하고 감지 이벤트를 표출하고 감지된 정지영상을 감지서버의 데이터베이스에 저장한다. 영상감지서버에서 도출된 감지 이벤트를 지상용 무선 송수신 장치를 통해 진입하는 열차의 차상장치로 실시간 전송된다.

3.2.1 지장물 영상감지 알고리즘

현재, 영상을 이용하여 객체를 감지하는 방법은 크게 두 가지로 분류되어 사용되고 있다. 첫 번째 방법은 연속된 영상 프레임간의 시간적 차를 이용하여 영상 내에서 움직이는 물체를 감지하는 방법이며, 두 번째 방법은 다양한 알고리즘으로 모델링된 배경영상과 현재의 영상 프레임간의 차를 이용하는 것이다.

이 두 가지 방법은 장, 단점을 갖고 있는 동시에 서로 보완적인 관계를 지니고 있다. 연속된 영상 프레임간의 차 영상을 이용한 객체 감지는 움직이는 물체가 존재할 때 높은 성능을 나타내며, 날씨 변화나 주위 조명 등의 영향으로 나타나는 영상 내에서의 조도변화에 강한 특성을 나타낸다. 하지만 움직이던 물체가 정지하여 오랜 시간 동안 멈춰있을 때는 객체를 감지할 수 없는 치명적인 단점을 갖고 있다. 그리고 감지된 객체의 완전한 영역을 추출할 수 없는 단점을 갖고 있는데, 이는 감지된 객체의 모양, 면적, 픽셀밀도, 가로/세로 비율 등의 특징 정보에 대한 정확한 추출에 실패하게 되어 영상 분석의 성능을 감소시키는 요인이 된다. 배경영상 모델과 현재 영상간의 차 영상을 이용한 객체 감지 방법은 연속된 영상 프레임간의 차를 이용한 방법과 달리 이동 물체, 정지 물체를 모두 감지하는데 높은 성능을 갖고 있다. 또한, 감지된 객체에 대한 정확한 특징 정보를 추출할 수 있는 장점을 갖고 있다. 하지만 서서히 변화하는 조도변화에 대해서는 배경영상 모델링 알고리즘에 따라 장인한 특

성을 나타내지만 급작스런 조도 변화에 의한 오감지율이 높은 단점을 지니고 있다.

본 논문에서는 열차 진입시 건널목의 선로영역에서 차량, 사람 등의 객체가 움직이거나, 정지하고 있을 때 모두를 검지해내야 하는 특성상, 상기 두 가지 방법의 조합을 통해 문제점을 해결할 수 있는 지장물 영상검지 알고리즘을 제시한다. 객체 검지 방법은 이동 물체를 검출하기 위해 연속된 두 영상의 차를 구한 후, 적절한 임계값으로 이진화하여 이진 차영상을 얻는다. 이진 연속차영상은 물체의 움직임에너지를 나타내므로 이 영상을 통해 영상 내에 이동물체 유무를 판별하게 된다. 그리고 초기화된 배경영상 모델을 이용하여 현재 영상과 배경영상간의 차를 구한 후, 적절한 임계값으로 이진화하여 이진 배경차영상을 얻는다. 현재 영상과 배경 영상간의 차영상을 통하여 정지된 물체 유무를 판별한다. 마지막으로 이진 연속차영상과 이진 배경차영상에 대하여 적절한 픽셀잡음 제거연산과 픽셀단위의 논리연산을 통하여 최종적인 이동객체 영역과 정지객체 영역을 추출한다.

배경영상 모델링은 기존에 다양한 방법이 제시되었는데, 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 첫 번째는 가우시안 믹스처(Gaussian Mixture)의 확률모델을 이용한 방법, 두 번째는 픽셀단위로 IIR 필터방식을 이용한 평균화를 이용하는 방법이다. 확률 모델을 이용한 방법은 조도변화 등에 강한 특성을 나타내지만 픽셀 단위로 확률 프로세스를 처리해야하므로 계산량이 많다는 단점을 갖고 있다. 이에 비해 IIR 필터방식을 통한 배경영상 모델링 방법은 계산량 대비 성능이 높은 장점을 지니고 있다. 따라서, 본 논문에서는 앞서 검지된 이동, 정지물체 영역을 제외한 영역만을 픽셀단위로 IIR필터 방식에 의한 누적 평균화함으로써 계속해서 배경영상을 모델링하는 방법을 선택하여 사용한다. 이는 실시간 영상 처리 방법으로 빠른 사고대처를 해야 하는 철도건널목에서의 사고피해 저감기술에 적합하다.

그러나, 확률모델을 사용한 방법에 비해 외부환경에 의한 오감지율이 증가할 수 있는 단점이 있으며, 이를 보완하기 위해 건널목에서의 단순한 영상 검지 방법을 개선하여 1차로 검지된 지장물에 대하여 객체 추적을 수행함으로써 영상 내에서의 객체의 이동궤적을 분석한다. 이동궤적 분석을 통하여 1차 검지된 객체 중에 조도변화나 그림자 등으로 나타난 잡음성분을 제거하여 배경영상 모델 업데이트의 성능을 개선한다. 이를 위해, 우선 검지된 객체를 계속해서 추적하는 기술을 적용해야 한다. 본 논문에서는 객체 추적을 위하여 검지된 객체를 모델링하는데 필요한 특징 정보들을 추출한다. 이러한 특징 정보로 객체의 모양, 면적, 크기, 픽셀 밀도, 가로/세로 비율, 위치, 이동속도, 색상정보 등을 계산한다. 추출된 특징 정보를 이용하여 현재 검지된 객체들 사이의 최대유사도를 계산함으로써 연속적으로 각 추적 객체의 이동궤적을 산출한다. 또한 본 연구 과제에 적합하도록 계산량을 감소시키기 위해 현재 검지된 모든 객체들을 비교하지 않고 전 영상에서 산출된 이동속도를 이용하여 객체의 예상 위치영역을 예측하고 이 영역 내에 포함된 객체에 대해서만 최대 유사도를 계산하는 방식으로 계산량을 줄인다. 최종적으로 이동궤적 분석을 통해 검지된 최종 객체가 건널목 영역 내에 존재하는지를 판단하며, 만약 열차가 진입 시

추적 객체가 건널목 영역에 존재한다면(건널목의 선로영역에서 이동하거나 정지했을 경우) 위험 경보를 발생하도록 한다. 이러한 절차를 그림 5에 도식화하였다.

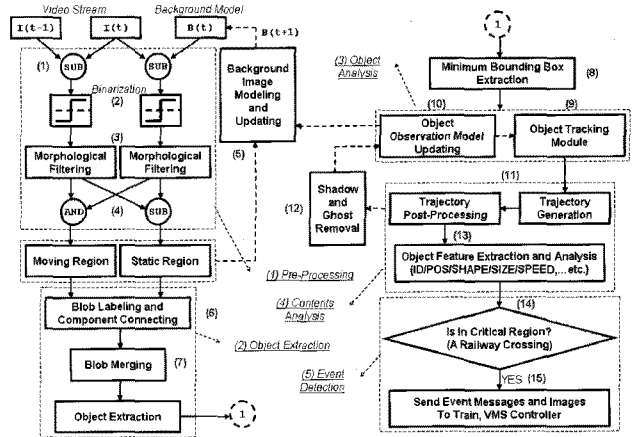


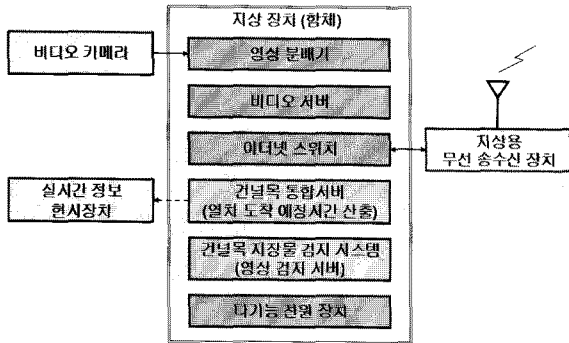
그림 5 지장물 영상검지 알고리즘
Fig. 5 Video-based obstacle detection algorithm

그림 5의 지장물 영상검지 알고리즘에서 정보처리의 흐름을 상세히 설명하면 다음과 같다.

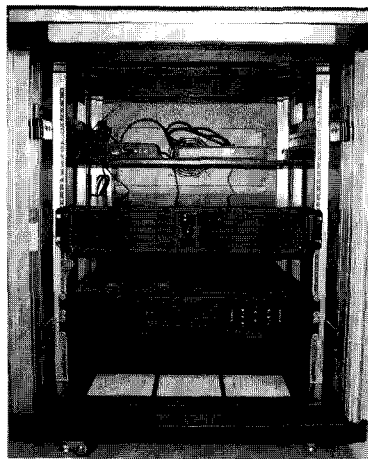
- (1) 현재 영상과 이전 영상간, 현재 영상과 배경영상간의 차연산
- (2) 차영상의 이진화
- (3) 이진 차영상의 형태학적 필터링 : 임의의 마스크를 이용하여 잡음 제거
- (4) 이동물체 및 정지물체 영역 추출
- (5) 배경영상 모델 추출 및 업데이트
- (6) 영역 레이블링 및 성분 연결
- (7) 영역 정합(Merging) : 각 영역간 거리, 면적 조건을 이용한 결합 및 분리
- (8) 추출 결과로 얻은 각 관심객체의 특징점 추출
- (9) 객체 추적 : 추출된 특징점을 이용하여 위치 예측, 예측된 위치에서의 특징점에 대한 실측 데이터 수집, 최종적으로 예측/실측 데이터를 이용한 템플릿 비교연산을 통하여 객체별 추적
- (10) 객체 템플릿(Template) 모델 업데이트
- (11) 객체의 이동 궤적 추출 : 추적된 각 객체의 이동 궤적(이동 거리 및 속도) 추출
- (12) 추출한 이동 궤적을 이용하여 그림자, 빛의 반사 등에 의해 발생된 잡음과 구별
- (13) 객체 분류 : 추적 결과로 얻은 객체에 대한 특징점을 분석하여 사람, 자동차, 객체로 분류
- (14) 위험 상태 분석 : 객체의 위치 및 무게 중심 등의 정보를 이용하여 검지(위험)지역 내에 존재 유무 판단
- (15) 이벤트 발생 : 위험 상태 분석 결과에 대하여 검지영상을 데이터베이스에 저장, 검지 이벤트를 진입하는 열차의 차상장치로 전달

4. 지장물 영상검지장치 시제품 및 성능 검증

영상검지장치 시제품은 그림 6과 같이 구성하며, 건널목을 촬영한 실시간 영상을 영상 분배기 및 비디오 서버를 통하여 전송받아 검지지역 내의 지장물 존재 유무를 분석 및 판단한 후, 지장물 존재시 검지 이벤트를 발생시키고 그 검지 영상과 이벤트 내용을 지상용 무선 송수신 장치를 통해 진입하는 열차의 차상장치로 전송하는 기능을 담당하도록 설계하였다.



(a)



(b)

그림 6 영상검지장치 시제품 : (a) 블록도, (b) 사진

Fig. 6 Prototype of video-based detection equipment : (a) block diagram, (b) picture

4.1 개발된 영상검지 알고리즘의 통합 및 검증

앞에서 기술된 철도 건널목 지장물 영상검지장치 개발을 위한 제반 영상검지 알고리즘의 통합 작업을 수행하였다. 통합된 개발 알고리즘은 이전 영상과의 차 및 이전 영상화 단계, 배경 영상과의 차 및 이전 영상화 단계의 결과를 일련의 논리 연산을 통한 이동물체 및 정지물체 영역 추출 알고리즘, 정확한 관심객체 추출을 위한 형태학적 필터링, 영역 레이블링 및 영역 정합, 다중영역 분할을 이용한 수평/수직 방향 투영을 통한 관심객체의 최소 경계영역 추출 알고리즘, 배경영상으로부터 관심객체를 추출하는데 기준이 되는 배경영상 모델의 추출 및 업데이트 알고리즘 그리고 실시간 이

동물체 추적을 위한 다중 이동물체 및 정지물체 영역에서의 특징점 집합 추출, 이동물체 모델 추출 및 실시간 템플릿 모델 수정 알고리즘, 최종적으로 검지된 관심객체간의 구별 및 추적 수행을 위한 실시간 이동물체 모델 정합 알고리즘이다.

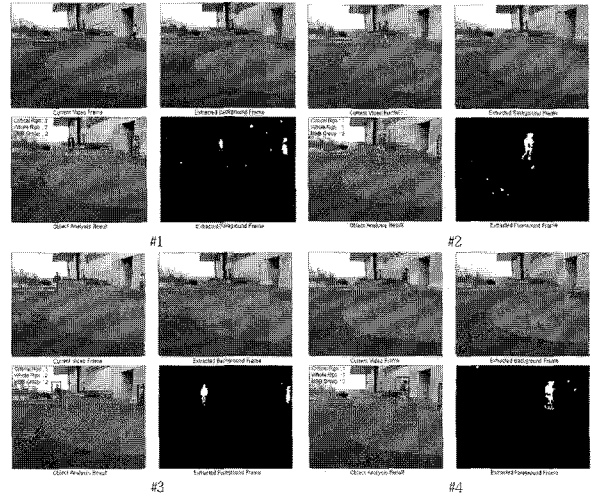


그림 7 통합된 알고리즘의 단계별 결과 영상

Fig. 7 Gradual video processing results of integrated algorithm

그림 7은 통합된 개발 알고리즘의 검증하기 위해 수행된 실험을 통해 얻은 주요 단계별 결과를 도시한 것으로 개발 알고리즘이 정확하게 수행됨을 확인할 수 있다. 각 프레임은 네 가지의 단계별 결과 영상으로 구성된다. 첫 번째는 입력되는 현재 프레임의 영상이다(좌상). 두 번째는 실시간으로 수정 및 업데이트되는 배경영상 모델이다(우상). 세 번째는 현재 프레임의 영상으로부터 기준이 되는 배경영상 모델과 이전 프레임의 영상을 이용하여 추출된 이동물체 및 정지물체 영역이다(좌하). 네 번째는 영상검지 최종 단계의 결과로 검지된 이동물체 및 정지물체를 표시하고 검지(위험)지역 내에 관심객체의 존재 유무를 나타낸 영상이다(우하). 그리고 검지(위험)지역 내에 이동물체가 검지되었을 경우 검지 객체를 표시하는 청색 사각형이 적색 사각형으로 바뀌고 검지지역을 표시하는 녹색 무늬가 적색 무늬로 변화되어 표출된다. 그리고 각 관심객체의 이동 궤적이 녹색 실선으로 표출되고 예측된 객체의 이동 범위가 백색 점선으로 표출된다.

4.2 보행자 검지 실험

본 연구에서 개발한 영상검지장치를 다양한 조건에서 실험을 수행하였다. 먼저 객체가 사람인 경우를 가정하여 개발 알고리즘을 검증하였다. 실험 수행 절차는 총 세 단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 위험지역이라고 판단된 곳을 검지 영역으로 설정한다. 두 번째 단계는 카메라 화각 내에서 검지하고자 하는 관심객체의 심도별 크기를 설정한다. 심도 영역은 검지 카메라로부터의 거리를 기준으로 근거리 세 구간, 원거리 두 구간으로 가상적으로 설정한 영역이며, 각 영역별 검지하고자 하는 관심객체의 최대/최소 크기, 가로/세

로 비율의 평균과 표준편차, 픽셀 밀도 등의 조건을 설정한다. 마지막으로 영상검지를 수행하여 그 결과를 실시간으로 갱신되는 이벤트 영상으로 확인한다. 검지 객체가 보행자인 경우의 결과를 그림 8에서 확인할 수 있다(#2~#7).

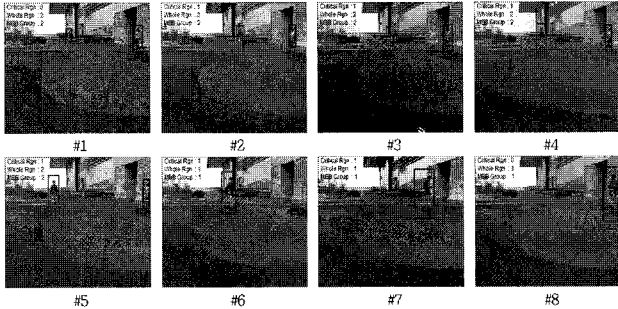


그림 8 영상검지 개발 알고리즘의 검증 결과 (보행자)
Fig. 8 Verification results of video-based detection algorithm (pedestrian)

4.3 차량 검지 실험

다음은 객체가 차량인 경우를 가정하여 개발 알고리즘을 검증하였다. 차량 검지 실험은 두 가지 조건에 대하여 수행하였다. 첫 번째 조건은 검지 영역을 자동차가 통과하는 경우이고, 두 번째 조건은 두 차량이 서로 교차해서 검지 영역을 통과하는 경우이다. 두 가지 조건의 실험 결과가 건물목 지장물 영상검지장치 개발 목표를 모두 만족함을 확인할 수 있다. 그림 9는 첫 번째 조건 하에 수행된 실험의 결과를 도시한 것이다. 이는 건물목에서의 차량 등의 지장물 영상검지의 기본적인 기능을 검증한 것이다. 검지 영역 내에서 차량이 검지되었을 경우가 해당 차량의 청색 상자가 적색으로, 녹색 무늬의 검지 영역이 적색 무늬로 변화된 시점이다 (#3~#6).

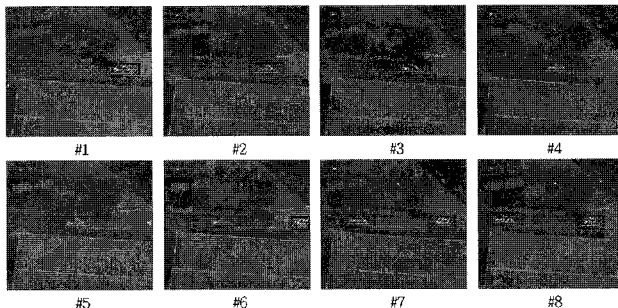


그림 9 영상검지 개발 알고리즘의 검증 결과 (차량, 첫 번째 조건)
Fig. 9 Verification results of video-based detection algorithm : first condition (vehicle)

그림 10은 두 번째 조건하에서 수행된 실험 결과를 나타낸 것이다. 이는 반대방향으로 진행하는 두 차량이 서로 교차해서 검지 영역을 통과하는 경우에 본 연구에서 개발한 영상검지 알고리즘 중 실시간 이동물체 추적 모듈의 성능을 검증한 것이다. #7~#9는 두 차량이 검지 영역 부근에서 서로 근접했을 때의 검지 결과를 나타낸 것이다. #10~#12는

두 차량이 검지 영역 부근에서 근접하여 교차했을 때의 검지 결과를 나타낸 것이다. #13~#16의 결과 영상에서 두 차량의 이동 궤적(녹색 실선)을 통하여 이동물체 추적 모듈이 성공적으로 수행됨을 확인할 수 있다. 즉, 교차 전의 각 차량 이동 궤적의 진행 방향이 교차 후에 반대 방향으로 바뀌지 않고 정확히 추출됨을 확인할 수 있다. 모든 실험 결과에서 영상검지 개발 알고리즘이 성공적으로 수행됨을 확인할 수 있다.

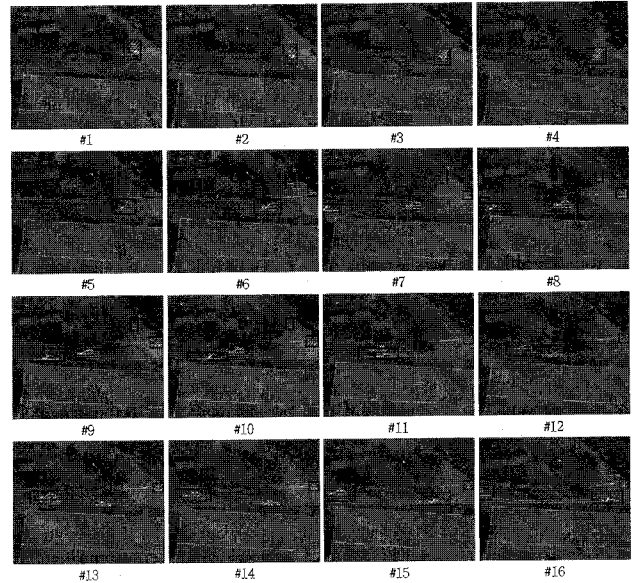


그림 10 영상검지 개발 알고리즘의 검증 결과 (차량, 두 번째 조건)
Fig. 10 Verification results of video-based detection algorithm : second condition (vehicle)

5. 결 론

철도사고의 90%를 차지하는 건물목사고의 개선은 철도안전의 중요한 부분임에도 불구하고 지금까지 구축된 1,400여 개의 철도건널목은 사고를 유발할 수 있는 요소들에 대한 충분한 고려 없이 열차 위주의 설계 및 운영에 치중되어 왔으며, 이용자를 고려한 설계가 부족한 실정이었다.

본 논문에서 철도건널목 사고현황을 조사하여 사고원인을 분석하고 현재 건물목에 안전사고를 방지하기 위해 설치된 건물목 보안장치 현황 및 문제점을 분석하였다. 이에 대한 보완대책으로 도로측의 실시간 건물목 정보현시장치 설계 및 인접교차로 연계신호방안 등의 건물목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감기술을 제안하였고 특히, 레이저방식의 지장물검지장치의 문제점을 보완한 지장물 영상검지방안에 대한 알고리즘을 개발하고 및 그 성능을 검증하였다. 또한, 계산량이 적은 배경영상 모델링 방법을 사용하여 나타나는 단점을 객체 추적, 이동체적 분석 등의 후처리를 통해 보완함으로써 기존의 단순 지장물 영상 검지 방법에 비해 높은 성능을 얻을 뿐만 아니라, 철도건널목 사고피해저감 기술에서 요구되는 빠른 사고대처를 위한 실시간 영상 분석기술을 개발하였다.

향후, 추적 객체에 대한 모델링 및 추적 알고리즘을 개선하여 보다 정확한 이동궤적 분석을 수행함으로써 오검지율을 최대한 감소시키는 연구를 진행할 예정이다. 또한, 건널목지능화시스템을 구성하는 각 장치별 시작품제작 및 현장 설치시험을 통해 실효성을 검증하고 기존 시스템들과의 비교분석한 결과를 토대로 경제성 분석이 필요하다.

본 연구가 성공적으로 진행되면, 사고가 다발적으로 일어나는 철도건널목 개선에 기존의 건널목 보안설비에 추가하여 건널목사고를 줄이는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 코레일 전기기술단, "2005년~2007년간 철도사고 및 운행장애 발생현황", 2008. 6
- [2] 한국철도공사, "2006년 신호업무자료 제22호", 2006. 5
- [3] 한국교통연구원, 철도건널목 안전관리시스템 개발, 2004
- [4] J. Oh and J. Lednard, "Vehicle Detection Using Video Image Processing System (VIPS): Evaluation of PEEK Vidio Trak, the ASCE Journal of Transportation Engineering, July/August, pp.462~465, 2003
- [5] K. W. Heathington, D. B. Fambro, S. H. Richards, "Field Evaluation Of a Four-Quadrant Gate System For Use at Railroad-Highway Grade Crossings," Transportation Research Board, vol.1244, 1989.
- [6] F. Coleman and Y. J. Moon, "Design of Gate Delay and Gate Interval Time for Four-Quadrant Gate System at Railroad-Highway Grade Crossings," Journal of the Transportation Research Board, vol. 1553, pp. 124~131, 1996.
- [7] 류상환, 조봉관 외 "철도건널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감 기술개발", 한국철도기술연구원 연구보고서, 2007.8.
- [8] Federal Highway Administration, "Manual on Uniform Traffic Control Devices", 2000.
- [9] AAR(The Association of American Railroads' Signal Manual)
- [10] U. S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, "Highway-Rail Intersection Architecture".
- [11] Federal Highway Administration, "Railroad-Highway Grade Crossing Handbook. Technology Sharing Report No. FHWA-TS-78-214", August 1978.

저 자 소 개



조 봉 관 (曹 烽 管)

1969년 1월 21일생. 1992년 대구대학교 전자공학과 졸업. 1995년 일본 게이오대학교 계측공학과 졸업(공학석사). 2005년 한양대학교 전자통신전파공학과(박사수료). 1996년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원

Tel : 031-460-5439

Fax : 031-460-5749

E-mail : bkcho@krri.re.kr



류 상 환 (柳 祥 桓)

1963년 10월 9일생. 1985년 아주대학교 전자공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2007년 성균관대학교 정보통신공학부(박사수료). 1997년~현재 한국철도기술연구원 책임연구원

Tel : 031-460-5435

Fax : 031-460-5749

E-mail : shryu@krri.re.kr



황 현 절 (黃 鉉 喆)

1972년 2월 1일생. 1997년 인하대학교 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2006년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 2006년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원

Tel : 031-460-5747

Fax : 031-460-5749

E-mail : solbaram@paran.com



정 재 일 (鄭 在 一)

1959년 1월 14일생. 1981년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1984년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 프랑스 국립전기통신대학교 ENST 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 1997년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수

Tel : 02-2220-0352

Fax : 02-2282-4497

E-mail : jijung@hanyang.ac.kr