

무가선 트램의 주행안전성 향상을 위한 선로인식기반 충돌 판단 시스템

A collision risk assessment system based on rail detection for the enhancement of tram driving safety

박승진*, 정상우**, 이민철**, 선우명호** †

Seungjin Park *, Sangwoo Jeong **, Minchul Lee **, Myoungho Sunwoo **†

Abstract Unlike general trains, a wireless tram's driving environment carries the risk of people or vehicles suddenly entering into its rails. Previous systems for trams detected objects using radar. However, radar-based collision risk assessment systems were found to have several disadvantages. For instance, low-cost radar systems cannot detect people and have difficulty in estimating lateral motion. To overcome such issues, this paper will propose a camera and laser scanner convergence-based collision risk assessment system. The proposed system consists of a monocular camera-based rail detection module and a detected rail and object-based behavior recognition module. The applicability of this system was evaluated based on logged sensor data-based simulations. The proposed system in this paper effectively detects rails by removing lanes from its detection range and assesses the collision risk efficiently through the prediction of collisional objects.

Keywords : TRAM, Driving safety, Rail detection, HMM, Collision risk assessment

초 록 트램은 일반철도와는 달리 선로상에 보행자와 같은 돌발 장애물이 나타날 수 있는 주행 환경을 가진다. 기존에 개발되고 있는 레이더 기반 충돌 판단 시스템의 경우 센서 특성상 사람을 인식하기 어렵고 횡 방향 운동 추정에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 이 연구에서는 카메라와 레이저스캐너의 융합정보 기반 충돌 판단 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 단안 카메라 기반 선로 인식 부분 및 인식 정보와 레이저스캐너 기반 충돌가능물체 거동 예측 부분으로 구성된다. 해당 시스템은 실제 트램이 주행환경에서 취득한 데이터 기반으로 검증 되었다. 본 연구에서 제안한 선로 인식 부분은 선로에 인식에 적합한 필터를 설계해 보다 강건한 선로 인식을 할 수 있으며 충돌가능물체에 대한 예측을 통하여 효율적인 충돌 판단을 가능하게 하였다.

주요어: 무가선 TRAM, 주행안전시스템, 선로인식, HMM, 충돌 판단

1. 서 론

일반 철도의 주행 선로내 차량 및 보행자 등의 돌발 장애물이 진입할 수 없는 반면 트램은 차량 및 보행자가 선로 위에 진입 가능한 주행 환경을 가진다. 이러한 돌발

† 교신저자: 한양대학교 미래자동차공학과 (msunwoo@hanyang.ac.kr)

* 한양대학교 자동차전자제어공학과

** 한양대학교 미래자동차공학과

장애물을 운전자가 인지하지 못하는 경우 충돌 사고로 이어진다. 트램을 상용하고 있는 프랑스의 통계에 따르면 2010년 발생한 트램의 충돌 사고 중 72%가 운전자가 예측하지 못한 장애물에 의해 발생하였다. 이러한 운전자가 인지하지 못한 돌발 장애물로부터 주행 안전성을 확보하기 위해서는 돌발 장애물에 의한 충돌을 가능성을 예측하고 알림을 주는 주행 보조 시스템이 필요하다.[1]

국제 철도 저널에 따르면 실제 트램을 운행하고 있는 독일, 프랑스, 호주에서는 선로 상의 충돌 사고를 방지하기 위한 시스템의 장착이 의무화 되어 있다. 이에 따라 Bosch사는 레이더와 스테레오 카메라 기반의 충돌 판단 시스템을 개발하여 상용화 하고 있다. 하지만 물체 인식에 사용되는 레이더 센서는 특성상 선로를 횡단하는 사람에 대한 인식이 어렵다.[2] 첫째로 상용 레이더는 종 방향 운동에 대해서는 추적이 용이한 반면 횡 방향 운동에 대해서는 부정확한 정보를 제공한다. 또한, 전자기파의 반사율을 통해 물체를 검출하기 때문에 상대적으로 반사율이 작은 사람과 반사율이 높은 금속 선로가 같이 있을 경우 두 물체를 구분하기 어렵다.[3]

이러한 횡 방향 물체 인식의 어려움과 사람 검출의 한계를 극복하기 위해 이 연구에서는 단안 카메라 기반의 선로 검출과 레이저스캐너를 통한 물체 인식 및 확률 모델을 통해 충돌 가능한 물체의 경로를 예측하는 통합적인 충돌 판단 시스템을 제안한다.

2. 선로 인식 기반 충돌 판단 시스템

2.1 시스템 구조

주행 선로 기반 충돌 판단 시스템은 Fig. 1과 같이 일반적으로 선로 인식 및 물체 경로 예측 그리고 위험도 판단 세 단계로 구성된다.[4] 이 세 단계 중 검출된 물체의 움직임 예측 정확도가 충돌 위험도 판단 성능에 영향을 미친다.[5, 6] 이 논문에서는 충돌 판단에 주로 영향을 미치는 인식된 물체의 경로를 예측하는 단계까지의 내용을 다룬다. 선로를 인식하는 단계에서는 차선 등의 주변 환경에 의하여 발생하는 오검출을 제거할 수 있는 필터를 설계하여 검출된 선로 정보와 레이저스캐너를 이용하여 선로 근방에 있는 물체를 식별한다.

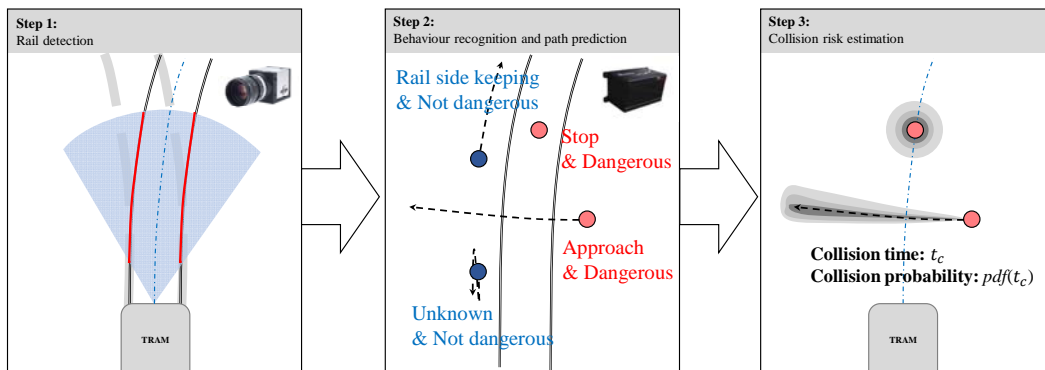


Fig. 1 System architecture of rail detection based collision risk assessment of TRAM

식별된 물체는 hidden markov model(HMM)을 사용하여 움직임을 판단하고 선로 형상을 기반으로 이동경로를 예측한다.

2.2 선로 인식

선로 인식을 위해 먼저 카메라 이미지로부터 선로에 해당하는 특징점들을 추출한다. 또한 추출된 특징점들을 수학적 모델로 표현하고 해당 수식의 파라미터들을 추적하여 신뢰도를 높이는 단계로 구성된다.

선로는 두께 및 형태가 일정하며 좌우 선로 사이의 폭이 미리 정의되어 있다. 따라서 이러한 선로의 특성을 반영한 matched filter를 Fig. 2와 같이 설계하여 특징점들을 추출한다.[7] 기존의 엣지 기반 특징점 추출법과 달리 본 필터를 이용하면 차선 등의 선로가 아닌 외부 환경에 의한 오검출 없이 선로의 중앙선을 추출할 수 있다.[8-11]

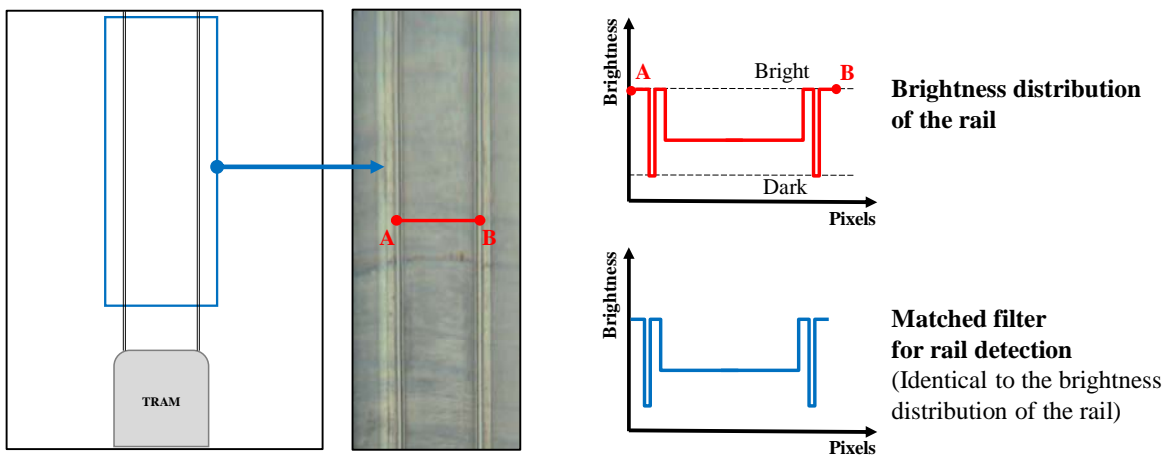


Fig. 2 Matched filter by considering the rail shape

추출된 특징점 정보를 기반으로 RANSAC과 최소자승법을 이용하여 선로의 중심선을 (1)와 같이 2차 다항식으로 표현한다. 또한 각 파라미터들을 칼만 필터 기반으로 추적하여 선로 추출의 신뢰성을 높였다.

$$y_{center} = a_{center}x^3 + b_{center}x^2 + c_{center} \quad (1)$$

2.3 충돌 물체 인식

충돌 물체 인식은 Fig. 3과 같이 3단계로 구성되어 있다. 선로 근방에 있는 물체들에 대해서 주로 충돌이 일어나므로 앞서 추정된 선로 정보를 이용하여 레이저스캐너로 얻어지는 물체 정보 중 충돌 가능성이 있는 물체를 선별한다. 그 후 선별된 물체의 행동패턴을 hidden Markov model(HMM)을 이용하여 확률적으로 인지하고 움직임을 예측한다.[12]

차량과 사람간의 충돌 예측을 위해 행동 패턴은 선로 부근에서 사람이 취할 수 있는 행동인 정지, 선로 접근, 그리고 불규칙 거동으로 정의하였다. 앞서 정의한 행동패턴 판단을 위해 Table 1과 같이 HMM에는 선로 중심선부터의 거리 정보와 물체의 속도 정보를 이용한다.

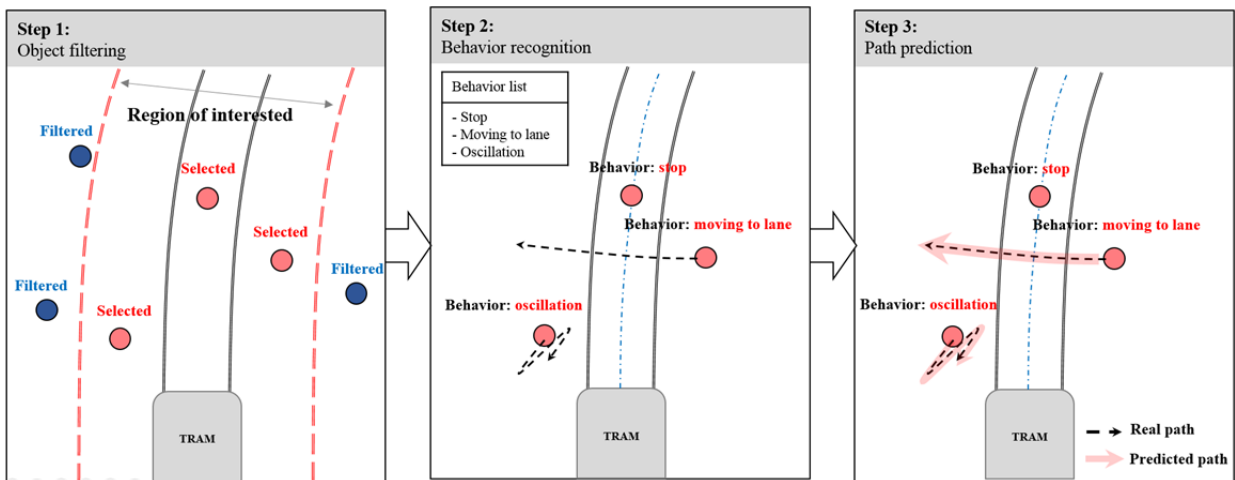


Fig. 3 Recognition process of objects with collision risk

Table 1 Input and output definition for HMM

Input	Output
Distance to rail centerline	Occurrence probabilities for behaviors
Object velocity information	

3. 실험 결과

제안된 시스템의 선로 인식 알고리즘과 사람 검출 및 행동 판단 알고리즘을 검증하기 위해 사람이 선로 내 정지한 상황과 횡단하는 상황에서 인지 성능을 평가하였다. 선로 검출을 위한 이미지는 basler acA2000-165uc 카메라 통해 얻었으며 물체 정보는 Ibeo Lux 4L 레이저스캐너를 통해 얻었다. 해당 데이터는 한국철도기술연구원 내 무가선 시험로에서 취득되었다.

(a) (b) (c) (d)

Fig. 4 Rail detection result: (a) Source image, (b) Feature extraction result (edge),

(c) Feature extraction result (proposed filter), (d) Curve fitting

앞서 언급한 바와 같이 트램의 주행 환경 특성상 Fig. 4-(a)처럼 선로와 차선이 공존한다. 이 때 기존의 엣지 기반 특징점 추출 알고리즘을 이용하면 Fig. 4-(b)와 같이 선로뿐만 아니라 차선 등의 선로 외 부분에서도 특징점이 다수 검출된다. 반면 제안한 시스템 내 matched filter를 이용하면 Fig. 4-(c)와 같이 선로의 중앙선만 추출된다. 이후 Fig. 4-(d)와 같이 특징점들에 선로 모델링 및 추적 알고리즘을 적용해 선로의 2차 다항식 모델을 획득하였다.

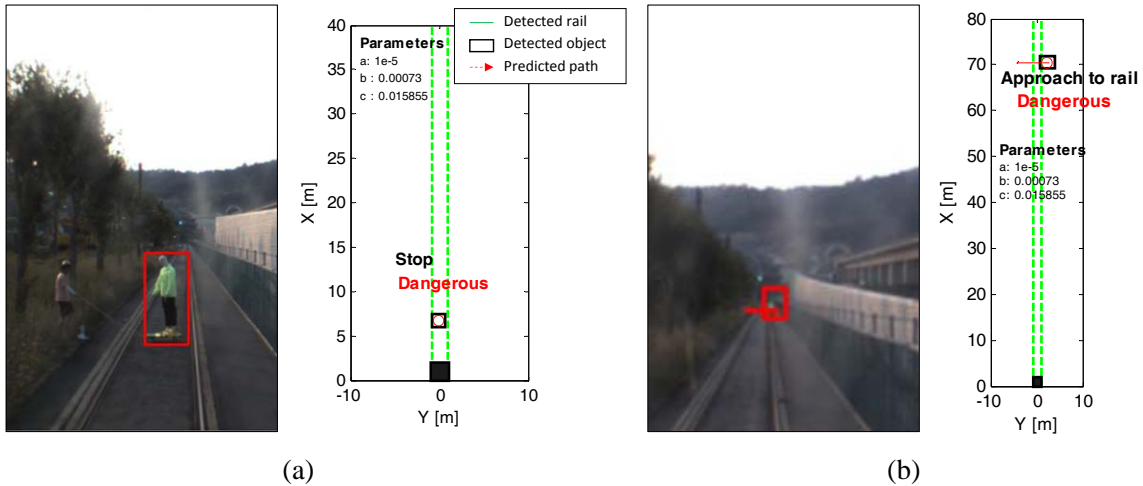


Fig. 5 Behavior recognition result: (a) stopped object in rail, (b) Approaching object to rail

행동 판단 알고리즘을 검증하기 위해 사람이 선로 내 정지한 경우와 선로를 횡단하는 경우에 각각 행동 판단 결과를 바탕으로 인지 성능을 평가하였다. 선로 내에 정지해 있는 경우 HMM을 통해 검출된 물체를 정지상태로 인식하였다. 사람이 선로를 횡단하는 경우 선로 밖 장애물들을 인식된 선로 기반으로 필터링하고 위험 판단 대상만을 검출하였다. 검출된 대상의 위치 및 속도를 기반으로 HMM을 통해 사람의 행동을 선로 접근 상태로 인식 및 경로를 예측하였다.

4. 결론

이 논문에서는 기존의 radar기반 충돌 판단 시스템이 가지고 있는 문제점을 개선하기 위해 개선된 충돌 판단 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 실제 주행환경기반으로 검증되었으며 다음과 같은 상황에서 장점을 가진다. Radar가 인지하기 어려운 급속 선로 근처의 사람에 대한 인식 및 횡 방향 거동에 대한 인식 성능을 개선할 수 있다. 또한 선로 검출을 위한 필터 설계를 통해 선로 인식 성능을 향상 시켰다. 마지막으로 hidden markov model(HMM)을 이용하여 확률적으로 물체의 거동을 예측하고 효율적인 충돌 판단을 가능하게 한다.

이 논문에서 제시한 구조를 바탕으로 향후 다양한 시나리오에서 시스템을 검증하고 실제 차량에 적용하여 운전자가 인지하지 못한 경우 물체를 인식하고 긴급 제동할 수 있는 주행 안전 시스템을 구현하고자 한다.

Acknowledgement

이 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 “무가선 저상트램 실용화 기술 개발” (15RTRP-B067379-03) 과제의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이 연구는 교육부의 BK21플러스사업(22A20130000045)의 일환으로 수행되었습니다. 이 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발 사업의 일환으로 수행된 연구결과입니다.(No. 10042633). 본 연구는 지식경제부 에너지자원기술개발사업의 일환(2006ETR11P091C)으로 수행 되었습니다. 이 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업 (10060068, “바디도메인을 위한 차세대 E/E 아키텍처 및 통합제어모듈 개발”)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Desai A., et al., (2010) "Intelligent Transport System to Improve Safety at Road-Rail Crossings," in *11th World Level Crossing Symposium*, ed.
- [2] Amditis A., et al., (2005) "Fusion of infrared vision and radar for estimating the lateral dynamics of obstacles," *Information Fusion*, vol. 6, pp. 129-141,
- [3] Lages U., et al., (2013) "Collision avoidance system for trams using laserscanners," in *20th ITS World Congress*, ed.
- [4] Katz R. and R. Schulz, (2013) "Towards the development of a laserscanner-based collision avoidance system for trams," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*, ed: IEEE, pp. 725-729.
- [5] Laugier C., et al., (2011) "Probabilistic analysis of dynamic scenes and collision risks assessment to improve driving safety," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 3, pp. 4-19,
- [6] Aköz Ö. and M. E. Karşligil, (2014) "Traffic event classification at intersections based on the severity of abnormality," *Machine vision and applications*, vol. 25, pp. 613-632,
- [7] Sangwoo J., et al., (2016) "A vision-based dashed lane marker modeling algorithm for correcting longitudinal vehicle position errors in map-matching based localization systems," presented at the FISITA 2016.
- [8] Maire F. and A. Bigdeli, (2010) "Obstacle-free range determination for rail track maintenance vehicles," in *11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2010*, ed, pp. 2172-2178.
- [9] Maire F., (2007) "Vision based anti-Collision system for rail track maintenance vehicles," in *2007 IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2007 Proceedings*, ed, pp. 170-175.
- [10] Ross R., (2010) "Vision-based track estimation and turnout detection using recursive estimation," in *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on*, ed: IEEE, pp. 1330-1335.
- [11] Gschwandtner M., et al., (2010) "Track detection for autonomous trains," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* vol. 6455 LNCS, ed, pp. 19-28.
- [12] Tang B., et al., (2015) "Turn prediction at generalized intersections," in *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, ed: IEEE, pp. 1399-1404.