

열차자율주행을 위한 다종 인프라 이상상태 상황인지 및 판단 프레임워크 설계

김진평*, 안태기*, 김진호*, 윤희택^o

A Design of framework for Abnormal State of Heterogeneous Infrastructure Context-Awareness and Decision to Autonomous Train

Jin-pyung Kim*, Tae-ki An*, Jin-ho Kim*, Hee-taek Yoon^o

요약

열차자율주행은 주행환경, 주행속도, 주행안정성 등 현재 활발히 연구되어지고 있는 도로자율주행과 상이한 환경이다. 열차자율주행의 현실적인 구현을 위해서는 철도안전의 효율적 대처를 위한 철도시설물 모니터링 체계를 구축하고 철도 안전의 실질적 예방과 신속한 대응이 가능한 철도 인프라 정보기반의 열차자율주행 플랫폼이 요구된다. 제안 네트워크망의 설계를 위해 철도 환경의 센서종류에 대한 조사를 수행하였으며 다양한 운전취급규정의 이상기후 운전세칙을 분석하였다.

키워드 : 다종인프라, 상황인지 및 판단, 인지판단 프레임워크, T2X, 열차자율주행

Key Words : multi-infrastructure, context-awareness and decision, context-awareness/decision framework, T2X, autonomous train

ABSTRACT

Autonomous railway is a different environment from road autonomous driving, which is currently being actively studied, including driving environment, driving speed, and driving stability. A railway autonomous navigation platform based on railway infrastructure information that can effectively prevent railway safety and fast respond is required.

1. 서론

세계적으로 인구의 도시집중화가 지속됨에 따라 광역 도시교통분야에서 수송력 향상은 주된 미래 전략적 목표 중 하나이다^[1]. 따라서 철도분야에서 수송력 향상을 위해 정해진 선로에 가능한 많은 편성의 열차

를 투입시킬 수 있으며 운전시격을 단축시킬 수 있는 새로운 열차제어 시스템이 요구되고 있다. 최근 선행 열차와 후행 열차 간, 열차와 인프라 간 직접통신을 통해 무인자동운행이 가능한 지능형 열차자율주행제어 기술개발의 필요성이 대두되고 있다^[2,3].

도로자율주행의 경우 센서 및 인지기술의 발전으로

※본 연구는 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(열차자율주행제어 핵심기술개발)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

♦ First Author : (ORCID:0000-0002-9192-721X)Korea Railroad Research Institute, jpkim@krri.re.kr, 정희원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-5901-009X)Korea Railroad Research Institute, htyoon@krri.re.kr, 정희원

* (ORCID:0000-0002-4549-5591, 0000-0002-6233-866X)Korea Railroad Research Institute, {tkahn, zimimpa}@krri.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2018-01-017, Received January 12, 2018; Revised April 27, 2018; Accepted May 2, 2018

차량의 자동화 단계가 향상되고 있으며 차량이 유·무선망을 통해 다른 차량 및 도로 등 인프라가 구축된 사물과 정보를 교환하기 위한 V2X기술의 개발을 통해 자율주행을 위한 주행환경이 향상되고 있다⁴⁾. 하지만 열차자율주행의 경우 도로자율주행의 차량과 주행환경 및 주행속도, 주행안전성 확보 등의 조건이 상이한 자율주행 시스템이 구축되어야 한다.

열차자율주행 시스템이란 지상제어시스템⁵⁾의 제어 명령에 의존하지 않고 지상인프라와 열차, 열차 간 상호협업을 통해 열차 스스로 안전한 주행을 수행하며 주행 중 자유로운 분리결합을 수행하며 이례상황 발생 시 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응이 가능한 시스템을 의미한다⁶⁾. 열차자율주행의 현실적인 구현을 위해서는 철도안전의 효율적 대처를 위한 철도시설물 모니터링 체계를 구축하고 철도 안전의 실질적 예방과 신속한 대응이 가능한 철도 인프라 정보기반의 열차자율주행 플랫폼이 요구된다.

이에 본 논문에서는 철도 인프라 정보 및 열차자율주행을 위한 다중 인프라 이상상태 상황인지 및 판단을 위한 프레임워크를 구성하였다. II장에서는 철도사고 분석 및 운행장애 분석을 통해 운행환경의 다중인프라 상황인지 대상을 선정하였으며 III장에서는 상황인지 및 판단시스템의 요구사항을 도출하였다. IV장에서는 다중인프라 상황인지 대상과 상황인지 및 판단시스템의 요구사항을 기반으로 T2X 상황인지 및 판단시스템 아키텍처를 설계하였다.

II. 열차자율주행을 위한 다중 인프라 상황인지 대상

본 논문에서는 열차의 자율주행을 위하여 자율주행 열차가 인지해야할 대상을 선정하기 위해 현재까지의 철도사고의 유형 및 운행장애 사례를 분석하였고⁷⁾ 현재 열차의 운행을 위해 인지되고 있는 인프라 센서 및 기후센서 등을 조사하였다. 또한 이를 바탕으로 열차가 자율적으로 주행하기 위해 인지되어야할 대상을 선정하였다.

2.1 철도사고 및 운행장애

2.1.1 철도사고

철도사고는 철도운영 또는 철도시설관리와 관련하여 발생한 사람의 사상 또는 물건의 손괴를 의미하며 철도교통사고 및 철도 안전사고로 구분한다. 철도교통사고는 열차사고, 건널목 사고, 사상사고로 구성되며

표 1과 같다.

- **열차사고**: 열차 또는 철도차량의 운행으로 발생된 사고
- **건널목 사고**: 건널목에서 열차 또는 철도차량과 도로를 통행하는 자동차(동력을 가진 모든 차량을 말한다)와 충돌하거나 접촉한 사고
- **사상사고**: 열차, 철도차량의 운행 또는 철도운영, 철도시설관리와 관련하여 여객, 공중, 직원이 1일 이상의 치료를 요하는 부상 또는 사망한 사고

기존의 운전자와 관제를 통한 열차운행의 경우 철도사고를 분석한 결과 차량충돌, 탈선, 화재와 같은 차량측면에서의 사고와 시설물 화재, 파손 등 시설물 측면에서의 사고가 주를 이룬다. 본 논문에서는 열차자율주행을 위해 선로장애, 급전장애 등 인프라 이상상태에 대해서 상황인지 대상에 포함하였다.

표 1. 철도사고 구분
Table 1. Classification of Railway accident.

| Accident Type | Contents | |
|-------------------------|----------------------------|------------------|
| Railway Accident | Train Accident | Train Crash |
| | | Train Derailment |
| | | Train Fire |
| | | Others |
| | Railroad Crossing Accident | |
| Casualty Accident | Passenger Casualty | |
| | Nonpassenger Casually | |
| Railway safety Accident | Railway Fire | |
| | Railway Facility Damage | |
| | Railway Safety Casualty | |
| | Others | |

2.1.2 운행장애

운행장애는 철도사고에 해당되지 않은 것으로 철도사고로 발전될 잠재적 가능성이 높고 열차운행이 지연된 경우를 의미한다. 위험사건 이외의 장애로서 고속열차 및 전동열차는 10분, 일반여객열차는 20분, 화물열차 및 기타열차는 40분 이상 지연시킨 것으로 해당열차 및 다른 열차의 운행을 중지하거나 지연시킨 경우도 포함된다. 지연시간에 대한 산정은 발생한 장애로 인하여 열차운행에 지장을 초래한 시간을 말하며, 운행도중 회복시간, 장애이외의 요인으로 인한 지연시간은 제외하였다.

표 2. 열차운행장애 구분
Table 2. Classification of Train Obstacle operation.

| Item | Contents |
|-----------------|--------------------------------------|
| Danger Incident | No Permit |
| | Wrong Revelation of Clear Signal |
| | Stop Sign Violation |
| | Out-of-Station Vehicle Rolling |
| | Train Operation Through Work section |
| | Derailment on Main Line |
| | Equipment Malfunction |
| | Train Malfunction |
| | Leak of Dangerous Things |
| | Others |
| Service Delay | Train Derailment |
| | Train Malfunction |
| | Train Fire |
| | Train Separation |
| | Vehicle Rolling |
| | Regulation Violation |
| | Railroad Obstacle |
| | Feeding Disorder |
| | Sign Obstacle |
| | Malfunction |
| | Train Disturbance |
| | PSD Obstacle |
| | Others |
| | Management fault |
| Disaster | |

2.2 열차운행장애 원인에 대한 분석

열차운행장애 통계자료^[8]를 통하여 발생원인 별 운행장애(지연) 발생현황을 분석하였다. 운행장애는 크

표 3. 발생원인에 따른 운행장애 발생현황
Table 3. Status Obstacle operation by cause of occurrence.

| | | 2015 | 2016 |
|------------------------------|----------|------|------|
| Installation Equipment Fault | Facility | 2 | 6 |
| | Sign | 21 | 17 |
| | Subway | 3 | 9 |
| | Train | 142 | 114 |
| | Others | 2 | 1 |
| External Factors | | 56 | 43 |
| Management Careless | | 20 | 29 |
| Others | | 4 | 14 |

게 시설장비결합, 외부요인, 취급(관리)부주의로 구성되며 시설장비결합은 시설, 신호, 전철, 차량으로 구분된다.

2016년 기준으로 국내철도의 운행장애 중 차량고장에 의해 약 50%정도의 높은 비율로 운행장애가 발생하였다. 인프라 측면에서 보면 시설장애는 2.6%, 신호장애는 7.2%, 급전장애는 약 6.3%, 선로장애는 약 1.7% 발생하였다. 그리고 18.5%의 비중으로 외부요인에 의한 운행장애를 발생시켰다.

2.3 인프라 인지센서 설치현황

현재 고속철도의 경우 인프라의 이상상태를 인지하기 위해 표 4에서와 같은 장치들이 구성되어있으나 지장물 검지장치 131개소, 기상검지장치 11개소, 레일온도검지장치 11개소, 터널경보장치 터널입구 4개소로 열차의 자율주행을 위해 주행구간에 대한 상황을 인지하기에 부족하다. 또한 열차운행장애 및 운행장애 통계에서 분석된 운행장애 요인에 대한 정보를 대부분 인지할 수 없는 상황이다. 도시철도의 경우 인프라 이상상태를 인지하기 위한 장치는 존재하지 않으며 기후변화에 대해서만 기관사의 목측 또는 관제실의 통보에 의해 운행되고 있다. 도시철도 또한 마찬가지로

표 4. 인프라 인지센서 설치현황
Table 4. Installation Status of Infrastructure Recognition Sensor.

| | High-Speed Railway | Urban Railway |
|----------|---|---|
| Facility | Detection system of impediment(ID) Dragging Detector(DD) Meteorological Detector Rail Temperature Detector Train approach warning system in tunnel Maintenance Crew Cross Railroad Device | N/A |
| Action | Notification of the controller and visual measurement | Strom : Notice of the Meteorological Administration Wetted Track : Eye measurement Fog or Havy snow : Notice from controller or Eye measurement Earthquake : Notice from controller by the Meteorological Administration |

가지로 열차운행장애 및 운행장애 통계에서 분석된 운행장애 요인에 대한 정보를 대부분 인지할 수 없는 상황이다.

2.4 다중 인프라 상황인지 대상

본 논문에서는 철도사고 및 운행장애, 열차운행장애, 인프라 인지센서 설치현황 등을 분석하여 차량의 상태를 제외한 다중 인프라의 상황을 인지하기 위한 대상을 표 5와 같이 선정하였다.

표 5. 다중인프라 상황인지 대상
Table 5. Target of Multiple Infrastructure Context Recognition.

| No. | Recognition Target |
|-----|----------------------------|
| 1 | Snowdrifts/Precipitation |
| 2 | Wind speed/direction |
| 3 | Obstruction |
| 4 | Flooding |
| 5 | Earthquake |
| 6 | Feeding Disturbance |
| 7 | Line Defect |
| 8 | Point-machine Failure |
| 9 | Platform Fire |
| 10 | Electric Equipment Failure |

III. 상황인지 및 판단시스템 요구사항

3.1 다중인프라 상황인지 시스템 요구사항

II장에서 선정한 다중인프라 상황인지 대상을 통해 상황인지 및 판단 프레임워크의 다중인프라 상황인지

표 6. 다중인프라 상황인지 요구사항
Table 6. Requirement of Multiple Infrastructure Context Recognition.

| Requirement Code ATCS-SSS-IFR- | Contents |
|-----------------------------------|---|
| REQ 0100 | Track incident and breakdown, aware of disaster information situation |
| REQ 0200 | Emergency situation on track |
| REQ 0210 | Obstacle |
| REQ 0211 | Obstacle(person, animal) Built-in beforehand detection device |
| ... | ... |
| REQ 0400 | Acquisition of infrastructure information from vehicles |

표 7. 시스템 요구사항
Table 7. System Requirement.

| Requirement Code ATCS-SSS-IFR- | Contents |
|-----------------------------------|--|
| SYS 0100 | H/W Device |
| SYS 0110 | Transfer monitoring device information |
| SYS 0120 | Sensor information acquisition device |
| SYS 0130 | Transfer control room information |
| ... | ... |
| SYS 0261 | RM I/F SW |

요구사항과 시스템 요구사항을 도출하였다.

IV. T2X 상황인지 및 판단시스템 아키텍처

본 절에서는 II, III절에서 정의된 열차자율주행을 위한 다중 인프라 상황인지 대상과 상황인지 및 판단 시스템 요구사항을 통해 T2X 상황인지 및 판단시스템의 아키텍처를 구성하였고 그림1과 같다. T2X 상황인지 및 판단시스템의 아키텍처는 모니터링 장치, 센서정보 수집장치, 인프라 상황인지 서버로 구성된다.

센서정보 수집장치는 개별 센서로부터 수신한 센서 정보들을 변환 가공하여 정해진 규격에 따라 인프라 상황인지 서버로 전송되며 모니터링 장치는 개별 센서의 형태와 무관하게 개별 통신을 통해 센서정보 수집장치에 수집된다. 인프라 상황인지 서버는 센서정보 수집장치에서 수신한 각 센서 정보 및 “기상청”, “관제실” 등에서 수신한 인프라 상황인지 정보를 수신하여 데이터베이스에 저장하고 이를 기반으로 각 선로 구간에 따른 구간속도를 산정하여 이를 데이터베이스

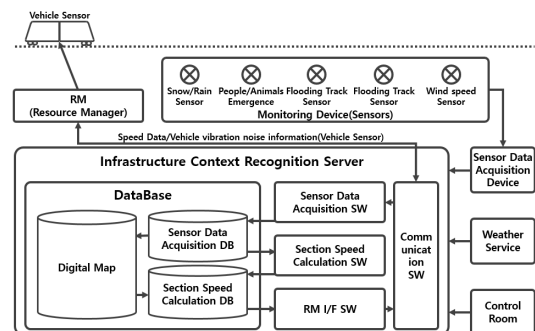


그림 1. 상황인지 및 판단시스템 아키텍처
Fig. 1. Architecture of context recognition and Decision systems

에 저장한다. 이 경우 각 선로 구간 정보는 디지털 맵 데이터베이스 정보를 기반으로 하며 디지털 맵 정보는 사전에 구축하고 시스템 기동시에 각 SW모듈이 메모리에 로드하여 모든 상황인지가 선로 기반으로 운영될 수 있도록 한다. 데이터베이스에 저장된 선로 별 구간속도는 RM I/F를 통하여 RM (Resource Management)에 열차의 제한속도를 전송한다.

V. 결 론

본 논문에서는 열차자율주행을 위한 다중 인프라 이상상태 상황인지 및 판단 프레임워크 구성을 위해 철도사고 분석 및 운행장에 분석을 통해 운행환경의 다중인프라 상황인지 대상을 선정하였으며 상황인지 및 판단시스템의 요구사항을 도출하였고 이를 통해 T2X 상황인지 및 판단시스템 아키텍처를 설계하였다. 제안한 열차자율주행을 위한 다중 인프라 이상상태 상황인지 및 판단 프레임워크는 향후 열차자율주행 제어시스템이 실제환경에 적용될 경우 운전시각의 향상과 함께 지상의 제어설비 절감에 따른 설비투자 및 유지보수비용 절감에 기여하는 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술을 개발할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 향후 CPS(Cyber Physical System)등의 시뮬레이션을 통해 다양한 인프라상황을 표현하여 정확성/안전성/효율성/확장성 등의 평가척도를 추가하여 제안방법을 정량적으로 평가 할 것이다.

References

[1] T. Parkinson and I. Fisher, *Rail Transit Capacity*, vol. 13, Transportation Research Board, 1996.

[2] S. C. Oh, et al., *Detail plan for development of train autonomous-driving control core technology*, Korea Railroad Research Institute, Aug. 2016.

[3] S. Park, J. Kim and K. Ko, "Train-to-train communication for train autonomous-driving control," in *Proc. Symp. KICS 2017*, pp. 21-22, Jeongseon, Korea. Jan. 2017,

[4] H. Rakouth, et al., "V2X communication technology: Field experience and comparative analysis," in *Proc. FISITA 2012 World Automotive Congress*, Springer, pp. 113-129. Berlin, Heidelberg, Nov. 2013.

[5] R. W. Chen and J. Guo, "Development of the new CBTC system simulation and performance analysis," *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 114, pp. 497-507, 2010.

[6] S. Oh, K. Kim, and H. Choi, "Train interval control and train-centric distributed interlocking algorithm for autonomous train driving control system," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, no. 17, pp. 1-9, Nov. 2016.

[7] J.-K. Kim, "Analysis on train operation impediments of overseas countries," *The Korean Soc. Railway*, pp. 316-321, Oct. 2014.

[8] Korea Transportation Safety Authority, *Status and statistical analysis of railway accidents in the first half of 2017.*"

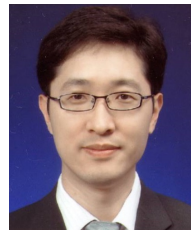
김진평 (Jin-pyung Kim)



2006년 2월 : 성균관대학교 전자
자전기컴퓨터공학과 석사
2014년 8월 : 성균관대학교 전자
자전기컴퓨터공학과 석사
2016년 5월~현재 : 한국철도기
술연구원 선임연구원

<관심분야> 인공지능, 영상처리, 열차자율주행 인지 및 제어

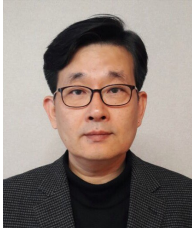
안태기 (Tae-ki An)



1993년 2월 : 경북대학교 전자
공학과 졸업
1996년 2월 : 경북대학교 전자
공학과 석사
2011년 2월 : 성균관대학교 전
자전기컴퓨터 박사
1995년 12월~현재 : 한국철도기
술연구원 책임연구원

<관심분야> 정보통신, 인공지능, ICT, IoT

김 진 호 (Jin-ho Kim)



1991년 2월 : 서울시립대학교 건
축공학과 졸업

1993년 2월 : 서울시립대학교 건
축공학과 석사

2003년 2월 : Univ. of Califor-
nia, Davis 박사

2003년 9월~현재 : 한국철도기
술연구원 수석연구원

<관심분야> 도시철도 안전, 환경, 편의성향상 기술

윤 희 택 (Hee-taek Yoon)



2002년 8월 : 성균관대학교 토
목환경공학과 박사

2000년 7월~현재 : 한국철도기
술연구원 책임연구원

<관심분야> 토목공학, 교통공
학, 통신공학