

열차 자율주행을 위한 차상중심 분산형 연동시스템

Train-centric distributed interlocking system for autonomous train control

오세찬*[†], 최현영*, 김경희*, 김민수*

Sehchan Oh*[†], Hyeonyeong Choi*, Kyunghee Kim*, Minsoo Kim*

Abstract Autonomous train driving system is an intelligent train control system capable of unmanned train operation via a direct communication between trains or train and trackside apparatus instead of relying on control command from the ground control systems such as, wayside ATP and interlocking system. The existing interlocking system in wayside-centric train control system distributes shared resources, track and switches to all trains within the coverage area based on the occupancy of the train. However, allocation of resources to track is the overlap with the function of ATP. In this paper, we propose the new train-centric distributed interlocking system for autonomous train driving system. The proposed distributed interlocking system newly defines the semaphore scheme using a unique key value for the shared resource, switch to be not accessed at the same time by interlocking system within each train. We present a safe train control is possible by comparing for the proposed distributed interlocking system to the number of interlocking logic based on existing interlocking system.

Keywords : Autonomous train driving, distributed, train-centric, interlocking, semaphore, unique key

초 록 열차 자율주행시스템은 지상 제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차와 열차 간 또는 열차와 선로변 설비와의 직접적인 무선통신을 통해 무인자동운행이 가능한 지능형 열차제어시스템이다. 기존의 지상중심 열차제어시스템의 연동시스템은 공유자원인 선로와 선로전환기를 열차의 점유정보를 기반으로 관할영역 내에 존재하는 모든 열차에게 분배한다. 하지만 선로에 대한 자원분배는 ATP의 기능과 중복이다. 본 논문은 열차 자율주행을 위한 새로운 차상중심의 분산형 연동시스템을 제안한다. 제안된 분산형 연동시스템은 각 열차에 존재하는 연동시스템에서 공유자원인 선로전환기에 한하여 서로 동시에 접근하지 않도록 선로전환기 고유 키 값을 이용한 세마포어 기법을 새롭게 정의한다. 제안된 분산형 연동시스템을 기준으로 기존의 연동장치에서 수행하던 여러 쇄정 논리에 대해서 비교함으로써 안전한 열차제어가 가능함을 제시한다.

주요어 : 열차자율주행, 분산형, 차상중심, 연동, 세마포어, 고유 키

1. Introduction

열차제어시스템은 점차 지상·H/W·전기 중심에서 차상·S/W·통신 중심으로 변화되고 있다. 제어 효율성 향상과 운전시각 단축을 위해 차상의 기능이 확대되고 있으며 설비투자비용 절감을 위해 지상의 설비를 단축시키는 방향으로 연구개발이 이루어지고 있다[1-3].

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 지능형신호통신연구팀(soh@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

최신의 열차제어시스템인 CBTC(Communication Based Train Control) 시스템은 차상과 지상제어시스템간 양방향 무선통신을 기반으로 가장 높은 간격제어 효율을 가지지만 여전히 지상이 제어의 중심이 되고 있기 때문에 하나의 지상제어시스템에서 허용 가능한 열차 투입 대수가 제한되고[1] 차상과 지상간 cyclic-path 제어흐름으로 인해 운전시각 단축에 한계가 발생된다. 이러한 한계 극복을 위해 지상의 제어명령에 의존하지 않는 완전한 차상중심의 열차제어시스템 개발에 대한 연구가 진행되고 있다[4].

본 논문은 지상제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차와 열차간 또는 열차와 선로 변 설비와의 직접적인 무선통신을 통해 무인자동운행이 가능한 열차자율주행시스템을 위한 새로운 차상중심의 분산형 연동시스템을 제안한다. 기존의 지상중심 열차제어시스템의 연동 시스템은 공유자원인 선로와 선로전환기를 열차의 점유정보를 기반으로 관할영역 내에 존재하는 모든 열차에게 분배한다. 하지만 선로에 대한 자원분배를 위해 복잡한 연동논리가 수반되며 이러한 기능은 ATP(Automatic Train Protection)의 기능과 중복이다. 제안된 분산형 연동시스템은 각 열차에 존재하는 연동시스템에서 공유자원인 선로전환기에 한하여 서로 동시에 접근하지 않도록 선로전환기 고유 키값을 이용한 세마포어 기법을 새롭게 정의한다. 제안된 분산형 연동시스템을 기준으로 기존의 연동장치에서 수행하던 여러 쉐딩 논리에 대해 비교함으로써 안전한 열차제어가 가능함을 제시한다.

2. Train-centric distributed interlocking system

2.1 System configuration of autonomous train control system

열차자율주행시스템은 차상 ATP/ATO(Automatic Train Operation), EIS(Electronic Interlocking System)와 열차위치 보정을 위한 Tag reader, 무선통신장치와 선로변의 선로 전환기(PM: Point Machine), OC(Object Controller)와 지상자인 PSM(Precision Stop Marker)와 tag로 구성된다. 차상 EIS는 관제 ATS(Automatic Train Supervision)의 진로정보를 토대로 선로전환기를 확보하고 제어명령을 전송하며 OC는 선로전환기를 제어하고 상태정보를 차상 EIS에 제공한다.

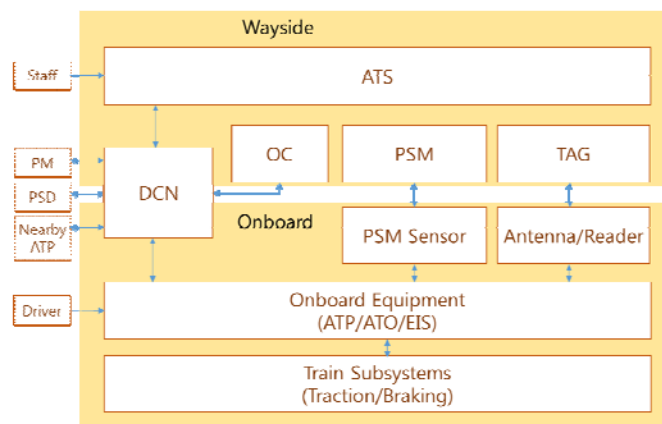


Fig. 1 System configuration

2.2 Train-centric distributed interlocking

분기영역은 기준 Tag로부터의 거리로 표현한다. 선로전환기 시점을 시작으로 열차의 접촉한 계를 반영한 분기영역(switching area)에 대한 표현은 Fig. 2와 같다. 분기영역 시점은 Tag ID인 TG_K로부터 y 만큼 떨어진 지점이며 종점은 x 만큼 떨어진 지점으로 표현한다. 제안된 차상중심 분산형 연동시스템에서 분기영역을 제외한 모든 선로영역은 ATP가 관할한다.

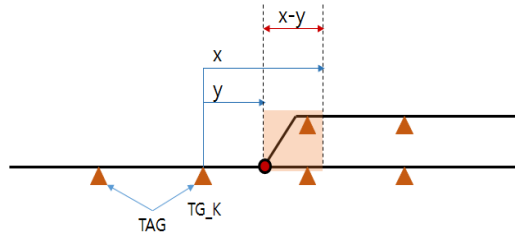


Fig. 2 Representation of switching area

차상 EIS는 노선상의 모든 OC로부터의 주기적인 상태메시지를 수신한다. 차상 EIS는 OC를 통해 자신의 진로에 속한 PM에 대한 소유권을 확보하고 PM 제어 명령을 전송한다. PM은 세마포어 영역이므로 동시에 한 대 이상의 차상 EIS가 점유하지 못하도록 OC로부터 고유 키 값을 획득한다. 차상 EIS가 PM을 제어하는 방법은 Fig. 3과 같다. 차상 EIS는 OC로 고유 키 값을 요청함으로써 PM을 채정(lock)하고 OC는 해당 PM의 키 값을 제공한다. EIS는 키를 이용하여 PM의 방향(nominal/reverse)를 제어하는 명령을 전송하고 OC는 해당 명령에 따라 PM을 제어한다. OC는 EIS로부터 키 요청이 있을 때마다 매번 새로운 키를 생성하고 키는 충분히 긴 값을 가진다.

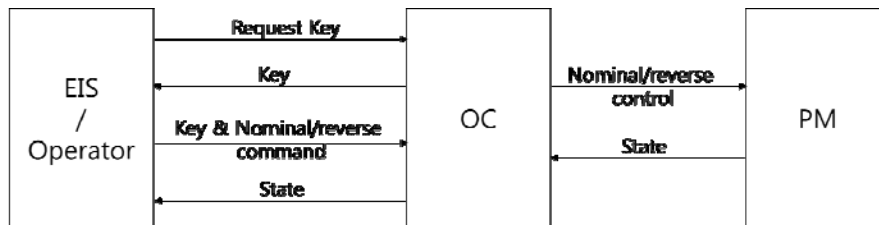


Fig. 3 PM lock and control using a unique key

Fig. 4와 같이 차상 EIS는 공유자원 PM을 해제(unlock)하기 위해 해당 키 값을 이용하여 해제 명령을 전송한다.

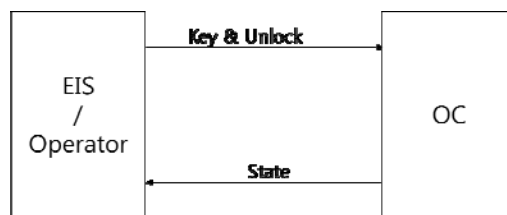


Fig. 4 PM unlock using a unique key

2.3 Safe route configuration

Fig. 5에서 열차 A는 X 지점까지의 이동권한(MA: Movement Authority)을 확보한 상태이며 관제 ATS의 스케줄 명령에 포함된 진로정보는 21B 정위, 23 반위, 25 정위이다. 열차 A의 EIS는 21B와 23, 25 PM을 확보하기 위해서 해당 OC에 접근하여 고유 키를 획득한다. 만약 일부 PM이 이미 타 열차의 차상 EIS에 의해 점유된 상태인 경우 해당 될 때까지 기다린다. EIS는 deadlock을 방지하기 위해 진로정보 내에 모든 PM을 확보될 때까지 부분 점유를 하지 않는다. 고유 키를 획득한 이후 열차 A는 해당 PM을 제어한 후 차상 ATP에 확보된 진로를 제공한다. 차상 ATP는 확보된 진로를 기반으로 Y 지점까지 MA를 확장한다. 차상 EIS는 PM의 분기영역을 완전히 빠져나올 때 마다 해당 PM을 순서대로 해제한다.

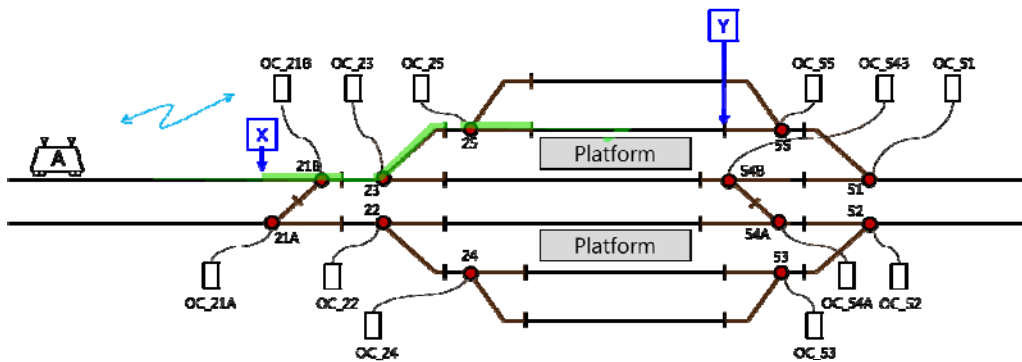


Fig. 5 Representation of switching area

2.4 Interlocking logic

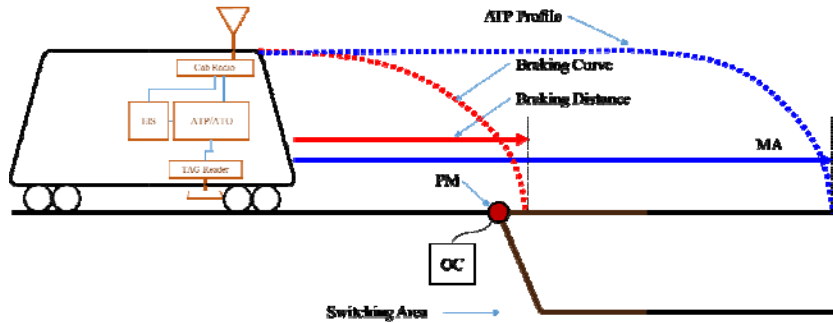
철사 채정은 선로의 분기영역에 열차가 존재하는 경우 즉, 분기영역 내에 열차의 점유구간이 존재하는 경우 해당 PM을 임의로 전환하지 못하도록 채정하는 것을 의미한다. 정상적인 상황에서 OC는 타 열차의 접근을 허용하지 않기 때문에 열차가 PM의 분기영역 내에 존재하는 경우 해정이 이루어질 수 없다.

차상중심 분산형 연동시스템에서 열차의 진로는 연속된 PM 리스트를 의미한다. 진로 채정은 열차가 진로를 구성하는 시작과 종료의 PM이 열차가 지나가면서 해정 요청하기 전까지 해정되지 않아야 함을 의미한다.

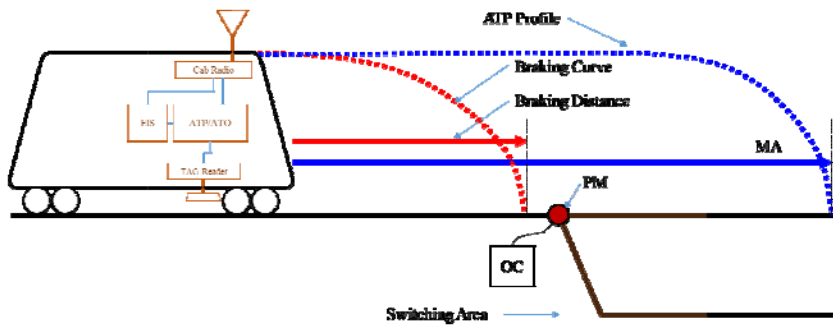
접근 및 보류 채정은 열차가 분기영역에 진입하는 경우 해당 분기영역을 담당하는 PM을 임의로 전환하지 못하도록 채정하는 것을 의미한다. 차상중심 분산형 연동시스템의 경우 차상 EIS가 ATP로부터 열차의 실시간 위치 및 점유정보, 현재 제동거리, MA를 수신할 수 있으며 열차가 허가 받지 않은 PM 앞에서 반드시 정차되도록 ATP MA와 제한속도를 설정할 수 있다.

만약 운영자가 OC를 통해 이미 열차의 차상 EIS에 의해 채정된 PM을 강제로 해정시키려 하는 경우 해당 요청은 노선의 모든 차상 EIS에 전송된다. Fig. 6 (a)와 같이 현재 열차의 제동거리가 분기영역을 넘어서는 경우로 이때 PM을 동작시키면 탈선사고가 발생할 수 있으므로 차

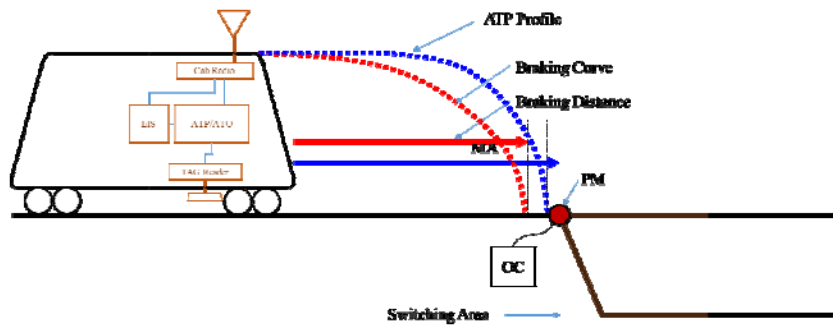
상 EIS는 운영자의 해정 요청을 거부하게 된다. Fig. 6(b)와 같이 열차의 현재 제동거리가 분기영역을 넘지 않으므로 EIS는 진로를 취소하고 해당 PM을 해정한다. 진로취소에 대한 결과는 차상 ATP에 전송되고 Fig. 6(c)와 같이 열차의 MA는 분기영역 시점까지 단축한다.



(a) Impossible situation to force unlock



(b) Possible situation to force unlock



(c) MA reduced situation due to operators unlock request

Fig. 6 Interlock logic for operators unlock request

3. Conclusion

본 논문은 지상제어시스템의 열차자율주행시스템을 위한 새로운 차상중심의 분산형 연동시스템을 제안하였다. 제안된 차상중심 분산형 연동시스템은 각 열차에 존재하는 연동시스템에서 공유자원인 PM에 한하여 서로 동시에 접근하지 않도록 PM의 고유 키값을 이용한 세마포어 기법을 새롭게 정의하였다. 또한 제안된 분산형 연동시스템을 이용하여 안전한 진로를 생성하

는 방법과 기존의 연동장치에서 수행하던 여러 쉐딩 논리에 대해 비교함으로써 안전한 열차제어가 가능함을 제시하였다.

향후 제안된 분산형 연동시스템을 구현함에 있어서 여러 이례상황을 반영한 안전기능을 정의하고 OC의 구성 및 키 값을 생성하는 방법에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] IEEE 1474.1 IEEE Standard for Communication-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements.
- [2] IEEE 1474.3 IEEE Recommended Practice for Communication-Based Train Control(CBTC) System Design and Functional Allocations.
- [3] Moore, W. "How CBTC Can Increase Capacity." Railway Age, Apr (2001).
- [4] Urbalise Fluence-Alstom, <http://www.alstom.com>