

### 열차 경합 해소 시스템 구현 및 한국철도에 적용

이상인\*, 김택룡\*, 박진배\*, 주영훈\*\*, 홍효식\*\*\*

연세대학교 전기전자공학과, \*\* 군산대학교 전자정보공학부, \*\*\*한국철도대학 철도경영정보과

## Implementation of Railway Conflict Resolution System

Sang In Lee, Taek Ryoung Kim, Jin Bae Park, Young Hoon Joo, Hyo Sik Hong

**Abstract** - 열차는 타 교통수단에 비하여 정시성과 안전성이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 열차의 정시성을 유지하는데 있어서 열차 경합에 대한 대응은 매우 중요한 용소이다. 열차 경합은 열차와 열차간의 충돌로 정의된다. 이러한 열차의 경합은 두 열차의 각 역에서의 도착 및 출발시각을 변경함으로써 해결할 수 있다. 본 논문에서는 전문가 시스템 및 제약조건 만족 기법을 이용하여 열차 경합을 해소하는 알고리즘을 제시한다.

### 1. 서 론

모든 열차는 사전에 계획된 스케줄에 따라 운행하도록 되어있기 때문에 도로 교통수단에 비해서 높은 정시성(punctuality)을 보장할 수 있다. 따라서 철도 시스템에 있어서 그 정시성의 유지는 주행속도, 서비스 빈도, 주행안락성, 고객 정보와 함께 철도의 품질과 경쟁력에 관한 표준 판단기준이 되기 때문에 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 이러한 정시성을 유지하기 위해서 가장 중요한 것 중 하나가 바로 열차 경합(conflict)에 대한 대응이다. 열차경합은 열차와 열차간의 충돌 또는 충돌위험으로 정의된다. 즉 두 대 이상의 열차가 미래의 같은 시각에 같은 선로를 점유하는 것이 열차경합이다. 열차 경합은 열차 지연에 의해서 발생한다. 매일 많은 열차가 운행되고 있고, 운행 중 신호기 고장, 엔진 고장, 산사태, 선로 유실, 기관사 실수, 승객과다로 인한 정차시간의 증가 등 다양한 원인들에 의하여 열차 지연은 필연적으로 발생하게 된다. 이런 원인들로 발생한 열차의 지연으로 인해서 후속열차들은 계획된 스케줄에 따른 정상적인 운행이 불가능하게 된다. 따라서 열차 경합 예측 및 해소 문제는 열차 운행과 높은 정시성 확보에 있어서 매우 중요한 이슈가 되고 있다. 국내에서는 현재 다섯 곳의 지역본부별로 사령(Train Dispatcher)들이 직접 수작업으로 경합을 검지하여 해소하고 있다. 그러나 사령들의 판단이 항상 정확한 것이 아니며, 잘못된 판단을 내렸을 경우 열차 시스템의 많은 혼란을 발생시킬 수 있다. 따라서 경합을 정확하게 예측하며 일관된 기준에 따라 항상 정확한 해소 안을 제시하는 자동화 시스템이 요구된다. 따라서 철도장에서는 사령실 통합 신호설비 구축사업의 일환으로 열차 경합의 검지 및 해소를 자동화하는 시스템을 구현 중에 있다. 본 논문은 시스템 구현 방안을 제시한다. 시스템을 구현하는 데는 전문가 시스템을 이용하여 사령들의 경합해소 노하우를 시스템에 반영하여 사령들의 판단과 유사한 결과를 얻을 수 있도록 하며, 다수의 해결방안에 대하여 그 적합도를 수치적으로 나타낼 수 있는 가중치 및 목적함수를 설정하여 최적의 대안을 제시하고, 제시된 대안의 적합도를 사령이 알 수 있도록 설계한다.

또한 고객의 편의 및 철도 시스템의 효율적인 활용을 위해서 열차의 종류, 지연 및 교행을 수행하는 역에 따른 다양한 고려가 이루어져야 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 사령실 통합 신호설비

사령실 통합 신호설비 시스템은 현재 5개 지역 사령실로 분산되어 있는 열차 운전 통제 및 감시 업무의 기능을 지역성과 기능성을 고려해서 하나로 통합하는 것이다. 이는 크게 네가지 효과가 있는데 첫째 5개 지역 사령실을 통합하여 열차통제의 객성, 적시성을 제공하고, 둘째 CTC 기능을 업그레이드하여 트래픽 관리능력의 향상을 통하여 열차 운행을 지원할 수 있다. 셋째 여러 시스템과의 인터페이스를 통하여 운영자에게 종합적인 정보를 제공하며, 마지막으로 열차운전관리 업무를 지원하는 시스템을 제공하여 운영자의 일상 업무를 경감시키며, 열차안전운행에 더욱 집중할 수 있도록 한다. 신규 CTC 사령실 통합 신호설비 시스템은 그림 3.2에서 볼 수 있는 것처럼 CTC 서버, 스케줄 서버, 프로그래밍 서버, 레글레이션 서버, 통신 서버 등으로 구성되어 있으며, 열차운행현장의 정보 및 열차 운행 관련 정보를 수신하여 정보를 관리하며, 상황실, 교육실, 홍보실, 운영사령실, 여객안내 시스템 등에 필요한 정보를 제공한다. 시스템은 네트워크 보안을 위하여 라우터, 방화벽, 침입탐지시스템을 유기적으로 구성하여 3차에 걸친 침입저지 단계를 구축하여 네트워크 기밀성을 확보할 수 있다. 통합 CTC 시스템은 기본 소프트웨어, 열차운행관리 소프트웨어, 교육훈련, 상황실 소프트웨어, 업무지원 소프트웨어, 외부 인터페이스 등으로 구성되어 있다. 기본 소프트웨어는 트래픽 관리, 열차표시 시스템, 이벤트 기록 경고, 화면편집기 등이 있고, 열차운행관리 소프트웨어에는 열차 스케줄 작성, 열차 그래프 작성, 경합 검지 및 해소, 자동진로 설정, 시뮬레이터, 선로연변 감시, 예비시험, 데이터베이스 관리 기능이 있다. 여기서 경합 검지 및 해소는 국내에서는 최초로 자동화되는 기능으로 앞서 설명한 바와 같이 많은 효과들을 가지고 있다.

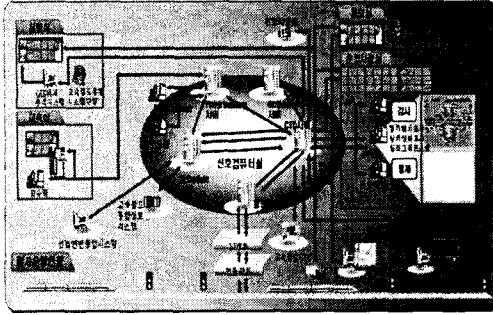


그림 1 사령실 통합 신호설비  
Fig. 1 The integrated CTC system

## 2.2 정적 데이터의 구성

정적 데이터는 선로배선의 선형정보가 주된 데이터이다. 이 중 시스템에서 주로 사용하는 데이터는 궤도, 신호기, 진로가 있다. 궤도(Track)는 레일과 그 부속품, 침목 및 도상으로 구성되며 견고한 노반 위에 도상을 일정한 두께로 포설하고 그 위에 침목을 일정간격으로 부설하고 침목 위에 두줄의 레일을 소정간격으로 평행하게 체결한 것으로 노반과 함께 열차하중을 직접 지지하는 역할을 하는 도상 윗부분을 말하는 것이다. 궤도는 물리적으로 존재하는 것이며 열차가 궤도 위를 지나가는 것이기 때문에 시스템은 항상 궤도의 물리적 손상여부를 체크하여 정상상태의 궤도를 지나갈 수 있도록 해야한다. 궤도 중에서 역내 정차가 일어나는 플랫폼이 있다. 신호(Signal)는 형, 색, 음 등에 의해 열차 또는 차량에 대하여 일정구간을 운전할 수 있는 조건을 지지하는 것으로, 신호를 현시하는 기구를 신호기라고 한다. 신호기는 그 기능에 따라 장내신호기, 출발신호기, 폐색신호기, 유도신호기, 입환신호기 등이 있는데, 본 시스템에서는 열차의 도착 및 출발에 직접적으로 관여하는 장내신호기와 출발신호기가 주로 쓰인다. 장내신호기는 정거장에 진입하는 열차에 대하여 진입가부를 지지하는 주신호기로, 정거장내외의 경계를 나타내기도 한다. 그림 2에서는 1A와 2A 신호기가 장내신호기이다. 1A는 A역에서 출발하여 C역으로 향하는 하행 열차에 대한 도착여부를 결정하는 신호기이고, 2A는 반대로 C역에서 출발하여 A역으로 향하는 상행 열차에 대한 도착여부를 결정하는 신호기이다. 출발신호기는 정거장으로부터 출발하는 열차에 대해, 출발의 가부를 지지하는 주신호기, 또한 정거장에 진입하여 정차하는 열차에 대하여 정지하는 한계를 지지하는 것으로 그림 2에서는 3A, 3B, 4A, 4B 신호기가 이에 해당한다. 장내신호기와 마찬가지로 4A, 4B 신호기는 하행열차의 출발이 가능한지 여부를 판단하는 신호기이다. 또한 폐색신호기는 자동폐색구간에서 열차가 폐색구간에 진입할 경우 정지신호를 현시하여, 열차와 열차 사이의 간격을 유지시켜주는 역할을 하는 것으로 3현시, 4현시, 5현시가 있다. 모든 열차는 이러한 신호를 준수해야 하며, 신호기의 존재로 인하여 열차가 다 운송 수단보다 높은 안정도를 보장할 수 있다.

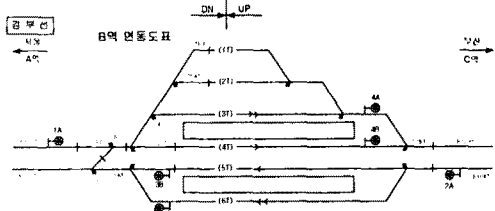


그림 2 연동도표  
Fig. 2 Interlocking sheet

표 1 진로 리스트  
Table 1 List of the route

진로번호	진로명	유형	운행방향	연결신호기	
				소속역	신호기명
1	1A_3T	도착	하행	B	4A
2	1A_4T	도착	하행	B	4B
3	2A_3T	도착	상행	B	3B
4	2A_4T	도착	상행	B	3A
5	3A_B102T	출발	상행	A	2A
6	3B_B102T	출발	상행	A	2A
7	4A_B103T	출발	하행	C	1A
8	4B_B103T	출발	하행	C	1A

진로(Route)는 하나의 폐색과 그 다음 폐색 간 궤도구역을 따라 있는 길을 의미한다. 즉 열차가 갈 수 있는 길을 의미하는 것으로 진로의 이름은 표 1에서 확인할 수 있는 것처럼 진로의 시작인 신호기와 진로의 끝인 궤도의 나열로 나타낸다. 진로번호 1번인 1A\_3T는 하행열차가 1A 신호기를 받고 3T 플랫폼으로 들어가는 길을 의미한다. 이 진로는 역에 들어오는 것이기 때문에 도착진로가 되며, 운행방향은 하행이 된다. 또한 1A\_3T 진로를 따라 3T 플랫폼에 들어오면 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 4A 출발신호기를 만나게 된다.

## 2.3 경합해소 방안

경합은 표 2에서 나타난 바와 같이 크게 세가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 충돌의 경우로서 두 대의 열차가

표 2 경합의 종류

Table 2 Classification of the conflict

예상경합	경합 종류	경합의 정의
충돌	열차 추월 경합	역과 역 사이에서 동일방향으로 운행하는 열차간의 충돌
	열차 교행 경합	단선구간 역과 역 사이에서 반대방향으로 운행하는 열차간의 충돌
	플랫폼 할당 경합	열차의 지연으로 두열차가 동일 도착선 요구하는 상황
충돌위협	운전 시격 경합	역과 역 사이에서 동일방향으로 운행하는 두 열차간의 간격이 주어진 시격보다 작아 발생하는 충돌 위험
기타	역내 구간 폐색	역내에서 특정 궤도의 고장으로 인하여 장시간 사용이 불가능할 경우

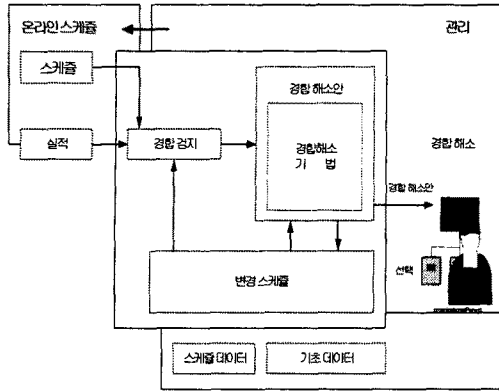


그림 3 경합 해소 시스템

Fig. 3 RCDRS

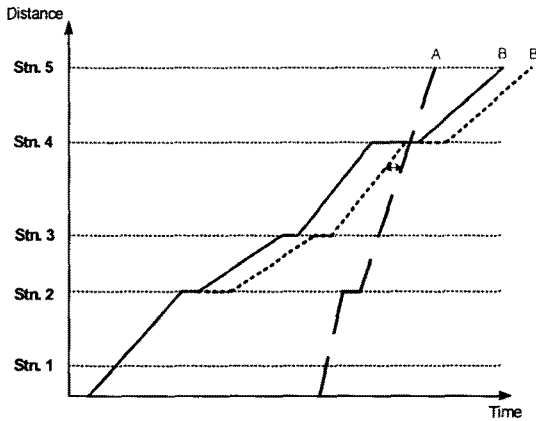


그림 4 운전 시격 경합의 예

Fig. 4 Example of the headway conflict

같은 시각에 같은 궤도를 요구하는 것이다. 충돌의 경우는 구체적으로 열차 추월경합, 열차 교행경합, 플랫폼 할당 경합, 열차 수렴 경합으로 나눌 수 있다. 둘째는 충돌 위험의 경우로 직접적인 충돌은 아니지만 충돌이 예상되는 상황이고, 셋째는 궤도의 폐쇄로 인한 열차운행이 불가능할 경우이다. 경합 해소 시스템은 기본적으로 검지된 경합에 대한 해소안을 제시하고, 제시된 해소안을 고려하여 추가적인 경합의 유무를 판단하고 더 이상의 경합이 없을 경우 최종 방안을 낸다. 추가적인 경합이 존재할 경우 추가경합에 대한 해소안을 제시하고 또 다른 경합의 유무를 판단하는 과정의 반복하면서 최종해를 탐색하게 된다. 경합의 해소는 기본적으로 교행 시점에 따라 두가지로 나눌 수 있다. 그 첫 번째는 경합이 발생하기 전 미리 교행시키는 방법이고, 다른 방법은 고속의 후속 열차를 지연시켜서 교행하는 지점을 늦추는 방법이다. 그림 4에서 2번역에서 열차 B가 지연되는 상황에 대한 경합 해소안을 고려해보면 예측 열차 다이어트에 의해서 3번역과 4번역 사이에서 경합이 예측된다. 경합 검지 시스템에 의하여 경합의 검지가 통보되면 경합 해소 시스템에서는 기본적으로 2번역부터 4번역 사이에서 교행을 시키던지, 종착역까지 교행없이 고속열차를 지연시켜야 한다. 다수의 방안에서 하나를 선택한 후 지연시킨

열차와 그 후속열차간 추가적인 경합이 존재하는지 판단을 해야 하고, 추가적인 경합이 존재할 경우 연쇄 경합이 없을때까지 앞에서 설명한 과정을 반복해야 한다. 그리고 연쇄 경합이 존재하지 않으면 제시된 제안 중 목적 함수를 최적화하는 안을 선택하게 된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 열차 경합이 발생할 경우 이를 해소하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 경합이 발생할 경우 대체안을 내기 위해서는 방안들은 실제로 운행이 가능한 방안이 제시되어야한다. 따라서 전문가 시스템 등을 통하여 가능한 안을 내는 방안을 제시하게 된다. 따라서 본 기법을 사용하면 열차의 경합을 효과적으로 해소할 수 있게된다.

### [참고 문헌]

- [1] M. T. Isaai, and M. G. Singh, 'Hybrid Application of Constraint Satisfaction and Meta-Heuristics to Railway Timetabling: A Comparative Study', *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics C*, Vol. 31, No. 1, 2001.
- [2] T. W. Chiang, H. Y. Hau, S. Y. Ko, C. H. Hsieh, 'Knowledge-Based System for Railway Scheduling', *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 27, pp. 289-312, 1998.
- [3] S. M. Oh, S. H. Hong, I. C. Choi, 'Railway Conflict Detection and Resolution in the Korean Railway System', *Computers in Railways 9*, pp. 675-684, 2004.
- [4] S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 2003
- [5] E. R. Petersen, A. J. Taylor and C. D. Martland, 'An Introduction to Computer-Assisted Train Dispatch', *Journal of Advanced Transportation*, pp. 63-72, 1986.
- [6] Y. Larroche, R. Moulin and D. Gautyacq, 'SEPIA: A Real-Time Expert System that Automates Train Route Management', *Control Engineering Practice*, Vol. 4, No. 1, pp. 27-34, 1996.
- [7] Ismail Sahin, 'Railway Traffic Control and Train Scheduling Based on Inter-Train Conflict Management', *Transportation Research Part B*, Vol. 33, pp. 511-534, 1999.
- [8] Peterson, E. R. and Taylor A. J., 'A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization', *Transportation Science*, Vol. 16, 1982
- [9] Peterson, E. R., Taylor A. J., and Martland, C. D., 'An Introduction to Computer Assisted Train Dispatch', *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 20, 1986.
- [10] Jovanovic, Dejan Nenad and Harker, P. T., 'A Decision Support System for Train Dispatching: An Optimization-Based Methodology', *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol. 32, 1991.
- [11] Peter Hellstrom, Ingemar Frej, Anders Gideon, and Bengt Sandblad, 'Algorithms and Control Systems for Computer-Aided Train Dispatching', *Proceeding of WCCR 1997*.
- [12] 오석문, '최적화 해법을 이용한 열차경합 해소와 한국철도 적용방안', 한국철도학회 추계학술대회, 2003. 10
- [13] 오석문, 김영훈, 김성호, 김동희, 홍순홍, '유전자 알고리즘을 이용한 열차경합 해소문제에 관한 연구', 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002
- [14] 이상인, 김택용, 홍효식, 주영훈, 박진배, '열차 경합 해소 문제를 위한 최적화 기법 연구', 정보 및 제어 학술대회, pp. 720-722, 2004, 11.
- [15] 이상인, 김택용, 박진배, 주영훈, 홍효식, 유광권, '철도청 사령실 통합 신호설비 구축 사업에서의 경합해소 시스템 구축방안', 한국철도학회 추계학술대회, 2004, 10.