

전문가 시스템을 이용한 열차경합 해소를 위한 의사결정 지원 시스템 구축

Design of Decision Support Systems for Railway Conflict Resolution Problem using Expert Systems

김택룡^{*}, 이상인^{*}, 박진배^{*}, 주영훈^{**}, 홍효식^{***}, 유광균^{***}

Kim Taek-Ryoung, Lee Sang-In, Park Jin-Bae

Joo Young-Hoon, Hong Hyo-Sik, You Kwang-Kyun

ABSTRACT

본 논문은 전도경 사형식 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 정합의 효과적인 해소 기법을 제시하고자 한다. 열차경합의 감지 및 해소 시스템(Railway Conflict Detection and Resolution System)은 열차 운행관리 시스템(Railway Traffic Management System, RTMS)의 의사결정 지원 모듈이다. 이 모듈은 열차운행의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능을 수행하고 있다. 하지만 현재 5개 지역본부별로 나뉘어서 기능이 수행되고 있고, 사령의 정합에 의하여 수작업 형태로 이루어지고 있기 때문에 전체 시스템의 관점에서 보면 최적의 해소안이 도출되고 있지 못하다. 따라서 본 논문에서는 시스템을 전역적으로 고려하여 최적의 해소안을 제시하고자 한다. 또한 최적화의 개념을 도입하기 위하여 6가지의 가중치를 설정하고, 이 가중치를 고려한 지연시간의 합을 목적함수의 값으로 설정한다. 본 시스템은 이러한 가중치의 합을 최소로 하는 복수의 해소안을 제시한다.

1. 서론

모든 열차는 사전에 계획된 스케줄에 따라 운행하도록 되어있기 때문에 도로 교통수단에 비해서 높은 정시성을 보장할 수 있다. 따라서 철도 시스템에 있어서 그 정시성(punctuality)의 유지는 주행속도, 서비스 빈도, 주행 안정성, 고객 정보와 함께 전도의 품질과 경쟁력에 관한 표준 판단 기준이 되기 때문에 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다 [8]. 이러한 정시성을 유지하기 위해서 가장 중요한 것 중 하나가 바로 열차 정합(conflict)에 대한 대응이다. 열차정합은 열차와 열차간의 충돌 또는 충돌위험으로 정의된다. 즉 두 대 이상의 열차가 미래의 같은 시각에 같은 선로를 점유하는 것이 열차정합이다. 국내에서는 현재 다섯 곳의 지역본부별로 사령(Train Dispatcher)들이 직접 수작업으로 정합을 감지하여 해소하고 있다. 그러나 사령들의 판단이 항상 정확한 것이 아니며, 잘못된 판단을 내렸을 경우 열차 시스템의 많은 혼란을 발생 시킬 수 있다. 따라서 정합을 정확하게 예측하며 일관된 기준에 따라 항상 정확한 해소 안을 제시하는 자동화 시스템이 요구된다. 이러한 요구에 의하여 정합 감지 및 해소 시스템에 대한 국내외적으로 다양한 연구가 이

* 연세대학교

** 중앙대학교

** 연도대학

투여되고 있다. 본 논문에서는 2장에서 전문가 시스템에 대하여 알아보고, 경합 검지 및 해소 시스템에 적용가능 여부를 살펴볼 것이다. 3장에서 이를 이용한 적용방법을 구체적으로 논의할 것이고, 마지막으로 4장에서 결론을 내린다.

2. 전문가 시스템

전문가 시스템은 특정 문제를 해결하기 위하여 특정의 전문적인 지식을 기반으로 실행되는 컴퓨터 시스템을 말한다. 다시 말해서 특정 문제 영역에서 그 영역의 인간 전문가가 의사 결정을 내리는 것과 유사하게 동작하는 컴퓨터 시스템으로, 인공지능 분야에서 성공적으로 현실에 적용한 대표적인 분야이다. 이러한 전문가 시스템은 열차 경합 검지 및 해소 시스템에 성공적으로 적용될 수 있다. 열차경합의 검지 및 해소는 고도의 전문적인 일이다. 하지만 열차사령의 업무수행 시간 중 창의적이고, 의사결정에 관련된 업무에 사용되는 시간의 비율이 단순 반복적인 업무수행에 사용되는 시간에 비해 현저하게 낮은 상태이다 [5]. 이러한 단순하고 반복되는 일과 이례사고의 예측 및 효율적인 교행/대피 계획의 실현에 있어서 의사결정을 지원해주는 시스템이 존재한다면, 사령이 다양한 의사결정을 하는데 있어서 큰 도움이 될 수 있으며, 선택방안의 적합도가 수치화되어 있기 때문에 선택의 합리성을 보장할 수 있다. 표 2는 인간전문가와 전문가 시스템을 비교한 것이다. 표에서 볼 수 있는바와 같이 인간 전문가에 비해 전문가 시스템은 항상 일정한 성능을 유지할 수 있다. 또한 부족한 기능에 대하여 프로그램을 보완하여 단기간에 성능을 개선시키는 것도 가능하다. 계산능력은 인간보다 월등하게 앞서기 때문에 주어진 상황에 대하여 5차 이상의 추가경합까지 고려하여 답을 낼 수 있기 때문에 인간 전문가가 해결한 경합에 비하여 전체 시스템을 고려할 수 있게 된다.

표 2 인간 전문가와 전문가 시스템의 비교

요소	인간 전문가	전문가 시스템
이용가능한 시간	일하는 시간만 사용 가능	항상 사용 가능
이용가능한 공간	제한적인 공간에서 사용 가능	언제 어디서나 사용 가능
안전성	회복 불능	교체 가능
사멸가능성	가능	불가능
성능	변화 가능	항상 일정
속도	변화 가능	일정하며, 인간보다 빠르다
비용	고비용	저비용

전문가 시스템은 크게 지식베이스, 추론기관, 설명기관, 사용자 인터페이스로 구성된다. 지식베이스는 전문가의 지식을 시스템으로 반영하는 전문가 시스템의 핵심 모듈이다. 지식베이스는 전문가인 사령들이 검지된 경합을 해소할 때 사용하는 판단기준이다. 아래 제시한 10가지의 기준은 전문가들이 경합을 해소할 때 사용하는 대표적인 규칙이다.

- R1: 계획 스케줄의 변경을 최소화하라
- R2: 여객열차와 화물열차간의 경합시 여객열차를 우선으로 하라
- R3: 여객열차간 경합시 등급이 높은 열차를 우선으로 하라.
- R4: 환불을 최소화하라.
- R5: 노선간 경합이 발생할 경우 운행량이 많은 노선을 우선적으로 고려하라.
- R6: 열차간 교행 및 대피는 기존에 정차가 이루어지는 역에서 발생하는 것을 우선으로 한다.

- R7: 열차의 지연은 기존에 정차하는 역에서 발생하는 것을 우선으로 한다.
- R8: 특정열차의 정시성을 최우선적으로 고려할 수 있어야 한다.
- R9: 경합해소안 발생시 후속열차에 미치는 영향을 최소로 하는 안을 제시한다.
- R10: 연계수송 열차의 동적일정을 동기화 할 수 있는 방안을 제시한다.
- R11: 여객취급이 있는 역에서는 진로의 변경을 최소로 해야하고, 변경이 불가피할 경우 충분한 시간적 여유를 두고 진로를 변경하고, 사전에 승객이 안내받을 수 있도록 해야한다.

또한 아래의 규칙은 경합검지 및 해소 시스템이 따라야 하는 규칙이다.

- R12: 경합해소안은 사령이 해소안을 선택하여 적용할 수 있을만한 충분한 시간내에 해소안을 제시한다.
- R13: 연쇄 경합의 해소를 통하여 열차가 종착역에 도착할 때까지의 해소방안을 제시한다.
- R14: 복수의 해소안을 사령에게 제시하며, 복수의 안은 그 적합도를 계산할 수 있어야 한다.

위에서 제시한 규칙 외에도 다양한 규칙이 존재할 수 있다. 이러한 규칙들을 시스템의 지식베이스에 반영시키고, 이를 기반으로 한 추론을 통해서 검지된 경합에 대한 해소안을 제시한다. 제시된 규칙들은 항상 성립하는 것이 아니라 주어진 상황에 맞게 해석될 수 있는 것이다. 상황에 따라 서로 모순되는 규칙이 존재할 수도 있다. 따라서 모든 규칙들을 지식베이스에 반영하고, 규칙들을 종합적으로 고려하여 해소안을 제시할 수 있어야 한다. 한 예로 KTX와 무궁화호 사이에 경합이 있을 경우 상식적으로 무궁화호가 양보하고, KTX를 우선적으로 보내는 것이 상식적인 해결 방법이다. 하지만 무궁화호가 이미 40분 이상의 지연을 가지고 있는 경우 환불의 최소화를 위해서 KTX를 지연시키는 R4 규칙을 우선적으로 적용할 수도 있다. 또한 두 열차의 지연으로 인하여 후속열차에 미치는 영향등을 종합적으로 고려하여 합리적인 방안을 선정해야 한다. 따라서 위에서 제시한 규칙들의 만족도를 판단할 수 있는 식이 필요하다. 따라서 본 시스템은 최적화의 개념을 도입하여 6가지의 가중치를 설정하여, 규칙을 가장 잘 반영하고 있는 대안을 선정하게 된다.

3. 경합해소 시스템

경합은 기본적으로 두 대 이상의 열차가 동일한 시각에 동일한 궤도를 요구하는 것이다. 하지만 현실에서는 신호기 등에 의하여 이러한 일은 거의 발생하지 않는다. 따라서 경합 검지 및 해소 시스템의 목적은 열차와 열차간의 충돌을 방지하기 위한 것이면서, 미래의 시점에서 예상되는 경합을 정상적으로 열차가 운행되고 있는 상태에서 스케줄을 조정하여, 계획된 스케줄의 변화를 최소로 하면서 운행하도록 하는 것이다. 본 시스템이 다루는 경합은 표 1에 나타난 것과 같이 6가지가 있다. 이 6가지의 경합은 현실에서 발생할 수 있는 모든 경합을 다룰 수 있다. 각각의 경합의 정의는 표 1에서 확인할 수 있다. 열차 추월 경합, 운전 시켜 경합, 열차 교행 경합, 운전 취급 시분 경합, 플랫폼 할당 경합 등 대부분의 경합이 선행열차의 지연으로 인하여 발생하는 경우이다. 예외적으로 역내 구간 폐쇄는 두 대의 열차사이에 발생하는 것이 아니다. 역내 구간 폐쇄는 각종 재해나 정비 등으로 인하여 역내에서 특정한 궤도를 사용하지 못하게 되는 경우 생기는 것으로 개별 열차별로 경합을 검지, 해소해야 한다. 경합 해소 시스템의 주목적은 위와 같은 원인으로 인해 발생하는 경합을 효율적으로 해소하며, 동시에 최초로 계획된 스케줄의 변경을 최소화함으로써 높은 정시성을 확보하는 것이다. 경합 해소 시스템의 구성은 그림 2와 같다.

표 1 경합의 종류별 정의

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
	열차수령경합	다른 노선의 열차로 인하여 발생하는 경합
충돌위험	운전시제경합	역과 역 사이에서 동일방향으로 운행하는 두 열차간의 간격이 주어진 시격보다 작아 발생하는 충돌 위험
기타	역내레도폐쇄	역내에서 특정 레도의 고장으로 인하여 장시간 사용이 불가능할 경우

그림 2에 나와 있는 것처럼 기본적으로 열차 운행에 관련된 동적 데이터와 역 및 선로 정보 등의 정적 데이터를 수신하여 경합의 발생을 예측한다. 경합이 감지되었을 경우 경합 감지 시스템은 사령에게 경합의 발생을 통보함과 동시에 경합 해소 시스템에 통보를 하게 되며, 이것을 바탕으로 경합 해소 시스템은 여러 해소 안을 탐색하여 최적화 된 안을 사령에게 제시한다. 사령은 이렇게 제시된 해소 안 중 하나를 선택하거나, 다른 방안을 제시할 수 있다. 그리고 사령이 승인한 해소 안은 온라인 스케줄로 업데이트 된다.

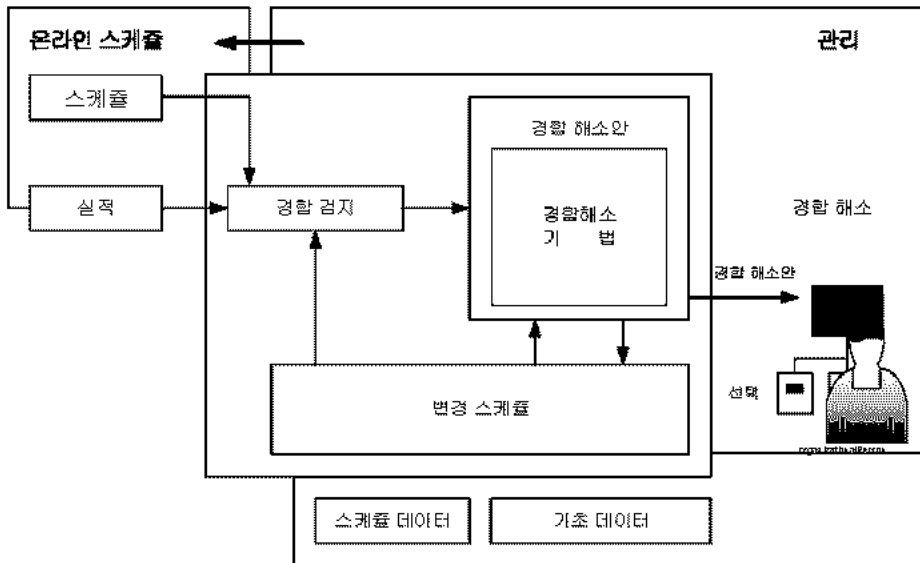


그림 1 열차 경합 해소 시스템의 개요도

경합 해소 시스템이 제시하는 경합해소안은 경합의 종류에 따라 크게 3가지 형태를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 경합의 종류를 표 3에서 보는바와 같이 크게 세가지로 분류하였다.

표 4 해결방안에 따른 경합의 분류

Type	번호	경합명	기본 해결방안
Type A (4전탐색)	1	열차추월 경합	경합발생 전후의 정차, 통과역에서 대기시키는 4가지 방안 제시
	2	열차교행 경합	경합발생 전후의 정차, 통과역에서 교행시키는 4가지 방안 제시
Type B (1전탐색)	11	대차 플랫폼 할당 경합	동일한 플랫폼 및 궤도를 사용하지 않는 도착 및 출발진로도 변경
	12	교행 플랫폼 할당 경합	동일한 플랫폼 및 궤도를 사용하지 않는 도착 및 출발진로로 변경
	13	도착 운전시각 경합	운전시각을 확보할 수 있도록 경합 이전역에서 후속열차의 출발시간 지연
	14	출발 운전시각 경합	경합발생역에서 후속열차의 출발시간 지연
	15	열차취급시분 경합	운전취급시분을 확보할 수 있도록 열차의 출발시간 지연
Type C (기타)	21	역내 구간 폐쇄	폐쇄된 궤도를 사용하지 않는 대체진도 제시

Type A는 열차 추월 경합과 열차 교행 경합으로 열차가 역과 역 사이에서 충돌이 예상될 경우 발생하는 것이다. 이것은 각각 대차 및 교행을 통하여 경합을 해소해야 하는데 각각의 경합에 대하여 교행 및 지연의 위치를 정하게 된다. 따라서 하나의 경합에 대하여 4가지의 해소안을 제시하게 된다. Type B는 플랫폼 할당 경합, 운전 시각 경합, 운전취급시분 경합이 있으며 각각의 방안에 대하여 하나의 해소안을 제시하게 된다. Type C는 역내 구간폐쇄로서 역내에서 특정 궤도의 고장으로 인하여 정시간 사용이 불가능할 경우 그 시간동안 운행이 예정된 모든 열차의 도착 및 출발진도를 변경하는 안을 제시한다. Type C는 A, B와 달리 독립적으로 동작하게 된다. 해소안은 그림 3과 4에서 확인할 수 있는바와 같이 기본적으로 트리탐색의 형태를 가지게 된다. 4전트리와 1전트리가 혼합된 형태로 탐색이 이루어지게 된다.

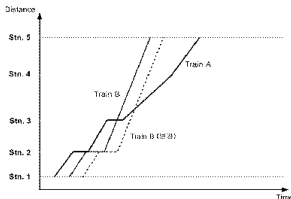


그림 2 열차 추월 경합 발생 상황

다수의 방안에서 하나를 선택한 후 지연시킨 열차와 그 후속열차간 추가적인 경합이 존재하는지 판단을 해야 하고, 추가적인 경합이 존재할 경우 연쇄 경합이 없을 때까지 앞에서 설명한 과정을 반복해야 한다. 그리고 연쇄 경합이 존재하지 않으면 제시된 제한 중 목적함수를 최적화하는

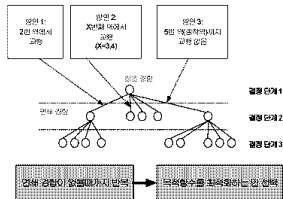


그림 3 최적화 알고리즘의 기본 구조

안을 선택하게 된다. 따라서 다음과 같은 규칙을 만들 수 있다.

- R15: 교행경합이 발생할 경우 경합지점 전후에서 교행을 시켜 경합을 해소한다.
- R16: 추월경합이 발생할 경우 경합지점 전후에서 선행열차 대피를 시켜 경합을 해소한다.
- R17: 플랫폼할당경합이 발생한 경우 도착 및 출발진로를 변경하여 경합을 해소한다.
- R18: 도착운전시각경합이 발생할 경우 경합 이전역에서 후속열차의 출발시간을 지연시켜 경합을 해소한다.
- R19: 출발운전시각경합이 발생할 경우 경합역에서 후속열차의 출발시간을 지연시켜 경합을 해소한다.
- R20: 운전취급서분경합이 발생할 경우 경합역에서 출발시간을 지연시켜 경합을 해소한다.

각각의 경합에 대하여 총 20개 규칙을 적용하여 주어진 목적함수의 값을 최소로 만드는 안을 찾아서 사령에게 제시하는 것이 본 시스템의 목적이다.

4. 결론

본 논문은 철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 경합을 전문가 시스템을 도입하여 효과적으로 해결할 수 있는 기법을 제시하였다. 열차경합의 감지 및 해소는 열차운행의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능이다. 따라서 열차 경합의 감지 및 해소 문제에 있어서 철도 시스템을 전역적으로 고려할 수 있는 기법이 요구된다. 구체적인 가중치의 설정은 앞으로 연구해야 할 과제이다.

참고문헌

1. E. R. Petersen, A. J. Taylor and C. D. Martland (1986), "An Introduction to Computer-Assisted Train Dispatch", *Journal of Advanced Transportation*, pp. 63-72.
2. Y. Larroche, R. Moulin and D. Gauyacq (1996), "SEPIA: A Real-Time Expert System that Automates Train Route Management", *Control Engineering Practice*, Vol. 4, No. 1, pp. 27-34.
3. Michele Missikoff (1998), "An Object-Oriented Approach to an Information and Decision Support System for Railway Traffic Control", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 11, pp. 25-40
4. Ismail Sahin (1999), "Railway Traffic Control and Train Scheduling Based on Inter-Train Conflict Management", *Transportation Research Part B*, Vol. 33, pp. 611-634.
5. 오석문, "최적화 해법을 이용한 열차경합 해소와 한국철도 적용방안",
6. 오석문, 김영훈, 김성호, 김동희, 홍순홍 (2002), "유전자 알고리즘을 이용한 열차경합 해소문제에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집
7. 오석문, 홍순홍 (2002). "열차경합 해소에서 유전자 알고리즘의 적용에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
8. 노학래, 철도역에서 도착지체의 결정 및 분석
9. 이종득 (2004), "철도공학개론", 노해출판사.