

열차 경합 해소 문제를 위한 최적화 기법 연구

A Study on Optimization Techniques for Railway Conflict Resolution Program

이상인*, 김택룡*, 박진배*, 주영훈**, 홍효식***

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

Abstract - 본 논문은 철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 경합의 해소기법 중 열차지연시간의 수치화 기법에 대한 방안을 제시하고자 한다. 열차경합의 검지 및 해소는 열차운행의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능이 지만 현재까지 자동화되지 못하고 지역본부별로 하나의 이벤트에 대하여 해당열차만을 고려하는 수작업의 형태로 경합해소를 수행해오고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 철도 시스템을 전역적으로 고려할 수 있는 기법이 요구된다. 이러한 시스템에서 열차의 지연에 따른 우선순위를 수치적으로 표현할 수 있는 방안이 요구된다. 본 논문에서는 열차 지연을 수치화하여 경합에 대한 최적의 대안을 제시하는 기법을 제안한다.

Key Words : 열차 경합, 의사결정 지원시스템, 최적화

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 안락성, 고객 정보와 함께 철도의 품질과 경쟁력에 관한 표준 판단기준이 되기 때문에 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다 [8]. 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 [6]. 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 기

준에 따라 항상 정확한 해소 안을 제시하는 자동화 시스템이 요구된다. 따라서 철도청에서는 사령실 통합 신호설비 구축사업의 일환으로 열차 경합의 검지 및 해소를 자동화하는 시스템을 구현중에 있다. 본 논문은 시스템 구현 방안을 제시한다. 또한 이러한 시스템을 구현하는데 있어서 열차지연을 정량적으로 수치화할 수 있는 기법이 요구된다. 이러한 기법에서는 고객의 편의 및 철도 시스템의 효율적인 활용을 위해서 열차의 종류, 지연 및 교행을 수행하는 역에 따른 다양한 고려가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 우리나라의 열차 운행 실정에 맞는 경합 해소 최적화 알고리즘을 제시하는데 있어서 지연시간을 수치화하는 방안을 제시한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 경합 검지 및 해소 시스템 및 알고리즘을 소개한다. 3장에서는 최적화 알고리즘의 핵심 부분인 목적 함수를 설정하여 열차 지연의 수치화 기법을 제시한다. 마지막으로 4장에서 결론을 내린다.

2. 열차 경합 해소 시스템

열차 경합 검지 및 해소 시스템은 열차운행관리 시스템(Railway Traffic Management System, RTMS)의 의사결정 지원 모듈이다. 국내에서는 기존에 5개 지역본부별로 수작업으로 해오던 열차 경합 검지 및 해소를 철도청 통합 신호설비 구축과 더불어 자동화하는 사업을 진행하고 있다. 열차 경합 해소 시스템은 CDRS의 가장 중요한 비중을 차지하고 있는 부분으로서 경합이 발생할 경우 그에 대한 최적화 된 대안을 사령에게 제시하는 것을 목적으로 한다.

참고 1. 여기서 제시된 대안은 사령의 선택에 도움을 주는 것으로 시스템 자체적으로 새로운 대안을 실행하지는 못한다. 따라서 본 시스템은 열차운행 자동관리 시스템이 아닌 의사결정 지원시스템(Decision Support System)이다.

저자 소개

- * 연세대학교 전기전자공학부
- ** 군산대학교 전자정보공학부
- *** 철도대학 철도경영정보과

표 1 경합의 종류 및 원인

예상경합	경합 종류	경합 원인
충돌	열차추월경합	노선에서 선행열차의 불필요한 감속 및 정차 등으로 인한 지연
	열차교행경합	단선에서 열차의 지연으로 계획된 교행이 사전 계획에 따라 발생하지 않은 경우
	열차경로경합	열차의 지연으로 두열차가 동일 도착선 요구할 경우
	열차수령경합	두 개 이상의 노선으로부터 열차의 합류가 사전계획에 따라 일어나지 않는 경우
충돌위험	운전시각경합	잘못된 계산식실행 열차의 불필요한 감속 및 정차로 인한 지연

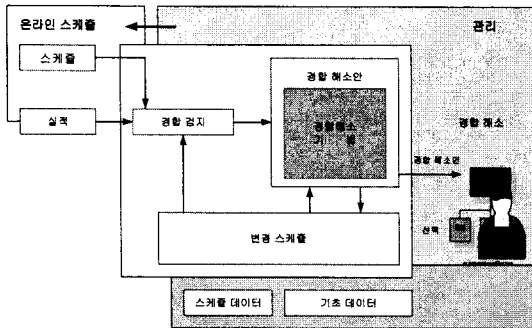


그림 1 열차 경합 해소 시스템의 개요도

본 논문에서는 열차와 열차간의 충돌에 해당하는 4가지 경우, 충돌 위험에 해당하는 한 가지 경우를 포함하여 모두 5가지의 경우로 열차 경합을 구분한다. 각 경우에 해당하는 경합의 종류와 그 원인은 표 1에 정리되어 있다. 경합 해소 시스템의 목적은 표1과 같은 원인들로 인해 발생하는 경합을 효율적으로 해소하며, 동시에 최초에 계획된 스케줄의 변경을 최소화함으로써 높은 정시성을 확보하는 것이다.

그림 1에 나와 있는 것처럼 기본적으로 열차 운행에 관련된 동적 데이터와 역 및 선로 정보 등의 정적 데이터를 기반으로 경합의 발생을 예측한다. 경합이 검지되었을 경우 경합 검지 시스템은 사령에게 경합의 발생을 통보함과 동시에 경합 해소 시스템에 통보를 하게 되며, 이것을 바탕으로 경합 해소 시스템은 여러 해소 안을 탐색하여 최적화된 안을 사령에게 제시한다. 사령은 이렇게 제시된 해소 안 중 하나를 선택하거나, 다른 방안을 제시할 수 있다. 그리고 사령이 승인한 해소 안은 온라인 스케줄로써 업데이트 된다.

경합 해소는 그림 2와 그림 3을 통해서 볼 수 있는 것처럼 본질적으로 열차의 교행 및 지연시킬 역을 탐색하여 결정하는 것이므로 여러 개의 해소 안이 나올 수 있다. 해결 방안으로써 한 열차를 특정 역에서 지연시킬 때 그로 인한 추가 경합이 발생하는 지에 대한 판단이 이루어져야 하며 추가 경합이 발생할 경우 그에 대해서도 해결 방안이 필요하다. 따라서 추가적인 경합이 발생하지 않을 때까지 해결 방안의 생

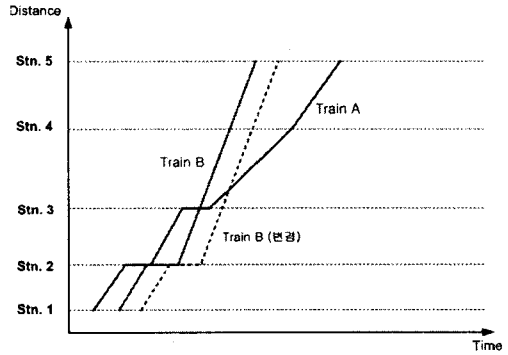


그림 2 경합 발생 상황

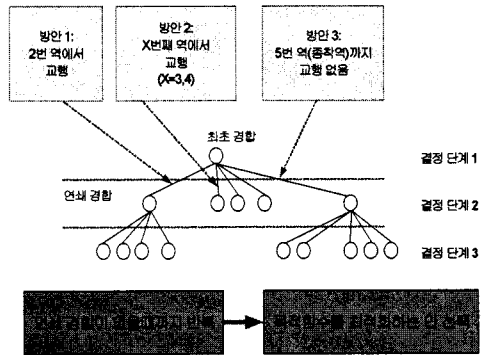


그림 3 최적화 알고리즘의 기본 구조

성을 반복하며 이런 과정을 통해 하나의 해소 안이 생성된다. 시스템은 처음 경합이 발생한 열차에 대해서 교행 및 지연시킬 역을 다르게 선택함으로써 여러 개의 해소 안들이 도출 되고 이렇게 생성된 여러 개의 해소 안을 기 설정된 목적함수를 통해 계산하여 최종적으로 최적화된 안을 선택하여 승인 한다. 목적함수의 설정에 관한 사항은 다음 장에서 논의한다.

3. 열차 지연의 수치화 기법

앞에서 설명한 바와 같이 CDRS의 목표는 열차가 최초 계획된 스케줄에 나와 있는 데로 운행하도록 하는 것이다. 따라서 목적함수는 기본적으로 열차의 지연시간의 합으로 설정 된다. 그러나 여객열차와 화물열차의 지연, KTX와 새마을호의 지연, 경부선 열차와 전라선 열차의 지연을 같은 정도로 취급해서는 안 된다. 여객열차는 화물열차에 비하여, KTX는 새마을호에 비하여 더 높은 정시성이 요구되기 때문이다. 또한 경부선에는 운행량이 많고, 열차 간 평균 운전시각이 짧기 때문에 전라선 및 다른 노선에 비하여 열차지연이 후속열차에 미치는 영향이 크게 된다. 따라서 현재 시스템에서는 열차 간 우선순위를 설정하여, 경합이 발생했을 경우 이러한 우선순위를 고려하여 경합의 해소안을 제시하고 있다. 하지만 현재는 전체 시스템의 입장이 아닌 일부 열차의 입장에서 우선순위를 고려하기 때문에 그렇게 제시된 해소안은 전체 시스템의 성능을 저하시킬 가능성이 매우 크다.

표 2. 경합해소 시스템의 규칙

번호	내용
1	<p>여객열차간 경합시 우선순위</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기본적으로 KTX > 새마을 > 무궁화 순으로 한다. · 새마을호의 b분 이상 지연 예상시, 새마을호를 우선으로 보낸다. (단 이로 인해 KTX의 지연시간이 a분을 초과해서는 안된다.) · 무궁화호의 c분 이상 지연 예상시 무궁화호를 우선으로 보낸다. (단 이로 인해 KTX의 지연시간이 a분, 새마을호의 지연시간이 b분을 초과해서는 안된다.)
2	<p>환불의 최소화</p> <ul style="list-style-type: none"> · 지연시간의 과다로 인한 환불을 최소화하는 방향으로 경합을 해소한다.
3	<p>계획스케줄의 최소화 변경</p> <ul style="list-style-type: none"> · 경합 해소 방안 도출시 계획 스케줄의 변경을 최소로 한다.
5	<p>여객열차와 화물열차간 우선순위</p> <ul style="list-style-type: none"> · 여객열차와 화물열차간 경합시 항상 여객열차를 화물열차보다 우선으로 고려한다.
6	<p>교행역선택</p> <ul style="list-style-type: none"> · 경합으로 인하여 열차를 대피 시킬 경우 계획상 정차가 예정된 역에서 정차하는 것을 기본으로 한다.
7	<p>노선간 경합 발생시</p> <ul style="list-style-type: none"> · 경부선 등 주요 노선에 대하여 우선순위를 부여한다.

또한 현재 사령의 경험에 의하여 제시하고 있는 경합의 해소안을 컴퓨터에 의하여 제시할 경우, 이러한 사령의 경험을 시스템에 그대로 접목시키는 것은 매우 어렵다. 따라서 우리는 사령의 경험을 반영하면서 지연을 전역적으로 고려할 수 있도록 지연시간을 수치화하는 기법을 도입하고자 한다. 이에 우리는 목적함수를 다음과 같은 모든 열차의 가중치를 고려한 지연시간의 합으로 설정하였다.

$$J = \sum_{trn=1}^n t_{TrnNo} \times W_{TrnKindNo} \times W_{TrnNo} \times W_{TrnNoStnCro} \times W_{TrnNoStnDel} \quad (1)$$

여기에서 t_{TrnNo} 은 열차별 지연시간, $W_{TrnKindNo}$ 은 열차 종류별 가중치, W_{TrnNo} 은 열차별 가중치, $W_{TrnNoStnCro}$ 은 경유역 가중치, $W_{TrnNoStnDel}$ 은 지연역 가중치이다.

열차 종류별 가중치는 열차가 여객열차, 화물열차 여부 및 열차의 등급에 따른 가중치를 부여하는 것을 의미하고, 경유역 가중치 및 지연역 가중치는 열차의 정차가 최초 계획된 역에서 실행되도록 유도하는 작용을 한다. 열차별 가중치는 개별 열차별로 설정된 가중치로 사령의 판단에 의하여 과지연 열차의 회복, 중요도가 높은 열차의 우선시 등에 사용된다. 열차별 가중치로 인하여 시스템은 높은 자유도를 가지게 된다. 이와 같이 설정된 목적함수에 의한 동정결과는 표 2에서 제시하는 규칙들을 만족시켜야 한다. 표 2에서 제시된 규칙들은 실제 운영을 고려하여 만든 규칙들이다. 이러한 규칙을 만족시키기 위해서는 시스템을 규칙기반 시스템으로 설계하는 것이 바람직하지만 시스템에서 발생하는 많은 예외적인

경우 및 여러 열차들이 복잡하게 엉켜있는 경우 등에서 규칙기반 시스템은 한계를 가지고 있고, 지연시간의 수치화에 적합하지 않기 때문에 적용하지 않았다. 표 2에서 열차의 지연시간을 나타내는 a, b, c는 환불의 최소화와 함께 고려하여 설정해야 할 값들이다.

참고 2. 현재 열차 지연시 환불기준은 KTX의 경우 25분 이상 지연시 지불운임의 25%, 50분 이상 지연시 지불운임의 50%, 2시간 이상 지연시 지불운임의 100%를 환불하도록 하고있고, 일반 열차의 경우 50분 이상 지연시 지불운임의 25%, 2시간 이상 지연시 지불운임의 50%를 환불하도록 되어 있다.

5. 결론

본 논문은 철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 경합의 효과적인 해소를 위하여 지연시간을 효과적으로 수치화 하는 기법을 제시하고자 하였다. 열차경합의 검지 및 해소는 열차운영의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능이다. 따라서 열차 경합의 검지 및 해소 문제에 있어서 철도 시스템을 전역적으로 고려할 수 있는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 이를 위하여 열차 경합 해소 시스템의 국내외의 기술현황을 바탕으로 우리 실정에 맞는 시스템을 제안하였다. 또한 지연시간의 계산에 있어서 지연의 수치화 기법 도입의 필요성을 설명하였다. 구체적인 가중치의 설정은 앞으로 연구해야 할 과제이다.

참고문헌

- [1] 이주왕, 김법식, 문영현, 홍효식, 유광균, "철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에서의 경합검지 알고리즘," 한국철도학회 추계학술대회는논문집, 2004
- [2] 김택룡, 이상인, 주영훈, 박진배, 홍효식, 유광균, "철도청 사령실통합 신호설비 구축사업에서의 경합해소 알고리즘," 한국철도학회 추계학술대회는논문집,
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] Ismail Sahin (1999), "Railway Traffic Control and Train Scheduling Based on Inter-Train Conflict Management", Transportation Research Part B, Vol. 33, pp. 511-534.
- [6] 오석문, "최적화 해법을 이용한 열차경합 해소와 한국철도 적용방안",
- [7] 오석문, 김영훈, 김성호, 김동희, 홍순흠 (2002), "유전자 알고리즘을 이용한 열차경합 해소문제에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집
- [8] 노학래, 철도역에서 도착지체의 결정 및 분석
- [9] 유영훈, 황종규, 조근식 (1999), "열차 발착시간에 대한 열차 운영 스케줄링 시스템", 한국지능정보시스템학회 논문지, 5권 1호, pp. 81-93.