

铁路移动闭塞系统列车信息的移动性管理

潘 登, 郑应平

(同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 移动闭塞技术已经成功地应用于城市轨道交通, 能够提高运输效率, 但尚未在铁路上实际应用。该文分析铁路运输相比于城市轨道交通的特殊性和复杂性, 讨论列车信息移动性管理对铁路移动闭塞系统的重要性, 提出车站“三环节”列车信息动态管理策略和基于双向链表存储结构的区间列车信息动态管理办法, 研究基于层次索引的列车信息查询, 分析其相关算法和性能。对铁路移动闭塞系统的研究与应用, 有一定参考价值。

关键词: 移动闭塞系统; 列车信息; 移动性管理; 数据结构

Moving Management of Train Information in Railway Moving Automatic Block System

PAN Deng, ZHENG Ying-ping

(School of Electronic & Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804)

【Abstract】 Moving block technology is successfully applied in urban mass transit system, and can enhance its transportation efficiency evidently. But its practical applications have not been taken place on railway. After analyzing the complexities and specialties of moving automatic block system in comparison with urban mass transit system, this paper discusses the importance of train information moving management in railway moving automatic block system, and presents the three-stage dynamic information management strategy of train and the dynamic information management methods of sector trains based on the bidirectional link list. And the train information inquiry is studied on the basis of hierarchal concordance. This paper analyzes the associated algorithms and its performances. All these have definite value for reference to the research and the applications of railway automatic moving block system.

【Key words】 moving automatic block system; train information; moving management; data structure

1 概述

移动闭塞系统(moving automatic block system)是在现代通信技术、计算机技术和控制技术的基础上发展起来的一种新型列车运行安全控制与防护系统, 与目前世界上广泛使用的铁路固定闭塞系统相比, 可以有效扩大线路通过能力, 提高行车组织效率和现代化水平, 而且城市轨道交通的成功实践已经初步验证了其先进性、安全性和可靠性。我国铁路长期“运能紧张、运力不足”, 提高车辆运用效率, “柔化”满表执行或近乎满表执行的刚性运行图, 增加列车运行调度的调控弹性等一直是我国铁路运输工作的重点和难点, 移动闭塞技术不失为一种有效的解决办法。但是, 移动闭塞技术在规模庞大的铁路运输网络上尚无应用实例, 主要原因在于:

(1) 铁路运输线路纵横交错, 贯通于不同地形、地貌, 不同地区气候条件往往存在较大差异, 线路状况较城市轨道交通更为复杂。

(2) 人口分布与区域经济发展极不平衡, 造成客流、货流的时空分布不均, 不可能像城市轨道交通那样固定列车编组、和每趟列车载重大致相同, 这直接影响到列车的牵引、制动性能。

(3) 铁路是一个大的联动机, 不可能把铁路运输网络分割成若干封闭线路或运输环线, 像城市轨道交通那样实现公交化运行。

(4) 铁路移动闭塞系统必须是安全苛求系统, 满足铁路运输网络复杂情况下运输组织和列车运行的安全性需求。GPS、

无线定位、惯性导航等技术是铁路移动闭塞系统实现列车定位导航的主要技术手段, 由于该系统在区间不设置信号机, 因此安全上必须具有可靠的技术保障措施, 这无疑对目前的移动闭塞技术提出了更高的要求。

因此, 如何发展和完善移动闭塞技术, 使其成为适合各国国情、有效提高铁路运输能力的列车运行安全控制与防护系统, 已经成为国内外众多学者关注的热点问题。鉴于铁路运输在我国经济发展中的重要性, 北京交通大学、同济大学、铁道部科学研究院、西南交通大学等对此进行了卓有成效的研究, 在列车追踪运行机制方面取得大量研究成果。“铁路移动闭塞系统列车信息的移动性管理”方面的文献较少, 相对于固定闭塞系统, 列车信息的移动性管理对铁路移动闭塞系统的运输安全显得更加重要。

2 移动闭塞系统的基本原理^[1-3]

在固定闭塞系统中, 闭塞分区是指检查列车占用情况、并在两端设置同方向信号机对列车运行进行安全防护和控制的固定轨道区段。与此不同, 移动闭塞系统在区间不设置信号机, 其闭塞分区相应地表现出“移动”和“变化”的特征, 其长度一般以“列车安全追踪运行间隔”为确定依据。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“可中断批处理多服务器系统动态调度的研究”(60674076)

作者简介: 潘 登(1969 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 智能控制, 智能交通, 生产调度; 郑应平, 教授、博士生导师

收稿日期: 2007-05-30 **E-mail:** pandengreal@163.com

列车安全追踪运行间隔与列车的速度和制动能力密切相关。图 1(a)描述了列车的 2 种制动方式：常用制动曲线 (conventional braking curve) 用于保证列车正常停车过程中的平稳性和舒适性；紧急制动曲线 (emergent braking curve) 用于突发事件情况下最大限度地保证列车运行安全。图 1(b)描述 2 趟列车以速度 V_0 追踪运行过程中各参数之间的数学关系：

$$S = S_2 - S_1 + \Delta S \quad (1)$$

其中, S 为列车安全追踪运行间隔； S_1 为 Train1 的制动距离； S_2 为 Train2 的制动距离； ΔS 为停车富裕间隔。设 S_c^* 、 S_e^* 分别为列车 * 的常用制动距离和紧急制动距离。 $S_2 = S_2^c$ ， $S_1 = S_1^c$ 时，称之为“撞软墙”追踪运行方式； $S_2 = S_2^c$ ， $S_1 = 0$ 时，称为“撞硬墙”追踪运行方式。

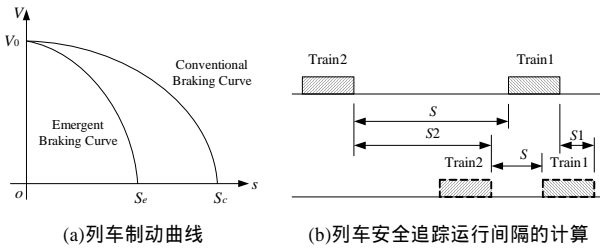


图 1 移动闭塞系统的基本原理

无论何种追踪运行方式，都要保证列车追踪运行的安全。列车根据自身与前方列车的固有参数(如载重、牵引与制动能力、位置、速度、加速度等)和线路状况(坡道、弯道、允许运行速度等参数)，以确保安全运行为前提，动态确定闭塞分区。参数不同，列车追踪运行达到“安全高效”的闭塞分区临界长度也会有所不同，因此，科学地确定不同情况下追踪运行安全间隔，可以达到既能有效防护列车运行安全，又能明显提高区间通过能力的目的。显然，没有对列车信息的有效管理，就难以实现列车运行的安全控制和防护，也无法充分发挥移动闭塞系统的积极作用。

3 列车信息的移动性管理

目前主要基于无线移动网络进行移动性管理的研究。大量的研究成果为铁路移动闭塞系统列车信息的移动性管理研究奠定了良好的基础，但是列车移动具有自身的特点：

(1)列车在移动过程中，甩挂、解编等作业会改变列车参数，如列车位置、牵引重量等，不及时更新列车信息，就会影响列车的运行效率和行车安全。

(2)铁路运输网络纵横交错，交会、越行或者列车驶入(出)当前运行线路等均会造成列车彼此之间空间关系的改变；追踪不同的列车或被不同的列车追踪，列车追踪运行的行为细节也会有所不同。

上述因素直接关系到列车的运行安全和效率。这里首先对列车信息进行面向对象分析，定义相应的数据类型，然后再具体讨论列车的移动性管理。

3.1 列车信息的面向对象分析

每一趟列车都是一个实体，蕴含着丰富的信息。可以用“类”与“对象”的概念对列车实体进行抽象，从而实现列车信息的封装。列车类为：

```
class Train
{Public:
...
Protected:
void initialize (...); //参数初始化
```

```
void SetParameter (...); //参数设置，用于列车中途的用、
//挂和解体、编组等
char* SetTrainName (); //设置列车车次，用于列车车次的变更
char* GetTrainName (); //查询列车车次
double * SetTrainHead (); //根据测量结果赋列车头部坐标
double * GetTrainHead (); //查询列车头部坐标
double * SetTrainEnd (); //根据测量结果赋列车尾部坐标
double * GetTrainEnd (); //查询列车尾部坐标
...
Private:
char* TrainName; //列车车次
double TrainHead []; //列车头部坐标
double TrainEnd []; //列车尾部坐标
double TrainLength; //列车长度
int direction; //运行方向
double LocomotiveMass; //机车质量
double VehicleMass; //车辆质量
double *PowerParameter[]; //机车牵引、制动参数
int BrakeMode //制动停车模式：常用 1，紧急 2，其他 0
double Velocity; //列车速度
double Acceleration; //列车加速度
char* LineName; //线路名称
DateTime datetime //时间对象，用于存储日期时间
Char* CurrIPAdress //列车自身 IP 地址
Char* PriorIPAdress //前方列车 IP 地址
Char* NextIPAdress //后方列车 IP 地址
...}
```

列车类的对象为：

$$\text{Train } T_1, T_2, \dots, T_n$$

其中， T_1, T_2, \dots, T_n 即为封装了自身状态(各种参数)、行为(各种操作函数)和其他信息的列车实体。列车头、尾部坐标和列车长度，用以确定列车位置和列车的完整性检查(须综合考虑线路坡度、曲率等因素)；参数direction用以描述列车运行方向，一般经过调度中心授权、由车站具体指挥列车改变方向；列车速度、加速度、质量，以及牵引、制动参数等，是决定列车行为的依据；列车IP地址用于区间列车之间的通信；不同的列车之间、车站和调度中心可通过外部接口(类的操作函数)进行信息交流和数据传递，并能通过这些外部接口实现对列车参数调整(如摘挂、解编作业等)和行为的控制。

3.2 列车信息移动性管理

列车在区间追踪运行，不会改变相互之间在空间上的顺序关系。但是，由于列车在车站进行交会、避让、越行、摘挂、解编等作业，可能造成追踪运行列车原有空间关系的改变，而这种改变在实际铁路运输中是司空见惯的；不同列车在不同车站同时作业，以及不同区间之间，存在大量的异步并发行为。因此，列车信息的移动性管理必须根据车站、区间行车组织的不同特点分别予以研究，尽可能充分地体现行车组织过程中异步并发事件。本文以图 2 所示复线铁路为研究对象。

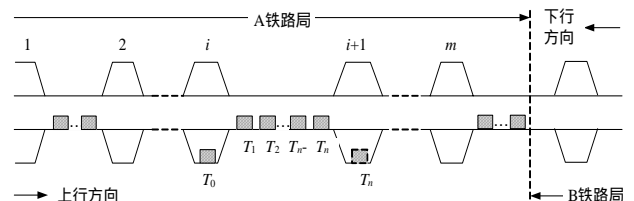


图 2 某复线铁路示意图

在图 2 中, 线路有 m 个车站, T_1, T_2, \dots, T_n 为从 A 铁路局 i 与 $i+1$ 两站之间顺序运行于该线路上的列车。

3.2.1 车站列车信息的动态管理

列车在车站进行作业, 其信息会发生改变, 必须实现列车信息的动态管理。车站作业一般包括接、发车(列车通过车站可以分解为接、发车等环节进行处理)作业和站内其他作业(简称站内)等, 为具一般性, 将车站列车信息的管理划分为接车、站内和发车 3 个环节, 以实现车站列车信息的动态管理。

图 3 描述了线路上第 i 车站上行方向列车信息动态管理的过程。



图 3 上行方向各车站列车信息的动态存储情况

在图 3 中, S 表示“上行方向”, i 表示车站的编号, “+”, “-”分别表示车站接、发车作业, 每个车站分别设立 S_{i+} , S_i , S_{i-} ($i \in I, 1 \leq i \leq m, S_{m+1+} = S_{out}$ 代表 A 铁路局与 B 铁路局交界处) 3 个信息实体对上述 3 个环节的列车信息进行管理, 其中:

- (1) S_{i+} 用于记录车站建立接车进路和列车从区间驶入、动态占用进路的全过程;
- (2) S_i 用于记录除接发车作业外的列车站内停车、通过、摘挂、解编等作业情况及其站内位置等信息;
- (3) S_{i-} 用于记录车站建立发车进路和列车动态占用进路、驶入区间的全过程;
- (4) 建立区间 $[S_{i-}, S_{i+1+}]$ 上列车信息存储结构, 用于记录列车在区间的运动行为等信息(见 3.2.2 节论述)。由图 3 可知, 只要“找到” S_{i+} , S_i , S_{i-} , 不仅可以查询列车在车站作业的情况, 而且可以了解区间列车运行情况, 有利于部、局调度部门做出正确决策。

同理, 下行方向各车站列车信息的动态存储也可做上述处理。这里作以下约定:

- (1) 列车信息的变更, 一般由调度中心授权车站具体完成。车站发车前必须检查列车的完整性、列车信息的一致性以及其实时更新情况, 只有满足条件的列车才能进入发车状态。
- (2) 列车进入发车状态, 应检查与前方区间列车运行方向是否一致, 满足条件才允许建立发车进路, 列车完全越过进站信号机(区间一般以此为界), 即由发车环节 S_{i-} 进入区间列车信息管理环节; 列车进入进站信号机内方, 即由车站接车环节 S_{i+} 对列车信息进行管理; 列车进行除接发车之外的站内其他作业, 由站内环节 S_i 进行列车信息管理。

(3) 列车尾部越过路局分界点由 A 铁路局完全驶入 B 铁路局的情况, 设置 $S_{out}(= S_{m+1+})$ 以对分界点进行模拟(见 3.2.2 节论述), 列车越过分界点, 即由 B 铁路局进行管理, 表示列车已交出。

3.2.2 区间列车信息的动态管理

列车在区间运行, 虽然相互之间在空间上的前后关系不变, 但列车速度、相互之间的间隔等参数可能会发生变化, 还必须对列车进行完整性检查, 等。就铁路移动闭塞系统而言, 对列车信息进行管理, 是将信息及时传递到相关列车并实现区间列车运行控制和安全防护的前提。

从数据结构上来说, 一般可以用“队列”来描述列车在

区间的追踪运行。考虑到区间追踪列车的车次、数量随时间动态变化、以及调度中心和站、段进行列车信息查询的效率问题和未来功能扩展, 这里利用双向链表来实现列车(信息)“队列”的管理。链表(linked list)是一种有若干相同类型数据元素组成的、可以在任意位置进行插入和删除操作的线性链式存储结构^[4]。由于运行于同一区间的列车相互之间的空间关系不会改变, 有必要对双向链表的某些功能进行“屏蔽”, 即该双向链表为先进先出表, 除发车站向链表插入“列车”和接车站将“进站列车”从链表中删除外, 不允许对链表进行其他任何形式的“插入”和“删除”操作。以图 2 上行方向为例, 图 4 描述了区间列车信息链表、以及列车 T_0 从第 i 车站进入区间 $[i, i+1]$ 和列车 T_n 从区间 $[i, i+1]$ 进入第 $i+1$ 车站后的链表操作情况。

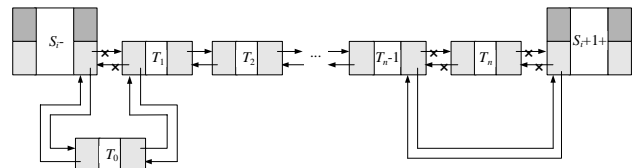


图 4 某复线线路上行方向 $[i, i+1]$ 区间列车信息链表

“列车”被插入区间列车信息列表时, 即“告知”其前方列车的 IP 地址, 并对其“预告”后续列车的 IP 地址。区间列车信息链表有助于增强列车通信对象的识别能力, 从而可以减少通信资源的开销。区间列车信息的变化、自身完整性检查以及完成自身行为的动态调整(与前方列车保持合理、高效的间隔距离), 均由列车自身完成。这就要求列车必须是具有自主智能的主体, 能够对 GPS、无线定位、惯性导航系统的测量信息进行融合计算, 并实时更新列车速度、位置等参数。

3.2.3 基于层次索引的列车信息查询

铁道部、铁路局的调度部门按线路对列车信息进行查询, 可以建立铁道部、铁路局、线路、车站的层次查询关系。图 5 描述了某线路基于车站索引的层次查询关系。

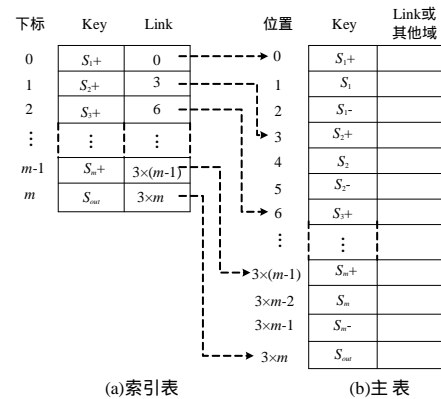


图 5 某线路基于车站索引的列车信息查询

某线路的调度员可以通过图 5 所示的查询方式得到某车站和某区间的列车运行情况。与此类似, 建立铁路局对各线路、铁道部对各路局的索引表, 即可完成相应的列车信息查询, 从而为行车调度指挥提供依据。

4 算法与性能分析

对于链表来说, 插入和删除操作的时间复杂度最高^[4]。由于本文采取只在发车时向链表插入、接车时从链表删除的双向链表, “插入”、“删除”对区间两端的发车站和接车站而

(下转第 9 页)