

一种城际高速磁浮列车运行调整方法

李 勋, 石阳阳, 彭 勤

(轨道交通信号系统湖南省工程研究中心, 湖南 长沙 410005)

摘 要: 城际高速磁浮列车依据中央控制系统下发的运行图/时刻表运行。文章根据历史运营数据及流量, 建立基于优化列车运行图的调整技术框架模型, 并采用列车冲突检测计算方法进行校验; 最后通过仿真软件对其进行验证检测, 得出科学合理的运行计划及调整模型。

关键词: 城际高速磁浮列车; 列车运行图; 运行调整; 自动驾驶

中图分类号: U260; U268

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2018)02-0061-04

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2018.02.014

An Operation Adjustment Method for Intercity High Speed Maglev Train

LI Xun, SHI Yangyang, PENG Qin

(Hunan Province Rail Transit Signaling System Engineering Research Center, Changsha, Hunan 410005, China)

Abstract: The intercity high speed maglev train runs automatically according to the train operation diagram / timetable issued by the central control system. Based on historical operation data and traffic flow, this paper established a framework model for operation adjustment based on optimized train operation diagram. Train collision detection method was used to check the model. Finally, the simulation software was used to verify the model, and the scientific and reasonable operation plan and adjustment model were obtained.

Keywords: intercity high speed maglev train; train operation chart; train operation regulation; automatic drive

0 引言

城际高速磁浮列车具有高速快捷、安全舒适等特点, 是缓解城市之间交通压力的一种运输方式。正常情况下, 列车按照系统设计的运行图进行运营; 一旦受到随机因素的影响、导致实际运行图与计划运行图偏离时, 则需对列车的运行图进行调整使其恢复按计划运行。在确保行车安全的条件下, 实际运行图与计划运行图误差一般不能超过 5 min; 但由于高速磁浮列车的运行速度极快, 微小的误差引起的列车运行偏差也会很大, 因此在确保运营安全的同时, 需优化运行图调整功能, 科学地调节运营计划, 降低轨道交通运输成本、提高服务乘客水平。

目前针对高速磁浮中央控制系统的运行调整方法相对较少, 而地铁和城际铁路的运行调整较为简单且无法

通用。当故障或突发事件发生后, 调度员为行车调整耗费大量精力, 且收效甚微。

本文借鉴了地铁、有轨电车和高速磁浮列车等相关的研究成果^[1-2]、结合城际高速磁浮的特殊性进行研究, 建立了列车运行调整技术框架, 并采用自动及人工的调整方法, 实现了高速磁浮列车的自动运行调整。

1 建立调整技术框架

在列车运营之前, 根据线路及列车运行的基础情况, 再结合自动售检票系统(AFC)采集的历史客流量数据建立模型, 形成合理科学的运行计划。文献[3]提出了列车时刻表优化技术应用框架。在建模过程中, 应充分考虑到站乘客下车流量及因上车乘客滞后所需的时间, 分别建模和平衡计算。预算列车到达各站台的时间, 并匹配客流特征参数, 对运行图的停站时间进行优化, 得到列车优化后的运行计划, 再下发到分区控制系统, 对列车运行进行实时调整。图1示出高速磁浮列车运行调

收稿日期: 2017-10-31

作者简介: 李勋(1983-), 男, 设计师, 主要从事磁浮列车运控系统设计。

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFB1200602)

整的详细流程。

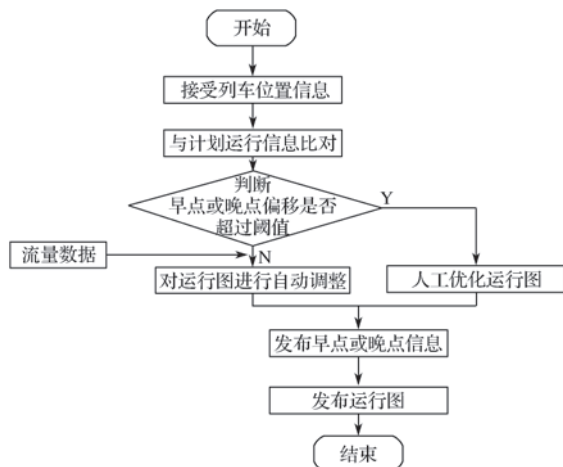


图1 运行调整流程

Fig. 1 Operation adjustment process

中央控制系统实时接收来自分区控制系统的列车位置信息，对列车信息数据实现上、下行分类，实现定位跟踪。

根据分区控制系统提供的列车位置信息与计划运行图进行比对，判断当前的计划信息与实时的列车运行信息之间的偏差。如发生早点或晚点，判断偏差值的大小，若偏差值没有超过阈值，系统采用自动调整；当偏差值超过阈值时，系统提示进行人工调整并根据系统偏移的情况进行引导调整。

自动调整时，系统会实时采集站台客流量信息，在确保数据完整的前提下，对其进行有效性检查，删除错误的信息，填补缺失的数据；得到有效的站台流量数据后，对数据进行分析，并对当前站台的停站时间进行实时调整。

人工优化运行图主要以调整运行参数为主，由人工对每一个影响正常运行的因素进行理论分析和条件对比计算，得出各因素在列车运行过程中的影响效果，由此进行合理的假设和推算，并通过运用各种手段达到优化运行图的目的。

自动调整和人工调整都是基于已经偏离运行计划的调整，大部分情况为晚点，此时应考虑对乘客进行列车晚点情况通告。

对调整后的运行计划实时下发，各个分区控制系统实时接收优化后的运行图以控制列车的自动运行。

2 自动调整过程

默认情况下，磁浮系统采用自动调整方式指挥列车运行，当列车出现早晚点的情况且在自动调整范围内时，系统自动实时调整运行参数，直至列车实际运行与计划运行图达到一致；当超过自动调整范围时，系统提示人工介入调整^[4]。

大部分自动调整功能均基于列车延时处理，因此用减

少停站时间来恢复延迟是使用最多的调整方法，设置停站时间的调整应满足最小停站时间阈值。调整模型如下：

$$T(j+1)=S(j+1)-T \times G, j=0, 1, \dots, n \quad (1)$$

式中： $T(j+1)$ ——当前站台停站时间； $S(j+1)$ ——当前站台的计划停站时间； T ——由列车运行调整决策而决定的比率； G ——偏移时间。

调整流程为：以当天计划运行图为准，当列车实际运行与计划偏离时，通过向分区控制系统发送调整指令，使列车尽可能按照当天计划运行，实现列车的时刻表调整。系统优先调整停站时间；当超过了停站时间调整范围时，则调整区间运行时间，中央控制系统将运行参数发到分区控制系统，分区控制系统按照中央控制系统提供的运行计划实时计算最大运行速度曲线、最小运行速度曲线及期望速度，实现对牵引系统的控制。

3 人工调整过程

当列车运行严重偏离计划、超过自动调整范围时，列车将无法按照自动调整运行图运行。此时，调度员可通过运行图管理子系统的在线模式进行人工修改时刻表，并将修改后的时刻表实时下发至分区控制系统；分区控制系统将立即根据修改后的计划指挥列车运行，使列车尽可能按照调整后的时刻表运行。人工调整中较为常用的几种调整方法如图2所示。

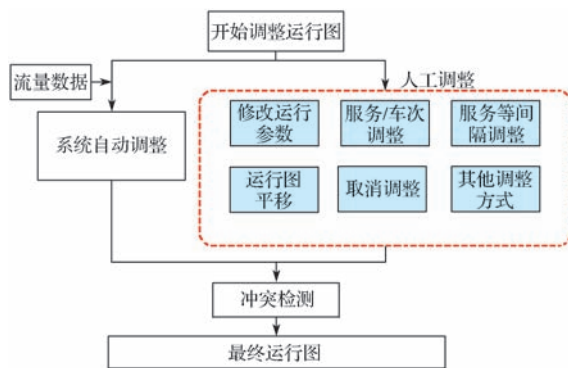


图2 运行调整方法

Fig. 2 Operation adjustment method

3.1 修改运行参数

通过修改参数来优化运行图是最直观常用的手段，其通过获取列车运行的影响因数，包括基础设施数据和列车运行参数，对运行图进行优化。调整的参数对应遵循以下要求：停站时间（最小停站时间、最大停站时间）、运行时间（区间最小运行时间、区间最大运行时间）、折返时间（最小折返时间、最大折返时间）等。同时调整应进行冲突检测并给出相应提示。

3.2 服务/车次调整

若实施“修改运行参数”之后仍无法通过调整停站时间和运行速度来满足计划运行的要求，则在条件允许

的情况下，亦可对服务 / 车次进行调整，即采用增加、修改或删除服务 / 车次的方法来优化运行图。

3.3 服务等间隔调整

通常采用运行图调整之后，当列车运行紊乱、无法按照时刻表计划运行且人工调整也很难保证列车按运行图计划运行时，可选择采用等间隔调整方法^[5]，使得同一交路上的各次列车在各个车站的到达时间保持一个固定的间隔。实现列车的等间隔调整后，最终运行的车次可能与原计划对应车次相差较大。图 3 示出等间隔调整实例结果图，其中蓝色线为计划运行图，红色线为实际运行图。可以看出，全线整体延迟了大概 14 min，通过缩短后面的停站时间和调整相等的发车间隔，实现等间隔调整的目的，最终全线运行车次与计划车次相差较大。

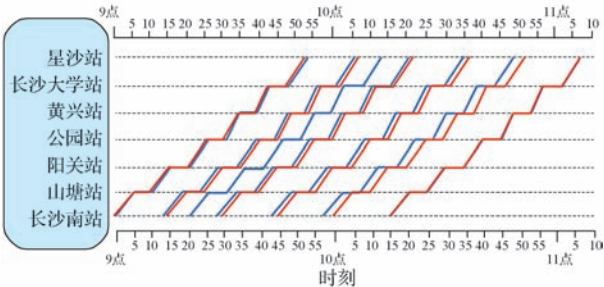


图 3 等间隔调整结果
Fig. 3 Regulation result of headway

3.4 运行图平移

当出现突发事故导致运营中断时，可能需要对后续运营服务进行整体延后，此时可以采用运行图平移的方法进行优化，即在指定的时间范围内，通过调整后续车次的发车时间来恢复目前产生的时刻表延迟，使最终运行的车次可能与原来计划车次重叠。图 4 示出采用运行图平移调整后的实例结果，其中蓝色线为计划运行图，红色线为实际运行图。可以看出，全线整体延迟了大概 5 min，通过缩短后面的停站时间及发车间隔时间实现平移策略，最后的全线运行线路与计划达到基本一致。

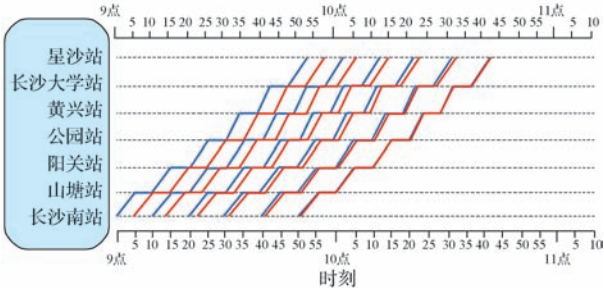


图 4 运行图平移结果
Fig. 4 Transition result of operation chart

3.5 取消调整

当执行了运行图调整之后，用户根据运营要求，不需要对原运行图做任何修改，可选择回退到调整之前的

版本。回退选择应提供多种方式：运行图退回至前一版本、回退至最初版本、回退全部服务至最初版本等。

3.6 列车冲突解决方法

运行图的调整必须以列车行车安全为前提。在列车运行图调整后，可能会产生列车运行冲突，此时需要进行列车运行冲突检测。检测后系统将冲突点以红色标注，并以报警方式提醒调度员重新调整运行图，以消除冲突。冲突检测需解决的内容包括：

(1) 列车运行间隔是否合理。为了保证行车安全，列车的运行间隔不能小于规定的列车追踪间隔（式（2））。

$$|t_{ik}-t_{(i+1)k}|>\Delta T$$
 (2)

式中： $t_{(i+1)k}$ ——上列车预计到达 $i+1$ 站的时间； t_{ik} ——当前列车到达 i 站的时间； ΔT ——列车的最小行车间隔。

(2) 折返时间是否合理。合理的折返时间为

$$|T_j-T_i|>T_{Kmin}$$
 (3)

式中： T_j ——列车折返结束时间； T_i ——列车折返开始时间； T_{Kmin} ——第 j 站到第 i 站所需的最小折返运行时间。

(3) 出入库时间间隔是否合理。合理的时间间隔为

$$|T_j-T_i|>T_{Dmin}$$
 (4)

式中： T_{Dmin} ——出入库所需最小运行时间。

(4) 列车数量是否合理。合理的列车数量为

$$M_i=M_s$$
 (5)

式中： M_i ——实际运行车辆； M_s ——计划运行车辆数量。

(5) 列车是否能停在辅助停车区段内。

(6) 单个分区间只能存在一台运行车。

4 仿真验证

基本运行图编制完毕后，可在运行图编辑工作站上进行列车运行的模拟和仿真。根据调度命令、进路状态、线路参数、列车当前位置及速度信息，将线路按照物理区段分成长度不等的区段元素，同时在线路上划分出普通区段区域、折返区域、辅助停车区等^[6]，并遵循一个分区控制系统只允许一台运行车、非辅助停车区不允许停车等原则进行模拟仿真。为了防止车辆运行冲突的产生，车辆所保留的安全距离应满足其制动停车距离。在此基础上，检测基本运行图以及运行图调整后的可行性和合理性。

导入基本运行图数据到仿真系统进行模拟运行，同时设定多种可能延迟的场景实现早晚点模拟，仿真过程中对基本运行图进行适时调整。对比运行图调整前后早点或晚点时间的仿真结果（表 1 和表 2）可以看出，调整后的延时时间大幅度缩短，验证了该运行调整算法的有效性。

表 1 运行图调整前仿真结果

Tab.1 Simulation results before the regulating of operation diagram

车次号	开始时间	结束时间	早晚点时间 /s
101	15:31:45	16:01:23	+80
102	15:36:46	16:07:34	+76
103	15:41:47	16:15:21	+102
104	15:46:48	16:24:34	+92
105	15:51:49	16:33:41	+110
106	15:56:50	16:44:19	+65

表 2 运行图调整后仿真结果

Tab.2 Simulation results after the regulating of operation diagram

车次号	开始时间	结束时间	早晚点时间 /s
101	15:31:45	16:00:03	+2
102	15:36:46	16:06:22	+4
103	15:41:47	16:13:29	+0
104	15:46:48	16:22:19	+7
105	15:51:49	16:31:52	+12
106	15:56:50	16:42:17	+3

5 结语

为尽可能减轻调度员操作复杂度，本文为高速磁浮列车运行提供了灵活多样的调整方法。由于调整方法按照不同角度会有不同定义，本文参考地铁和有轨电车的标准，使调整达到“在一个可调整的时间范围内，尽可

能让列车运行符合原来的运营计划”的目的；同时考虑了实际的乘客流量和高速磁浮的特殊性等因素。由于没有获取高速磁浮实际运行的基础和运营数据，该方法目前还无法得到真实环境的验证。后续将基于实际运行数据不断完善调整算法及方法，得出更加科学合理的运行计划及调整模型。

参考文献：

[1] 虞翊. 高速磁浮交通运行控制系统总体系统技术设计[D]. 上海: 同济大学, 2017.

[2] 孙来平. 磁浮交通中央控制系统的安全操作与显示技术研究与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.

[3] 张宁. 一种城市轨道交通时刻表优化技术应用框架: 中国, 201410459677[P]. 2014-09-10.

[4] 上海城市建设和交通委员会. DGTJ 08-2130-2013 城市轨道交通基于通信的列车控制系统(CBTC)列车自动监控(ATS)技术规范[S]. 2013.

[5] 李文, 万宇辉. 地铁列车运行调整方法[J]. 城市轨道交通研究, 2013(9): 125-128.

LI W, WAN Y H. On the Adjustment Methods of Subway Trains[J]. Urban Mass Transit, 2013(9): 125-128.

[6] 吴梦媛. 中低速磁浮列控中心原理样机软件的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.



(上接第 46 页)

4 结语

本文提出一种利用 Deploytool 工具将 M 函数文件编译成 .NET 程序集及 C# 程序中调用生成 .NET 程序集的方法，并利用该方法设计实现了一个波形数据的快速傅里叶分析工具。通过该波形分析工具应用实例，结果证明使用该混合编程方案开发程序，可使算法技术员与界面设计员的工作在基于 .NET 程序集下实现无缝连接。利用该混合编程技术，可为非专业人员提供更多、更便利的算法工具。

参考文献：

[1] 雷阳, 王雪涛, 孙文娥. 基于 MATLAB GUI 的稳定精度数据分析软件设计[J]. 机电技术, 2016(4): 22-24.

[2] 张娟. 基于 Visual C++/MFC 汽车轮力数据分析软件的研究及实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

[3] 许川佩, 徐金地. 测量数据的分析与处理软件设计[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(8): 104-108.

XU C P, XU J D. Design of software for analysis and processing of measurement data[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2017, 36(8): 104-108.

[4] 范婵娟, 李晓欧. C# 与 Matlab 混合编程在 BEAM 绘制中的应用[J]. 微计算机信息, 2012(9): 459-461.

FAN C J, LI X O. Application of Plotting BEAM Using C# and Matlab Mixed Programming[J]. Microcomputer Information, 2012(9): 459-461.

[5] 张文军, 万宇. 基于 COM 的 Matlab 混合编程技术常见问题分

析[J]. 计算机与现代化, 2011, 1(4): 153-155.

ZHANG W J, WAN Y. Analysis of Universal Problem in Mixed Programming Technique with Matlab Based on COM[J]. Computer and Modernization, 2011, 1(4): 153-155.

[6] 慕巍, 王若亮, 李晶娣, 等. 基于 ActiveX 引擎的 VC++ 与 Matlab 混合编程及其应用[J]. 电子设计工程, 2010, 18(9): 40-42.

MU W, WANG R L, LI J D, et al. Hybrid program and application and application of VC++ and Matlab based on ActiveX engine[J]. Electronic Design Engineering, 2010, 18(9): 40-42.

[7] 陈闽江, 陈月卿, 陈建洪, 等. Matlab 与 C# 编程原理及在电力安全评估中的应用[J]. 安徽电力, 2016(2): 49-51.

CHEN M J, CHEN Y Q, CHEN J H, et al. Application of Matlab and C# Programming Principle in the Electrical Safety Assessment[J]. Anhui Electric Power, 2016(2): 49-51.

[8] 微软(中国)有限公司. MSDN 技术资源库[CD/OL]. <http://msdn.microsoft.com/msdnmag>, 2008.

[9] Kermit Sigmon. MATLAB Primer[D]. Gainesville: University of Florida, 2005.

[10] 楼顺天, 姚若玉, 沈俊霞. MATLAB 7.x 程序设计语言[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.

[11] FRIGO M, JOHNSON S G. FFTW: an adaptive software architecture for the FFT[C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. USA: IEEE, 2002, 3: 1381-1384.

[12] 李雪. 基于 FPGA 的 FFT 处理器的设计与优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.

[13] HASAN M, ARSLAN T. A triple port RAM based low power commutator architecture for a pipelined FFT processor[C]// International Symposium on Circuits and Systems. Thailand: IEEE, 2003, 16(8): 353-356.