

文章编号: 1005-8451 (2009) 10-0005-03

## 基于移动闭塞的列车自动运行仿真

黄秀玲, 王长林

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

**摘要:** 介绍ATO系统功能作用及节能操纵方案, 移动闭塞原理, 以及列车在自动驾驶过程中所需要的运动方程。通过对相应公式的分析, 将其应用在ATO系统中, 采用节能操纵方案, 计算出ATO系统在移动闭塞条件下的加速度, 速度, 并确保列车在安全、经济的条件下运行。

**关键词:** 移动闭塞; 列车自动运行; 单位合力; 仿真

中图分类号: U284.43 文献标识码: A

### Simulation on train automatic operation based on moving automatic block

HUANG Xiu-ling, WANG Chang-lin

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** It had introduced the ATO System, including it's function, effects and scheme saving energy resources operating, operation of using last engine, the theory of the Moving Automatic Block, as well as the equation of motion in the ATO System. According to analyzing the equations, and application of them to the ATO System which was under the condition of Moving Automatic block, using the saving energy resources operating engine method to get the acceleration and the rate. And also to insure train to safely and economically operate.

**Key words:** moving automatic block ; ATO ; unit forces; simulation

随着科学技术的进步, 区间闭塞方式和传统的人工驾驶方式, 已难以满足对轨道交通运输高速和高密度的要求。通过在移动闭塞条件下实现列车自动运行(ATO), 获得合理的优化操纵方案, 不仅提高运行速度, 缩短列车追踪间隔, 提高了列车运营密度, 而且保证列车运行的安全性和舒适

收稿日期: 2009-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60770832)

作者简介: 黄秀玲, 在读硕士研究生; 王长林, 教授。

性, 能有效地节约能源。

### 1 移动闭塞原理

保证列车安全, 在行车组织中, 必须保证运行的列车间有一定的间隔。列车在运行过程中要接收前行车位置, 根据前行车位置, 这个数据信息来判断下一时刻列车所要采用的运行方式。在移动闭塞方式中, 列车的追踪目标点是随时变化的

### 参考文献:

- [1] 李良英. 基于遗传算法的铁路纵断面优化设计方法[J]. 甘肃科技, 2006 (8): 157-159.
- [2] 陈国良, 王煦法, 王东生, 等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.
- [3] 冯晓, 杨佳, 李敏, 等. 基于遗传算法的公路纵断面优化应用分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2007 (7): 83-87.
- [4] 刘建蓓, 高晋生, 王貴山. 纵断面自动设计与优化技术研究[J]. 公路, 2008 (7): 297-300.
- [5] 蔡良伟, 李霞. 遗传算法交叉操作的改进[J]. 系统工程与电子技术, 2006 (28): 925-928.
- [6] 杨献波, 程建川, 冯云飞. 公路纵断面优化的遗传算法设计[J]. 交通与计算机, 2005 (3): 16-19.
- [7] Jong J C, Schonfeld P. An evolutionary model for simultaneously optimizing three-dimensional highway alignments[J]. Transportation research part B 37, 2003. 107-128.
- [8] Manoj K. Jha, Paul Schonfeld. A highway alignment optimization model using geographic information systems[J]. Transportation Research Part A 38, 2004: 455-481.
- [9] 杨献波. 基于遗传算法的公路纵断面优化研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [10] 杨名. 基于蚁群算法的道路纵断面优化设计[D]. 长沙: 中南大学, 2008.

前行列车的尾部,应留有一定的安全距离。移动闭塞方式示意图如图1。

移动闭塞条件下的列控系统采取目标-距离



图1 移动闭塞示意图

控制模式,列车运行间隔的控制,是由无线通信和无线定位技术,实时传输前行列车的运行状态、位置等信息,以及前方轨道的线路参数,并结合列车本身的性能参数,从最高速制动的起模点进行实时计算获得的。因此,其间隔大小是可变的。采用这种闭塞方式,克服了常规自动闭塞列车间隔长度过长的不足,从而使列车运行密度可以提高。

## 2 列车自动运行操纵方案

ATO(列车自动运行)系统主要用于实现自动运行控制,ATO在收到列车目标速度信息、线路数据信息和由列车自动监督(Automatic Train Supervision, ATS)系统发出的命令后,根据ATP的限速控制,合理地控制列车的牵引与制动,使列车精确地定点停车,且避免了不必要的、加速和减速,从而使列车经常处于最佳运行状态,提高了乘客的舒适度和列车准点率,同时也节约了能源。因此,ATO系统不能独立完成自动运行,而且与ATC的另外2个子系统(ATP和ATS)一起协调合作完成自动运行。

列车在运行过程中,主要分为3个不同的阶段。

### 2.1 发车阶段

该阶段在保证列车平稳运行,并考虑旅客乘车舒适度的前提下,以最大的加速度进行加速。

### 2.2 区间运行阶段

在列车安全行车距离内,尽量采用牵引-惰行-制动的循航方式运行,保证列车运行的平稳性。当列车在运行过程中,当收到前行列车的位置数据,经计算发现需要停车时,列车将根据以下的2个条件:列车准点到站;列车安全运行所需要距离。

判断当前列车下一时刻所要采取的运行工况。为实现列车的节能性,按以下顺序判断是否满足以上的2个条件:(1)惰行工况;(2)惰行-制动方式;(3)最大常规制动方式;(4)最后是紧急制动方式。

### 2.3 进站阶段

当列车收到进站定位信息后,在计算得到的停车点开始,在采用惰行减速的同时,计算用最大常规制动方式所需的停车距离,对列车进行制动。一般情况下,不采用紧急制动。

## 3 列车自动运行过程中的相关运动方程

根据《牵引》中给出的列车牵引和制动特性曲线,获得当前速度条件下列车对应的牵引力和制动力。得到单位合力 $c$ :

$$c = f - w_0 - b \quad (1)$$

其中  $f$ : 单位牵引力。

$w_0$  单位基本阻力,该力的大小跟列车当前的线路状况、速度有关。

$b$ : 单位制动力。

一般计算列车加速度时,对旅客和重货物列车,考虑其回转质量,其回转质量系数 $\gamma=0.06$ 。因此有加速度:

$$a = \frac{0.00981}{1+0.06} c = \frac{1}{108} c \text{ (m/s}^2\text{)} \\ = 3.6 \times \frac{1}{108} c = \frac{1}{30} c \text{ [km/(h}\cdot\text{s}]\quad (2)}$$

时间与速度、单位合力、距离的关系分别如下所示:

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{120c} = \frac{2 \cdot \Delta S}{v_1 + v_2} \text{ (h)}$$

$$\Delta S = \frac{v_2^2 - v_1^2}{240c} \times 1000 = \frac{4.17(v_2^2 - v_1^2)}{c} \text{ (m)} \quad (3)$$

其中 $v_1$ 、 $v_2$  分别为速度间隔的初速和末速度,单位 $km/h$ 。

## 4 移动闭塞条件下列车自动驾驶的仿真

由于列车的运动是一种复杂的非匀变速运动,因此,在对计算列车合力时,将距离或速度划分为若干个间隔,把在每个间隔内,作用在列车上的合

力看作是一个常数, 进行计算和控制。结合《牵引》中的牵引和制动特性曲线, 获得当前运行速度下, 牵制力和制动力的大小, 并按(式2)获得加速度 $a$ 的大小, 并根据(式3)即可得到位移的值, 最后即可得到列车的位移-速度运行图。本文按取速度平均间隔进行仿真, 假设在这速度间隔内, 将列车看作匀变速运行。

在移动闭塞的条件下, 假设给定以下的数据, 按照最大节能操作方式, 即列车采用牵引-惰行-制动的循航方式运行。第3标题中的公式, 对列车运行情况进行仿真, 结果如图2和如图3。

假设给定以下的数据, 对列车运行仿真:

线路长度分别为: 18 000 m/16 000 m

最高速度: 200 km/h (55 m/s)

最大加速度: 1.2 m/s

常规制动速度: 0.9 m/s

进站信号机离站台停车点 2 000 m 处

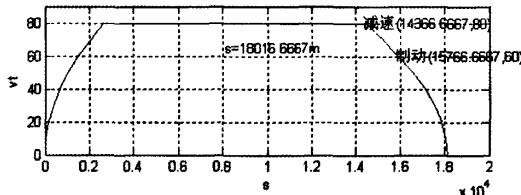


图2 线路长度为 18 000 m 时的列车运行图

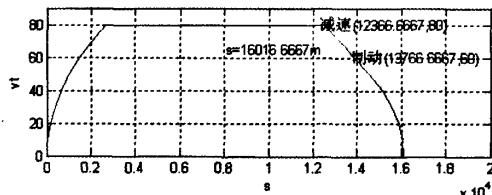


图3 线路长度为 16 000 m 时的列车运行图

## 5 仿真结果分析

根据前面的分析, 本文在仿真时列车采用的是最大节能操纵方式。在启动时采用最大的加速度, 进行加速, 使列车尽快地达到最大速度; 在区间运行过程中, 尽量采用循航方式运行, 保持列车基本匀速度运行, 并根据准点的要求, 提前

计算列车在进站前所需要提前减速速度, 以及减速运行所需的距离, 使列车在进站前有一段时间的减速, 从而保证列车在进站后不会发生紧急制动的情况; 在进入进站口时采用常规制动, 直到停车点。

当列车在区间运行时, 遇到前行列车忽然停车等紧急情况。设本次列车和前行列车间的距离 $s_1$ , 本次列车的常规制动所需要的距离 $s_2$ 。如果 $s_1 > s_2$ , 则计算最大常规制动的起点, 并在该点开始对列车进行最大常规制动; 如果 $s_1 < s_2$ , 则只能采取紧急制动。因为是移动闭塞的, 只要把停车点换为前行列车的位置即可得到相应的运行图。

为计算方便, 计算过程中是以 100 m 为单位来计算的, 因此图2中显示的当列车总位移为 18 016.6667 m 时, 跟实际值 18 000 m 相比较, 其误差相当于以 m 为单位计算时 16.6667 m/100=16.6667 cm。因此图2和图3中, 对于不同的线路长度的仿真, 都符合  $\pm 25$  cm 的精度要求。

## 6 结束语

本文主要论述了移动闭塞原理, 自动运行过程中所采用的操纵方案, 以及列车运行过程中的相关公式。并在移动闭塞的条件下, 实现列车的自动驾驶过程中制动过程的仿真。但是, 本论文只是在线路及客对观条件理想的情况下, 进行的仿真。对于在移动闭塞下的ATO系统的具体控制还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 吴汶麒. 城市轨道交通信号与通信系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- [2] 孙晓炜, 陈永生. 预测控制在ATO仿真系统中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2001 (2).
- [3] 孙中央. 列车牵引计算实用教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [4] 论文集. 可持续发展的中国交通—2005全国博士生学术论坛(交通运输工程学科)[D]. 铁道部, 2006.
- [5] 周家献, 唐涛. 列车自动驾驶系统算法研究[J]. 中国科学技术信息, 2008 (6).
- [6] 罗丽云, 吴汶麒. 城市轨道交通移动闭塞列车安全间隔时间分析列车[J]. 中国铁道科学, 2005 (7).