

文章编号: 1005-8451 (2007) 03-0001-04

## 基于 GIS 的列车运行仿真系统研究

潘金山, 倪少权, 吕红霞

(西南交通大学 交通运输信息技术研究所, 成都 610031)

**摘要:** 为了真实反映列车运行过程中列车以及相关信号设备状态, 描述列车所处地理位置信息, 利用仿真技术建立仿真模型, 并基于 GIS 技术建立铁路线路及车站基础地理信息数据, 在此基础上进行列车运行仿真。本系统对于检测列车在运行图下运行的可行性和安全性、测试方案的合理性以及新线建设具有重要意义。

**关键词:** 列车运行仿真; 列车运行状态; GIS; 可行性; 安全性

**中图分类号:** U260.14+U270.14 **文献标识码:** A

### Study on Train Running Simulation System based on GIS

PAN Jin-shan, NI Shao-quan, LÜHong-xia

(Institute of Information Technology for Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** To really express the states of the train and signal devices in the procession of the train running, it was described the geography position information around train. It was used simulation technology to set up the model of simulation and create base geography information data of the railway line and railway stations based on GIS technology, based on upwards, the simulation of train running was processed. This System had important meanings to check the feasibility and security of the train running under the train diagram and test the rationality of the scheme and the construction of new lines.

**Key words:** train running simulation; train running states; GIS; feasibility; security

随着科学技术的发展, 特别是计算机技术的飞速发展, 计算机技术在铁路交通系统的应用越来越深入和广泛。列车运行图是铁路运输工作的综合性计划和行车组织工作的基础, 正确地编制列车运行图, 对保证行车安全、车辆周转、提高运输效率和运输能力、完成和超额完成铁路客货运输计划具有重要的意义。如果通过现场实验来对预编制的列车运行图性能进行检测和评估, 无论从经济还是安全方面都不可行。系统仿真技术通过对系统模型进行研究, 获取该系统的性能和规律, 通过仿真可以模拟真实场景、可以大大缩短实验周期、节约成本。因此, 应用计算机对列车运行进行仿真具有十分重要的意义。

### 1 系统设计目标

基于 GIS 的列车运行仿真系统设计目标如下:

(1) 建立铁路车站和线路的空间信息和属性信息;

- (2) 建立机车以及列车编组信息;
- (3) 采用多质点模型对列车进行牵引计算;
- (4) 模拟多列车在线路和车站的运行情况, 并动态显示相关信号设备的状态;
- (5) 对列车运行仿真结果进行分析。

通过本仿真系统, 可检测列车按运行图运行的可行性和安全性。

### 2 系统结构

系统主要由基础数据维护、列车运行仿真、列车运行仿真图形显示以及列车运行仿真结果分析 4 大部分组成。

#### 2.1 基础数据维护

本系统中, 基础数据分为属性基础数据和空间基础数据两部分, 属性基础数据是指系统中所有不包含对象空间地理信息的数据, 空间基础数据则是包含对象空间地理信息的数据。

属性基础数据包括车站数据(车站名、车站性质、所属铁路局、分界口标识等)、线路数据(线路

收稿日期: 2006-08-16

作者简介: 潘金山, 在读硕士研究生; 倪少权, 教授。

名、起点公里标、坡度、坡长和曲率半径等)、列车数据(车次名、起站、终站、发点、到点、各站到发点和各站停站时间等)。由于本系统仿真模型中把列车处理为多质点系统,需要建立列车的详细信息,包括机车数据(各级位的牵引力、动力制动力、能耗量数据、机车基本阻力公式、计算重量和机车长度等)、车辆数据(基本阻力公式、闸瓦材质种别、摩擦系数、车种、车长、自重和载重等)、列车编组数据(编组名、类型、型号、列车管压、工作方式、载重量和辆数等)。

空间基础数据包括车站和线路所有行车设备的地理信息。车站包括股道、道岔、信号机和站台等设备详细地理信息;线路包括线路走向、长度以及道口、桥梁、隧道、信号机等设备详细地理信息。空间基础数据以电子地图的形式进行输入和显示。

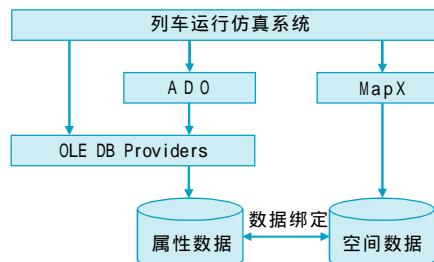


图1 数据管理结构图

在地理信息系统中,大型的地理信息系统不仅存在大量的与地理图形相对应的空间数据,也包括了大量纯粹管理信息系统数据,如果这些数据都用GIS来进行管理,将会造成许多功能实现起来非常复杂,而且并没有充分利用数据库管理系统的优勢。由此,如图1所示,本系统采用双数据库模式,属性基础数据用Oracle数据库进行管理,空间基础数据由GIS进行管理,两者之间通过GIS所提供的数据绑定技术进行关联。

## 2.2 列车运行仿真

在列车运行仿真过程中,根据系统仿真时间获取列车属性数据以及列车运行处的空间信息,通过列车牵引仿真计算、列车运行控制策略确定列车的运行状态,以图形形式详细显示列车运行地理位置、车站股道占用情况、信号机状态以及列车牵引相关曲线图。

### 2.2.1 仿真对象设置

本仿真系统可以实现全路范围内所有车次的运行仿真,但对于不同用户,其需求不同。而且,对

全路所有车次进行仿真,涉及大量运算,对计算机性能要求非常高,不能达到灵活实用的目的。本仿真系统提供仿真对象设置模块,根据用户仿真需要,先对仿真对象进行设置,再对仿真对象进行仿真。其对象设置按照如下4种方式进行:(1)铁路局设置;(2)线路设置;(3)车站设置;(4)列车设置。可以按一种方式进行设置,也可以按多种方式进行组合设置。

### 2.2.2 仿真时钟控制

仿真时钟控制是本系统的核心部分,仿真系统的推进通过仿真时钟进行控制,而且时间控制的精度决定了仿真系统的精度。列车运行仿真需要反映全天或多天列车运行情况,如果运行时间与真实列车运行时间一致,用户需要分析运行仿真结果则需要等待很长时间,那么运行仿真效率则非常低。本系统建立一套仿真时钟序列控制模型,引入仿真时间倍数概念,通过设置倍数 $k_m$ ,可以使系统以真实时间的 $k_m$ 倍速度进行仿真。仿真时钟序列时间步长通过时间倍数 $k_m$ 与计算机系统时间进行控制。取计算机系统时间1 s为参照标准,根据时间倍数关系确定仿真系统流逝时间,最后,根据设置的仿真系统开始时间确定当前仿真系统时间。其中,计算机系统时间仅仅作为记录时间流逝的参照标准。

仿真时间计算公式为:

$$t_e = t_b + (t'_e - t'_b) \times k_m \quad (1)$$

其中: $k_m$ 为时间倍数( $k_m$ 为实数);

$t'_b$ 为仿真开始时计算机系统时间;

$t'_e$ 为计算机系统当前时间;

$t_b$ 为仿真系统开始时间;

$t_e$ 为仿真系统当前时间。

通常的仿真系统仅仅取有限的时间步长,本系统基于以上仿真时间控制,可以实现任意步长下的仿真运行、暂停、继续、回退、快进和快退仿真控制功能。

### 2.2.3 列车仿真力学和运动学模型

把列车视为一个质点进行受力分析可知,对列车有直接影响的外力有3种:机车牵引力F、列车运行阻力W和列车制动力B。作用在列车上的合力C为:

$$C = F - W - B \quad (2)$$

根据线路情况和列车运行要求,机车可以有3种工况。每种工况下作用于列车上的合力由不同力组合而成:

牵引运行:  $C = F - W$

惰行:  $C = -W$

制动运行:  $C = -(B+W)$

当  $C > 0$ , 即合力方向与列车运行方向相同, 列车加速运行; 当  $C < 0$ , 列车减速运行; 当  $C = 0$ , 列车匀速运行。

在单质点模型方式下, 根据合力和质点重量, 求得加速度, 积分后求得质点运动的速度和质点的走行距离。但对于列车在变坡点和列车实际长度大于线路曲线长度时, 计算的坡道附加阻力和曲线附加阻力与实际值有较大的误差。而且在单质点模型的基础上不可能进行列车纵向动力学纵向力的精确计算。鉴于此, 本系统采用列车动力学多质点模型的实时模拟程序, 随时按照列车实际全长所覆盖的长度求出实际坡度及所包含的曲线阻力的加算坡度。在此方式下, 当列车跨越变坡点时, 其加算坡道阻力是逐渐变化的。因而, 其速度曲线是光滑过渡的, 相比单质点模型有很大改进。

采用多质点模型, 把列车中的每一机车和每一车辆均看作一质点, 对各个质点受力进行分析, 得到每个质点所受合力为  $F_i$ :

$$F_i = W_{ij} + W_{iq} - W_{ih} - W_{ijz} - W_{ifjz} - W_{iz} \quad (3)$$

其中:

$W_{ij}$  为第  $i$  辆车所受牵引力, 若为车辆则力为零。

$W_{iq}$  为第  $i$  辆车前车钩所受力。

$W_{ih}$  为第  $i$  辆车后车钩所受力。

$W_{ijz}$  为第  $i$  辆车所受基本阻力。基本阻力为轴承阻力、滚动阻力、滑动阻力、空气阻力、冲击和振动阻力的合力。

$W_{ifjz}$  为第  $i$  辆车所受附加阻力。附加阻力为坡道附加阻力、曲线附加阻力和隧道附加空气阻力的合力。考虑以上附加阻力情况, 可以最大程度地反映列车的真实受力情况。

$W_{iz}$  为第  $i$  辆车所受制动力。

由以上模型, 可以计算出列车在任意路况下列车所受合力  $C = \sum_{i=1}^n F_i$  ( $n$  为车辆数)。

由于作用于列车的合力大小和方向决定着列车的运动状态, 为分析列车的运动以解决列车运行中的实际问题(如运行速度  $v$ 、运行时分  $t$ 、运行距离  $S$  以及它们之间的相互关系), 就必须知道在不同速度时作用于列车的合力变化规律。此时, 把列车视为一个整体, 根据牛顿第2定律, 列车加速度为:

$$a = \frac{C}{M} = \frac{C}{(\sum P + G)} \quad (4)$$

式中  $\sum P$  为机车计算重量, 多机牵引或有补机时为各机车计算重量之和,  $G$  为牵引重量。

通过列车受力模型和运动学模型, 可以精确计算出列车各车辆受力、整车所受合力、列车运行工况、列车运行加速度和速度等。

#### 2.2.4 列车运行控制

列车在运行过程中, 其运行状态总在加速、匀速和减速3者之间进行切换: 列车在进站时通过减速停站; 在出站时加速达到指定速度; 在通过限速信号机时通过加速或减速达到限制速度的目的。

图2所示为列车控制速度位移曲线,  $A \rightarrow B$  为加速阶段,  $B \rightarrow C$  为匀速阶段,  $C \rightarrow D$  为减速制动阶段, 现以制动为例进行说明。

由公式(4)可得在此加速度下列车所受合力

$$C = (\sum P + G) \cdot a \quad (5)$$

如果要使列车满足如图2所示的制动曲线。因为, 当前列车所受基本阻力和附加阻力一定, 此时必须改变列车手柄位, 进行牵引、制动或者惰行, 使列车所受合力满足公式(5)的要求。在列车运行状态发生变化之后, 根据实际列车运行要求, 动态计算列车当前所应满足的合力要求, 从而确定列车的工况和手柄位。

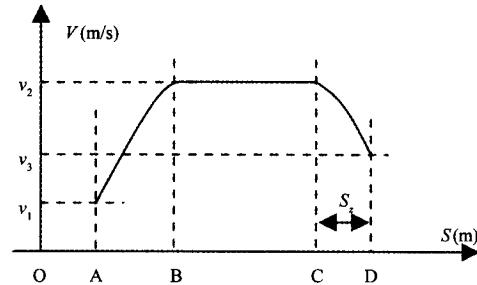


图2 列车控制速度位移曲线

#### 2.2.5 列车仿真流程图

列车仿真流程图如图3所示。

#### 2.3 列车运行仿真图形显示

在仿真运行中需要显示的主要内容为铁路路网图、列车在路网中的位置、列车运行处的线路断面图、列车在运行时的股道占用情况、信号机状态以及列车牵引相关曲线图。其中, 铁路路网图为静态数据, 需要全部显示, 其他均为动态数据, 随列车运行状态、运行位置的变化, 其显示内容也将随之变化。

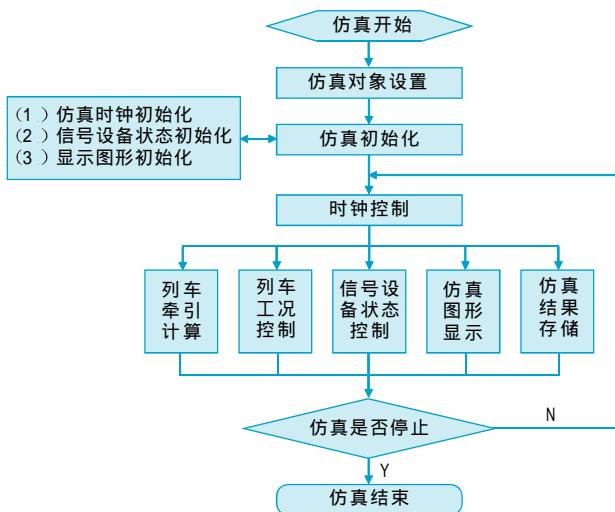


图3 列车仿真流程图

GIS 对地图采用分层管理模式，在本系统中，对于电子地图的管理也采用分层管理模式，根据需要把电子地图抽象成如图 4 所示，共 5 层。



图4 电子地图图层层次结构图

其中，下面 3 层为静态图层，只用显示即可。上面 2 层为动态图层，铁路信号设备层用于存放所有信号设备。在列车运行过程中，信号设备状态也随之改变，并在该图层中进行动态显示。列车运行轨迹层用来显示列车运行轨迹并动态刷新显示。对于其他需要显示的部分，创建新窗口进行显示。

一般情况下，用户仅能使用单一显示屏来观察显示信息。如果用户需要查看其他显示信息必须在不同窗口之间切换，不能同时对多个窗口进行查看。本系统采用多屏显示技术，在一台计算机上安装多个显卡驱动多台显示器，实现扩展计算机桌面尺寸的目的。

因为当前 Windows 操作系统只支持 PCI 适配器来实现多显示器桌面，它要求显卡必须使用以下芯片组中的一种：ATI Mach64、S3764 和 764+、Cirrus-graphics5436、5446 和 7458、Imagine128 Series1 和 2、S3 Virge 或 ET6000、M9711 等。一般情况下，一个显卡驱动一个显示器，一台机器最多可以驱动 7 台显示

器，其中一台为主显示器，其余为副显示器。为了安装多显示器，通过在“控制面板”中双击“显示”，在弹出的“显示属性”对话框中进行设置，在设置中可以把新增显示器设备当成桌面的一部分，直接通过鼠标拖动即可实现新增显示器在桌面上位置的排列。

#### 2.4 列车运行仿真结果分析

在列车运行仿真的过程中，系统记录仿真中列车运行所有信息，具体包括列车牵引计算相关曲线图数据，包括合力曲线图、速度时分曲线图数据；列车在车站占用咽喉时间数据；列车实际运行时刻数据。

列车运行图性能评价模块对记录结果数据进行分析，通过对实际列车牵引计算运行时间与运行图固定时间进行对比确定列车正点率；对列车进站占用进路、占用设备时间等信息进行判断确定多列车运行是否存在冲突，在出现冲突时进行警告提示；对列车占用车站咽喉时间、已经车站接发列车信息和已经车站站型进行分析，确定该车站通过能力；对列车运行状态与信号设备之间状态进行分析，判断列车是否存在冒进。

提供运行仿真结果数据维护模块，对数据按仿真时间进行保存，对于已有仿真结果可以进行查询打印。

### 3 结束语

本文应用 GIS 技术、数据库技术和仿真技术实现列车运行仿真系统。由于系统采用 GIS 技术和多屏显示技术，图形显示更加真实和直观，可以实现多方位、多视角同步显示。目前，该系统已实现单线路多列车的运行仿真，具有一定的实用价值，已达到了预期目标。

本系统的研究尚处于初级阶段，还有许多因素尚未考虑到，也有许多问题尚未解决，随着研究的深入，本系统将进一步完善和实用。

#### 参考文献：

- [1] 马大炜. 关于列车牵引计算的研究[J]. 中国铁路, 2001 (9).
- [2] 马钦. 高速列车运行状态仿真系统的研究[J]. 河北省科学院学报, 2002, 119 (1).
- [3] 武福. 列车运行模拟系统建模与实现[J]. 兰州铁道学院学报, 2002, 121 (3).
- [4] 饶忠. 列车牵引计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002, 6.