

文章编号: 1005-8451 (2009) 11-0001-03

## 基于 Simulink 和 VRML 的铁道车辆运行可视化仿真

刘向平, 杨岳, 张兆丰, 程立志

(中南大学 交通运输工程学院, 长沙 410075)

**摘要:** 铁道车辆在铁轨上的运动是一个复杂的运动学过程。对铁道车辆在轨道上的运行特点和运动仿真方案进行分析, 确定车辆模型基本运动控制数据的生成流程。采用三维 CAD 建模和 VRML 建模语言, 建立铁道车辆和运行场景的可视化仿真模型, 利用 Simulink 实现铁道车辆模型的运动控制与仿真。在开发的铁道车辆运行可视化仿真平台上实现较为逼真的运行可视化仿真。

**关键词:** 铁道车辆; 可视化仿真; Simulink; VRML

中图分类号: U270.1 文献标识码: A

### Visual running simulation of railway vehicles based on Simulink and VRML

LIU Xiang-ping, YANG Yue, ZHANG Zhao-feng, CHENG Li-zhi

(School of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** It was a complex kinematical procedure that railway vehicles ran on the truck. After analysis on running characteristics and simulation approaches of railway vehicles, the data production process of basic motion control was presented for railway vehicle model. Though 3-D modeling technique and VRML modeling language, the virtual models and running scene of railway vehicles were constructed. The motion control and simulation of the railway vehicle models were achieved by Simulink. A visual running simulation platform of railway vehicles was developed, and the running simulation was realistic on the platform.

**Key words:** railway vehicle; visual simulation; Simulink; VRML

对铁道车辆运行过程的仿真, 常常习惯用大量的数字和曲线, 这种仿真方式不够直观, 无法将铁道车辆沿轨道运行的动态过程显示出来, 更无法将车辆的脱轨、倾覆和蛇形运动以动态图形方式表现出来。本文对铁道车辆运行三维可视化仿真实现方式开展研究, 包括铁道车辆运动仿真方案分析, 车辆模型基本运动控制数据的生成, 铁道车辆与虚拟运行场景 VRML 模型的建立, 基于 Simulink 的车辆运动仿真控制等。

### 1 铁道车辆运动仿真方案分析

车辆是由车体、转向架构架和轮对等基本部件组成的, 在车辆的运行过程中各部件存在相对运动<sup>[1]</sup>, 但为了简单起见, 在铁道车辆运行仿真中, 设定铁道车辆为一个整体, 各部件之间不存在相对运动。

铁道车辆是一个多自由度系统, 如图1。图中, 铁道车辆可以看作一个自由刚体, 有6个自由度。设定当铁道车辆无图中标识的任何运动时, 车体

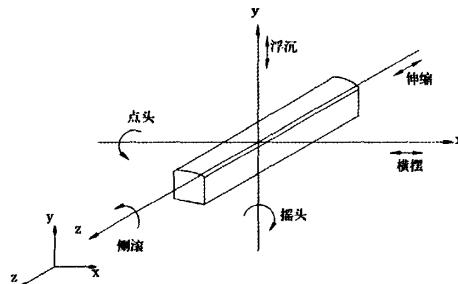


图1 铁道车辆运动仿真中的全局坐标系和局部坐标系

质心为该车辆的关键点。建立车辆局部坐标系, 过关键点作3个互相垂直的笛卡尔右手坐标系OXYZ, 规定Z轴与车辆的前进方向一致, Y轴向上, X轴水平向右。这时车体有6种运动方式, 即沿X、Y、Z轴3个方向的直线运动和绕X、Y、Z轴的回转运动。

在铁道车辆运行可视化仿真中, 车辆模型的运动由2部分运动合成: (1) 车辆模型关键点在场景三维空间坐标系(以下简称全局坐标系)中的运动; (2) 车辆模型在以关键点为原点的车辆局部坐标系(以下简称局部坐标系)中的运动。由以上分析得到车辆模型运动控制数据结构, 如表1。

收稿日期: 2009-03-20

作者简介: 刘向平, 讲师; 杨岳, 教授。

表1 车辆模型运动控制数据

变量名	变量描述
X	关键点在全局坐标系 X 轴上的坐标值
Y	关键点在全局坐标系 Y 轴上的坐标值
Z	关键点在全局坐标系 Z 轴上的坐标值
x	车辆模型质心在局部坐标系 X 轴上的坐标值
y	车辆模型质心在局部坐标系 Y 轴上的坐标值
z	车辆模型质心在局部坐标系 Z 轴上的坐标值
$\theta_x$	车辆模型绕局部坐标系 X 轴的转角
$\theta_y$	车辆模型绕局部坐标系 Y 轴的转角
$\theta_z$	车辆模型绕局部坐标系 Z 轴的转角

通过以上分析，可得出铁道车辆运行仿真方案：车辆的基本运动通过车辆模型的关键点在全局坐标系中 X、Y、Z 轴方向的位移变化和它在局部坐标系中绕 Y、Z 轴的旋转来模拟；车辆的脱轨由车辆模型在局部坐标系 X 轴方向的位移表现；车辆倾覆由车辆模型绕局部坐标系 Z 轴方向的旋转表现；车辆蛇形运动由车辆模型绕局部坐标系 Y 轴方向的旋转表现。其他局部运动的模拟见图 1。

## 2 车辆模型基本运动控制数据的生成

车辆模型基本运动控制数据是基于线路的，在线路上每隔一定长度设置一个关键点，求出车辆处于每个关键点时的运动状态，这些运动状态数据即为车辆模型基本运动控制数据。控制数据生成程序中将直线段、前缓和曲线段、圆曲线段、后缓和曲线段按顺序构成一条基本的线路。

为了保证动画效果的平滑，关键点在线路上需要尽可能的密集，这使得控制数据非常庞大。考虑到控制数据的海量性，不便于动态生成，故将其做成静态数据文件<sup>[2]</sup>。基于关键点的车辆模型基本运动控制数据生成具体步骤如下：

(1) 输入线路起点坐标，直线段轨道与全局坐标系 X 轴正方向的夹角，弯道允许通过的最大速度，车辆实际通过的速度，各条线段的长度，弯道半径，车辆质心的离地高度，仿真三维动画采样时间；

(2) 以弯道允许通过的最大速度和弯道半径为条件，求出弯道的外轨超高；

(3) 以线路起点坐标、直线段轨道与全局坐标系 X 轴正方向的夹角、直线段轨道的长度、车辆质心的离地高度为条件，求出直线段轨道上所有关键点在全局坐标系中的坐标值 (X、Y、Z)；

(4) 以直线段轨道末点的坐标值、直线段轨道与全局坐标系 X 轴正方向的夹角、弯道半径、外轨超高、前缓和曲线段长度、车辆质心的离地高度为条件，求出前缓和曲线段轨道上所有关键点在全局坐标系中的坐标值 (X、Y、Z)；

(5) 以前缓和曲线段轨道末点的坐标值、过末点的切线与全局坐标系 X 轴正方向的夹角、弯道半径、外轨超高、圆曲线段长度、车辆质心的离地高度为条件，求出圆曲线段轨道上所有关键点在全局坐标系中的坐标值 (X、Y、Z)；

(6) 以圆曲线段轨道末点的坐标值、过末点的切线与全局坐标系 X 轴正方向的夹角、弯道半径、外轨超高、后缓和曲线段长度、车辆质心的离地高度为条件，求出后缓和曲线段轨道上所有关键点在全局坐标系中的坐标值 (X、Y、Z)；

(7) 求出车辆处于线路中各关键点位置时，车体绕局部坐标系 Y 轴的转角和绕 Z 轴的转角；

(8) 以三维动画采样时间为积分步长，让速度在时间上积分，求出采样时间点时车辆所在位置与起始点之间的线路长度，然后用该长度搜索线路上最近的关键点，得到与采样时间点对应的关键点的索引。

## 3 铁道车辆与虚拟运行场景 VRML 模型建立

### 3.1 铁道车辆 VRML 模型的建立和简化

铁道车辆的三维 CAD 模型由 SOLIDWORKS 软件制作而成，然后再将其转化成 VRML 模型。为便于控制，对铁道车辆 VRML 模型的结构稍作修改，修改后的结构见图 2。



图2 铁道车辆 VRML 模型结构树

坐标变换节点 vehicle\_1 的 translation 域用于控制车辆模型在全局坐标系中的位置，vehicle\_1、vehicle\_2、vehicle\_3 的 rotation 域分别用来控制

车辆模型在局部坐标系中绕Y、Z、X轴的转角, vehicle\_4 的 translation 域用来控制车辆模型沿局部坐标系各轴的平移运动。original\_vehicle 节点下包含从 SOLIDWORKS 转化过来的车辆 VRML 模型。转换后的 VRML 模型存在很多冗余, 结构也并不十分合理, 需要进一步完善。

消除的冗余数据包括: 默认的域值、没用到的值、重复的索引值、已损毁的面等。模型结构进行如下改善: 将共面的三角形合并为四边形; 将很小的边和面简化成点; 将重复的子模型使用 Transform 节点引用; 将外部不可见的模型删除。

### 3.2 虚拟运行场景 VRML 模型的建立

铁轨用 Extrusion 挤出造型节点做成。轨枕用 Transform 坐标变换节点做成, 先做出一个轨枕节点, 其他位置的轨枕是对该轨枕的引用, 轨枕的位置和转角随着轨道路线而改变。路基用 Extrusion 挤出造型节点做成。地形和桥梁、山脉、河流、房屋、电线杆等其他场景由 Creator 软件完成, 然后导出为 VRML 模型。

### 3.3 提高仿真流畅性的优化办法

为加快浏览器的运算速度, 提高仿真的流畅性。采用以下优化办法: 山脉、房屋、树木使用 PROTO 原型节点; 山脉表面纹理采用小面面积纹理映射方法; 站台、山脉、房屋、铁轨和轨枕采用 LOD 层次节点; 大的模型如铁轨、轨枕则分解成若干个小文件, 并使用外部引用技术。

## 4 基于Simulink的车辆模型运动仿真控制

Simulink 提供了 VR 工具箱, 该工具箱中的 VRSink 模块可以将 Matlab 工作空间中的铁道车辆模型运动控制数据传送到虚拟世界中。图 3 为模拟车辆基本运动的 Simulink 模型。双击打开 VRSink 模块, 点击 browse 按钮, 选择包含虚拟运行场景和铁道车辆 VRML 模型的 wrl 文件, 此时, 该文件的节点树会出现在对话框的右边。在节点树上选择车辆模型中 vehicle\_1 节点的 translation 域、rotation 域以及 vehicle\_2 节点的 rotation 域, 这些域值控制车辆模型的运动。同时, 场景的视点也需要随着车辆模型的运动一起运动, 保证车辆模型一直在观察者视野中, 还要勾选 vp 节点的 orientation 域和 position 域。这些选好的域值将作为

VRSink 模块的输入, 接受来自 Matlab 工作空间的数据。translation\_x、translation\_y、translation\_z, 控制车辆模型在全局坐标系中的位置, rotation\_y 控制车辆模型绕局部坐标系 Y 轴的转动, rotation\_z 控制车辆模型绕局部坐标系 Z 轴的转动, vp\_transltion\_x、vp\_transltion\_y、vp\_transltion\_z 控制视点的位置, orientation\_y 控制视点的朝向。

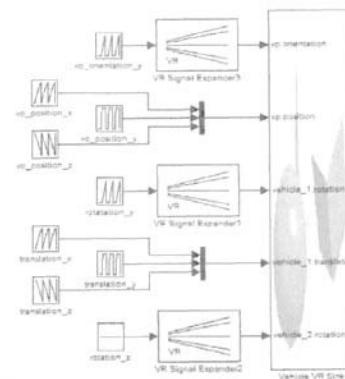


图 3 模拟铁道车辆基本运动的 Simulink 模型

点击运行按钮, 仿真动画开始播放。

## 5 结束语

利用铁道车辆 6 自由度模型, 较好地体现了铁道车辆的运动特征。通过车辆模型基本运动控制数据的生成算法, 为铁道车辆的运动模拟提供必要的数据支持。对车辆模型进行简化处理, 并对虚拟场景使用 LOD 层次节点等优化措施后, 可使动态图形仿真过程变得较为流畅。用 Simulink 控制 VRML 模型相对于用编写程序来控制更快捷方便。由于该仿真基于 MATLAB 软件的, 在利用它强大的数学计算功能得出铁道车辆运行性能(如运行稳定性)分析结果后, 实验者能够直接对试验仿真过程进行观察, 不需要通过其他软件接口, 从而加快了铁道车辆运行性能分析的进程。

### 参考文献:

- [1] 严隽耄. 车辆工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [2] 丁国富, 翟婉明. 机车车辆在轨道上运行的动力学可视化[J]. 铁道学报, 2002, 24 (3).