

文章编号: 1005-8451 (2014) 08-0045-04

城轨线路教学电子沙盘的建模与研究

华纯洁，郎诚廉

(同济大学 电气工程系, 上海 201804)

摘要: 本文以地铁运行线路为基础, 通过合理的线路布局, 在合适的地点布置车站、信号机、树木和建筑模型, 搭建成逼真的城轨线路教学电子沙盘。利用OSG (OpenSceneGraph) 技术驱动电子沙盘中的列车运行。

关键词: 电子沙盘; OpenFlight API; OpenSceneGraph

中图分类号: U231.2 : TP39 **文献标识码:** A

Modeling of teaching electronic sand table for Urban Transit

HUA Chunjie, LANG Chenglian

(Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Modeling of teaching electronic sand table for Urban Transit was designed based on lines of subway. The teaching electronic sand table could be implemented by the route of reasonable layout, placing the stations, semaphore, trees and buildings along the line. OSG technology was used to simulate functions of trains in the electronic sand table.

Key words: electronic sand table; OpenFlight AP; OpenSceneGraph(OSG)

沙盘在军事、规划、工程、旅游及地理教学中有着广泛的应用。传统沙盘存在制作困难、成本高、不易修改、不便移动等缺点。与传统模拟沙盘相比, 电子沙盘有以下优势: 不需要实物材料, 制作简单, 费用低廉, 速度快。可按要求的观察位置、视角等参数显示, 浏览方便。

本文利用 Multigen Creator 三维建模软件, 设计列车综合性电子沙盘, 使用 OSG 技术, 实现列车实时运行可视化仿真。

1 电子沙盘的建模目标与方案

本文目标是构造一条具有教学意义的城轨电子沙盘, 通过线路能够了解城轨线路的常用类型、各类线路参数、各类信号灯与车站分布及列车的运行控制。主要工作分为以下 3 部分。

(1) 轨道线路的建模

利用 VC++ 与 OpenFlight API 相结合的方法来完成轨道线路的建模。

OpenFlight API 是由一系列 C 文件和 Creator 模型系统的库文件的编程接口。通过 API 可以进

收稿日期: 2014-01-08

作者简介: 华纯洁, 在读硕士研究生; 郎诚廉, 高级工程师。

行 OpenFlight 模型的转换、实时仿真、自动建模以及通过插件形式对 Creator 进行功能扩展。

(2) 周边场景以及建筑物的建模

在进行周边场景的建模时, 本文主要利用 Multigen Creator 中的相关技术实现高逼真度的场景。

Multigen Creator 建模软件完全针对可视化仿真应用, 集成了多边形建模、矢量建模和地形生成等多种高级功能。

(3) 实现列车控制

在实现列车控制方面本文选用三维渲染引擎 OpenSceneGraph (OSG), OSG 具有效率高、移植能力强、开源免费等优点。根据这些优点, 将 OSG 应用到列车视景控制中, 可实现功能灵活、渲染效果高、研发成本低的三维渲染应用程序。

2 轨道线路的规划与建模

2.1 线路规划

本文主要构建了城市地铁中出现的一些常见轨道线路, 包括正线、渡线、停车场等。在建模期间需要考虑线路缓和曲线、弯道、坡道和超高等关键参数的选取, 这些都是影响列车运行的重

要参数。

2.1.1 弯道最小半径曲线

设定最小曲线半径标准是因为地铁在转弯时,其离心力作用弯道外侧并产生横向力,这种力会对钢轨产生挤压和摩擦,当半径过小时,会增大轮轨磨耗,同时影响到列车的安全运行,为了保证列车的安全运行,降低车轮和轨道的维护投资,在进行地铁线路平面曲线设计中,就应该根据不同速度等级设计要求选用相应的最小曲线半径。按《地铁设计规范》中规定,最小曲线半径标准如表1所示。

表1 最小曲线半径标准

| 线路 | 一般情况(m) | | 困难情况(m) | |
|---------|---|-----|---------|-----|
| | A型车 | B型车 | A型车 | B型车 |
| 正线 | $V \leq \frac{80 \text{ km}}{\text{h}}$ | 350 | 300 | 300 |
| | $\frac{80 \text{ km}}{\text{h}} \leq V < \frac{100 \text{ km}}{\text{h}}$ | 550 | 500 | 450 |
| 联络线,出入线 | 250 | 200 | 150 | |
| 车场线 | 150 | 110 | 110 | |

2.1.2 坡道参数

根据国家《地铁设计规范》(2003版),对地铁线路最大坡度的要求,正线的最大坡度不宜大于30‰,困难地段可采用35‰;联络线、出入线的最大坡度不宜大于40‰(均不考虑各种坡度折减值)。对于采用动力坡的地段,通常动力坡在25‰以上,对于不采用动力坡的地段,坡度宜平缓。故对大坡度没有严格定义,通常可以认为坡度在20‰以上属于大坡度。

对于坡段长度,规范要求线路坡段长度不宜小于远期列车长度,并应满足相邻竖曲线间的夹直线长度的要求,其夹直线长度不宜小于50 m,而对于最大坡长,规范没有明确要求,一般根据区间的实际情况而定,对于不同的线路,有的是几百米,有的则是几公里。

2.1.3 缓和曲线长度

缓和曲线长度的选择和计算应注意以下几点:(1)超高顺坡率;(2)超高时变率;(3)最大超高与最大欠超高;(4)限制未平衡离心加速度时变率。最终确定缓和曲线长度的计算公式如下:

$$\begin{aligned} V \leq 50 \text{ km/h}, H = 11.8 V^2 / R, 1 = H / 3, 1 \geq 20 \text{ m} \quad (1) \\ 50 \text{ km/h} < V < 70 \text{ km/h}, H = 11.8 V^2 / R, 1 = H / 2, \\ 1 \geq 20 \text{ m} \quad (2) \end{aligned}$$

$$70 \text{ km/h} < V \leq 3.2 R^{1/2}, H = 11.8 V^2 / R, 1 = 0.007 V H, \\ 1 \geq 20 \text{ m} \quad (3)$$

其中, V 为设计速度 (km/h), R 为曲线半径 (m), H 为超高 (m), 1 为缓和曲线长度。

2.1.4 模型比例及参数选取

(1) 线路弯道半径

根据上文中的弯道参数分析,如表1所示。考虑到弯道半径的设计需包含不同车型在不同情况下的运行环境,所以线路弯道半径在模型中选取300 m。

(2) 坡道参数

根据上文中的坡道分析,通常认为坡度在20‰以上属于大坡道,具有典型性,所以上下坡道坡度统一为20‰,即为长大坡道,其中坡道底面长度1 km,坡道高度20 m。

(3) 缓和曲线长度

根据上文中缓和曲线的长度分析,根据式(1),(2),(3)分别得到的缓和曲线长度都是大于等于20 m,所以缓和曲线长度选为20 m,它综合了列车不同速度条件下缓和曲线的长度。

(4) 站间距

本文设计有3个站点,考虑到典型性,前两个之间距离为小站,后两站之间距离为大站。按照实际情况出发,前两站间距2 km为小站,后两站间距4 km为大站。

(5) 车站长度

根据一般情况,车站的长度设计为145 m。

(6) 模型整体大小

模型的线路结构为环线,即线路走向按环形分布,考虑到线路设计有高架部分,地下部分,这样选择能为其节省空间而且利于观察。同时综合上面的参数分析,确定模型整体长度为2.4 km,宽1.8 km,能够满足计算机屏幕4:3的比例显示,适应多数人的视觉习惯,且这样的大小已经能够包含线路中的主要信息。

2.2 获取模型空间坐标

首先画出轨道的横断面,通过中心点得到各顶点坐标,连接后生成轨道横断面模型,然后把中心线上各点都作为轨道横断面的中心点将其连接,最后生成轨道线路图。线路的曲线部分由多条直线近似构成。

获取线路的中心线空间坐标是生成线路模型

的重要数据。读取中心线空间坐标步骤：(1) 确定轨道半径、坡度、缓和曲线长度和超高等关键参数。(2) 确定电子沙盘模型比例，选取坐标轴上关键点坐标。(3) 利用 Multigen Creator 中 road 建模工具根据关键点坐标完成线路规划。(4) 利用 Multigen Creator 中 road 建模工具 Write Path 方法获得线路中心线空间坐标。

描述线路中心线的完整数据如表 2 所示。

表2 描述线路中心线的数据

| X | Y | Z | H | P | R |
|--------|--------|------|--------|------|------|
| -28.77 | -30.88 | 0.00 | 117.71 | 0.00 | 0.00 |
| -13.11 | -45.11 | 0.00 | 112.13 | 0.00 | 0.00 |

其中 X、Y、Z 用来确定道路模型在场景中的位置，代表道路模型中心点的坐标。H、P、R 用来确定道路模型的朝向，代表道路模型绕 3 个坐标轴的旋转角度。

2.3 线路模型生成方法

所有准备数据都做好之后，通过 VC++ 与 OpenFlight API 生成线路模型。在数据库中，首先定义数据库 db 节点，即 FLT 文件的根节点，利用函数 mgAttach() 将 Group 节点录入根节点下，然后依次是 Object 节点、Polygon 节点和 Vertex 节点。根据录入的坐标数据，利用 GenVertex() 函数生成 FLT 文件中的点，然后利用 GenPoly() 函数将生成的 4 个点依次连接起来形成面，最后利用函数 mgSetAttlist(prec, fltPolyTexture) 纹理映射。

通过相关空间公式处理后得到的数据是决定线路平面线形的点，这些点是整个线路模型剖面的几何中心点或是其它点（根据不同类型线路而定），通过这些点和相关公式推算出线路模型的立体模型关键点坐标。

综上所述，三维建模软件中没有完全顺滑的曲线，可以用多个直线连接替代曲线。其坐标通用公式为：

$$\begin{aligned} x[k][j] &= \text{point}[k].x - D1 * \cos(\text{point}[k].h * q) \\ y[k][j] &= \text{point}[k].y - D2 * \sin(\text{point}[k].h * q) \\ z[k][j] &= \text{point}[k].z + \text{point}[k].h \end{aligned}$$

其中 $x[k][j], y[k][j], z[k][j]$ 为纵断面上关键点的空间坐标， $\text{point}[k].x, \text{point}[k].y, \text{point}[k].z$ 为平面上关键点的坐标， $\text{point}[k].h$ 为平面上两关键点连线与 y 轴的夹角。

最后结合中心线坐标和关键点公式，利用 VC++ 与 OpenFlight API 函数生成模型，并用 Multigen Creator 显示，如图 1 所示。

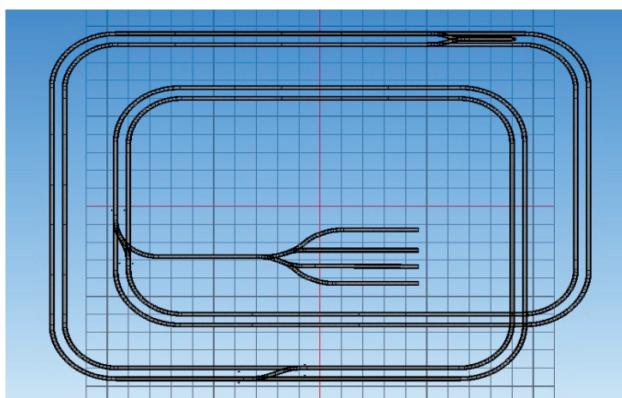


图1 线路模型

3 周边环境及建筑物建模

场景建模的对象为建筑物、花草树木、地形地貌等，主要分 4 个步骤构建模型：(1) 进行数据采集及预处理，主要是纹理数据。(2) 利用 Creator 软件进行模型的构建，包括地貌和建筑物。(3) 对建好的模型贴上纹理和材质，使其与真实地物相似。(4) 使用外部应用技术，对建好的模型进行集成，生成 .flt 的模型文件。

通过纹理映射技术对于模型不需要进行详细建模，并且有着很高的逼真度。在处理纹理贴图过程中，通过 Photoshop，使用变换、复制、粘贴以及明亮的调节工具来纠正变形的纹理，得到理想的纹理。

外部引用技术，是在创建轨道场景几何对象时，使不同的 .flt 文件单独在一个 .flt 文件中创建。利用外部引用技术能够有效的降低模型数据库的规模，节省内存和存储空间，提高系统资源的利用率。模型的层次结构如图 2 所示。

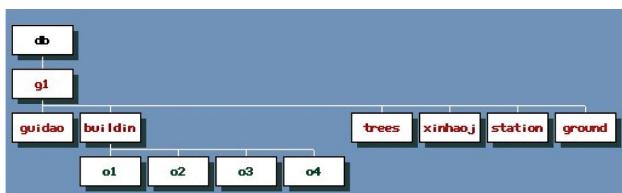


图2 树形结构

通过以上分析，最终生成包括轨道线路、信号灯、车站及场景模型，如图 3 和图 4 所示。



图3 整体效果图

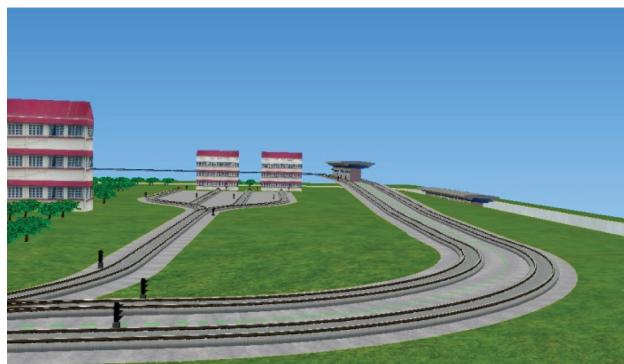


图4 局部效果图

4 电子沙盘中列车运行

仿真驱动程序开始载入已经建好的电子沙盘模型到现场视景中, 读入所有的轨道线路数据。将轨道线路分段, 即选取某点为出发点, 在进入道岔前此部分为 section1, 道岔后部为 section2, 以此类推, 每次进出道岔都给定一个 section 标号, 如图 5 所示。

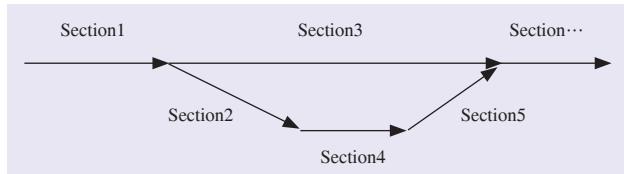


图5 轨道分段

(上接 P44)

参考文献:

- [1] 唐 涛, 邹春海, 李开成, 燕 飞. 基于通信的列车运行控制技术发展战略探讨 [J]. 都市快轨交通, 2005, 18 (6).
- [2] 周清雷, 姬莉霞, 王艳梅. 基于 UPPAAL 的实时系统模型验证 [J]. 计算机应用, 2004, 24 (9).
- [3] 燕 飞. 轨道交通列车运行控制系统的形式化建模和模

通过轨道线路数据能够得到每段 section 的长度, 此时控制列车匀速前进, 经过一定时间能够计算出列车的运行距离。由此就可以通过列车出发点和列车已行驶距离结合每段轨道线路长度计算出列车的当前位置。确定列车位置后将其显示在屏幕上即完成列车控制。

5 结束语

本文主要介绍了城轨线路教学电子沙盘中线路设计及周边场景的建模, 使用 OSG 三维渲染引擎实时渲染和控制场景中的列车运行。此电子沙盘有很强的综合性, 能够模拟列车运行环境, 很大限度地接近现实中不同情况, 解决了物理沙盘建立和修改不灵活的问题。它能够反映列车各种运行情况, 其中包括列车上下坡道、进出站点、进出车场、站后停车、站后折返及不同信号灯指示时列车的运行情况, 在城市轨道交通系统的运作展示及教学实践方面有着积极的作用。

参考文献:

- [1] 岳 军. 地铁线路平面曲线设计相关参数的确定 [J]. 城市建设理论研究, 2013 (11).
- [2] 练松良. 轨道工程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2006.
- [3] 王永梅, 舒娱琴, 胡伟平. 虚拟华师校园三维模型的构建 [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版), 2007 (4).
- [4] 谭浩强. C++ 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 王 锐, 钱学雷. OpenSceneGraph 三维渲染引擎设计与实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009 (11).

责任编辑 陈 蓉

- 型检验方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [4] 林瑜琦. 城市轨道交通信号设备 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [5] 刘传会, 张广泉. 一种基于时间自动机网络的实时系统形式化验证方法 [J]. 苏州大学学报, 2008, 24 (1): 35-40.

责任编辑 陈 蓉