

1.2.2 变坡点受力分析

列车在变坡点的受力分析如图4. 假设 F 为列车总牵引力(不考虑曲线牵引力), O 点为凸坡变坡点, α 、 β 分别为下坡、上坡的坡度角, L_1 、 L_2 分别为列车在 α 坡段和 β 坡段部分的长度, F_1 、 F_2 分别为 F 分散在 α 坡段和 β 坡段的牵引力, 列车在 α 坡段和 β 坡段的重力分别为 G_1 、 G_2 , F'_1 、 F'_2 分别为 α 坡段和 β 坡段由重力引起的坡道附加阻力, F_0 是 L_1 、 L_2 两部分列车间的作用力. 那么可得:

$$F = F_1 + F_2 \quad (4)$$

$$F'_1 = G_1 \sin \alpha = \frac{L_1}{L} mg \sin \alpha \quad (5)$$

$$F'_2 = G_2 \sin \beta = \frac{L_2}{L} mg \sin \beta \quad (6)$$

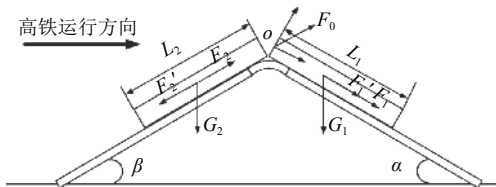


图4 变坡点受力分析

根据绳体模型的特点, 列车在 α 坡段和 β 坡段的加速度大小相等, 假设列车加速度为 a , 那么可得:

$$\frac{F_2 - F'_2 + F_0}{m_2} = \frac{F_1 + F'_1 - F_0 \sin \alpha}{m_1} \quad (7)$$

$$\frac{F_2 - F'_2 + F_0}{L_2} = \frac{F_1 + F'_1 - F_0 \sin \alpha}{L_1} \quad (8)$$

$$F_0 = \frac{L_2(F_1 + F'_1) - L_1(F_2 - F'_2)}{L_1 - L_2 \sin \alpha} \quad (9)$$

由于将列车看作动力分布均匀的绳体模型, 那么就可以将列车长度和列车动力分布视为成正比例关系, 可得:

$$F_1 = \frac{L_1}{L} F \quad (10)$$

$$F_2 = \frac{L_2}{L} F \quad (11)$$

将式(5)、式(6)、式(10)、式(11)代入式(9)中, 可得:

$$\begin{aligned} F_0 &= \frac{L_2(\frac{L_1}{L} F + \frac{L_1}{L} mg \sin \alpha)}{L_1 - L_2 \sin \alpha} - \frac{L_1(\frac{L_2}{L} F + \frac{L_2}{L} mg \sin \beta)}{L_1 - L_2 \sin \alpha} \\ &= \frac{L_1 L_2 (\sin \alpha + \sin \beta) mg}{L(L_1 - L_2 \sin \alpha)} \end{aligned} \quad (12)$$

由于 F'_1 、 F'_2 已知, 那么就可以计算出列车在变坡点的加速度(不考虑曲线阻力带来的加速度):

$$a = \frac{(F_0 - F'_2)L}{mL_2} \quad (13)$$

1.3 Unreal Engine 引擎

1.3.1 场景模型构建

场景是高铁模型的载体. 为了便于测试, 在构建场景时, 先创建一组上、下斜坡以便测试, 再创建一些山地和植被. Unreal Engine 引擎自带的 Landscape 系统可以创建山脉、起伏或倾斜的地面等大型开放的世界环境, 并且可以修改其形状和外观. 具体操作步骤为: ① 在引擎的模式面板中选择 Landscape; ② 选择管理-选择-新建地貌, 创建基本地貌, 调整位置、分辨率等参数; ③ 选择雕刻-斜坡, 创建一个上下坡; ④ 选择雕刻-雕刻, 设置画刷等参数; ⑤ 使用画刷在创建的地貌上刷山地等其他地形; ⑥ 利用腐蚀等工具对创建的地形进行微调; ⑦ 创建地形材质, 在材质编辑器中添加纹理并连接相关节点, 然后将材质赋予地形. 图5为地形场景.



图5 地形场景

1.3.2 蓝图可视化脚本构建

Unreal Engine 引擎中的蓝图可视化脚本系统是一套完整的游戏性脚本程序系统, 它使用基于蓝图节点, 包括实例、函数、变量、宏等, 来创建庞杂的游戏性元素去完成对对象的驱动. 蓝图包括关卡蓝图和蓝图类两大类. 其中, 每个关卡拥有一个关卡蓝图, 可以在关卡中引用并操作 Actor、对关卡流送、检查点等相关事务进行管理, 还可与关卡中拖放的蓝图类进行交互, 从而触发相应的事件等; 蓝图类包含很多子类, 可以创建 Actor 类、Character 类、Player Controller 玩家控制器类、Game Mode 游戏模式类以及用于 UI 显示的控件蓝图类等等.

(1) 高铁蓝图

高铁是研究的主体, 在引擎中是主要的对象, 所以需要高铁进行驱动来实现模拟仿真. 具体步骤如下:

① 创建一个 Third Person 的蓝图模板; ② 创建一个 Character 蓝图类; ③ 导入 Maya 构建的高铁模型并添加到 Character 蓝图类中作为被驱动对象; ④ 连接相关

节点完成对象移动、鼠标等输入响应事件; ⑤ 创建速度、时间、距离变量, 连接变量及相关节点完成高铁驱动蓝图部分. 主要的蓝图程序如图 6 所示.

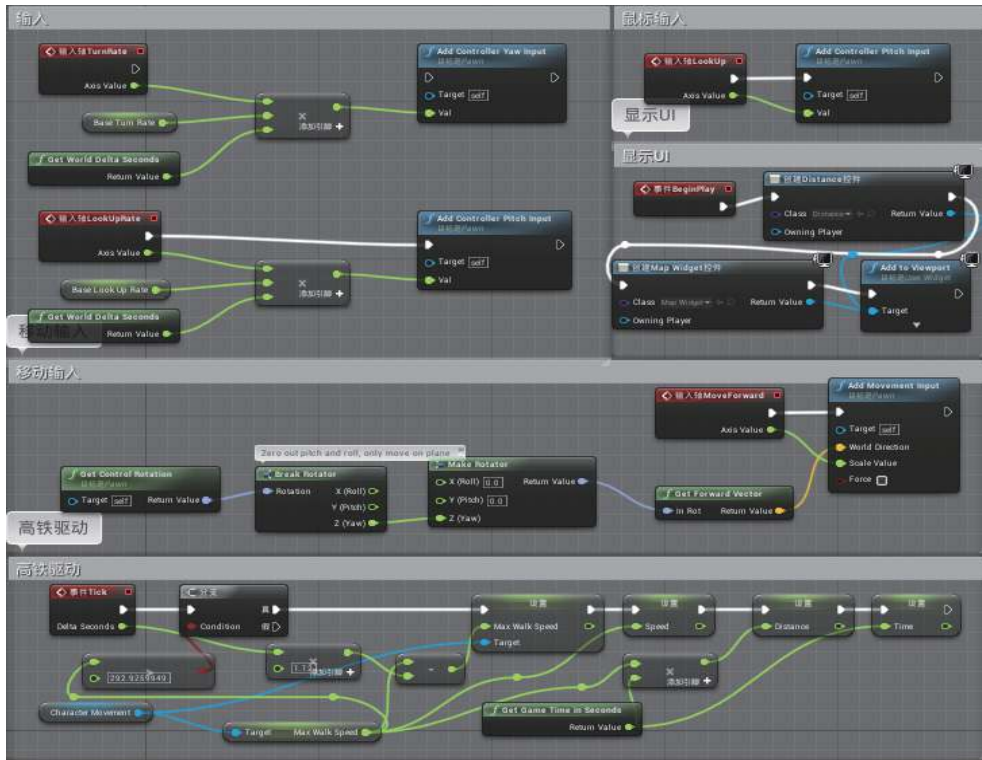


图 6 高铁驱动蓝图

(2) UI 控件蓝图

为了在头盔和显示器中显示高铁的实时数据和实现切换视角功能, 需要创建控件蓝图. 首先创建控件蓝图, 在控件蓝图中布局文本控件、按钮控件, 并将它们与相应的蓝图进行绑定, 图 7 所示是速度文本蓝图. 切换视角和退出蓝图如图 8 所示.



图 7 速度文本蓝图

实现切换视角功能需要在高铁蓝图中添加不同视角的相机, 并且构建不同视角的蓝图脚本以便于在控件蓝图中调用. 侧面视角的蓝图脚本如图 9 所示.

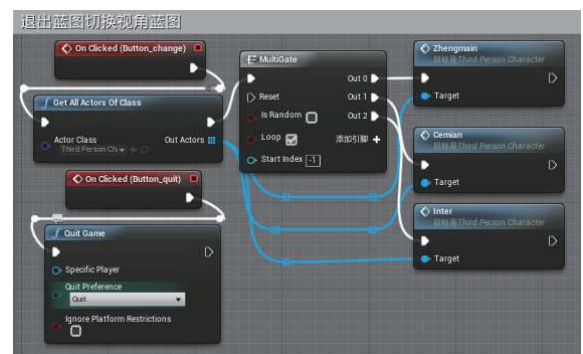


图 8 切换视角主要蓝图

1.3.3 引擎渲染

Unreal Engine 引擎具有实时逼真渲染的特点. 一方面由于具有基于物理的渲染技术、高级动态阴影选项、光线追踪功能、屏幕空间反射以及光照通道等; 另一方面, 引擎带有自动 LOD 生成系统, 可以自动决定物体渲染的资源分配, 减少不重要物体的面数和细节度, 从而提高渲染效率.

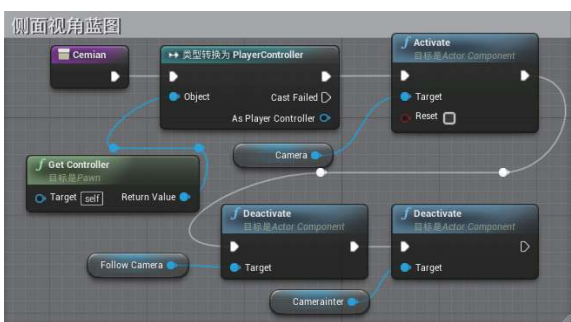


图9 侧面视角蓝图脚本

2 结果分析

本文采用 CRH3 列车组的相关参数进行测试, 其中 CRH3 动车组为 4 拖 4 共 8 节编组, 车长 200 m, 满载总质量为 530 t, 牵引总功率为 8800 kW, 再生制动功率为 8250 kW, 最高运营速度 350 km/h 测试坡度为 15°、20°。

1) 根据前文分析得到的公式对坡道上速度随坡长和坡度的关系进行模拟测试。

本文采用以下算法规则: 假设列车运行单位长度的加速度不变, 把 t_0 时刻的速度 v_0 作为变坡点的初始速度分析列车的受力情况, 利用式 (1) 或式 (2) 结合式 (3) 及相关动力学方程式计算速度 v_1 , 由于牵引力和阻力都与速度有关, 所以将 v_1 作为下一单位长度的初始速度, 重复上述步骤, 以此类推。

列车上坡时, 处于牵引力运行状态, 将引擎中文本控件中的模拟值输出为数据表格绘制图表。

图 10 展示了在上坡度为 15°、20°时列车速度随坡度、坡长的变化关系。由图可以看出, 随着坡长的增大, 列车速度逐渐变小; 随着坡度的变大, 列车速度随着坡长的增大减小的越来越快。

列车下坡时, 处于制动力运行状态, 将引擎中文本控件中的模拟值输出为数据表格绘制图表。

图 11 展示了在下坡度为 15°、20°时列车速度随坡度、坡长的变化关系。由图可以看出, 随着坡长的增大, 列车速度逐渐变小; 随着坡度的增大, 列车速度随着坡长的增大减小的越来越慢。

综合上述结果另可知, 列车下坡时速度的变化比上坡速度的变化更加大。由图 11 可以发现, 在列车下坡时, 当里程超过 4 km 时, 速度减小的越来越快, 并且

当达到一定坡长的时候, 列车速度会为 0, 理论上符合列车实际制动需要的情况。

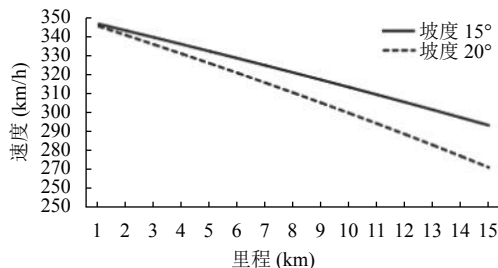


图 10 上坡时速度的变化情况

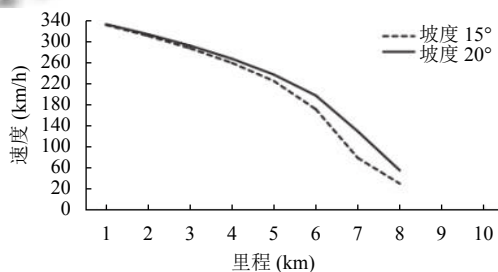


图 11 下坡时速度的变化情况

另外, 通过将模拟得到的数据与理论计算得到的数据进行对比, 结果基本吻合, 而且从直观上也符合实际情况, 进一步说明仿真模型的可行性。

2) 系统运行实时帧率

为了检测系统运行的流畅情况, 实时显示系统运行帧率, 在引擎中执行键盘~键, 打开引擎控制台, 输入 stat fps 和 stat unit 命令, 屏幕上显示帧率等参数, 如图 12。



图 12 系统运行帧率

根据实验显示, 帧率达到 119 fps, 系统运行非常流畅, 也和看到的实际运行效果一致, 也证明引擎选择的正确性。图 13 为切换视角上方的情况。

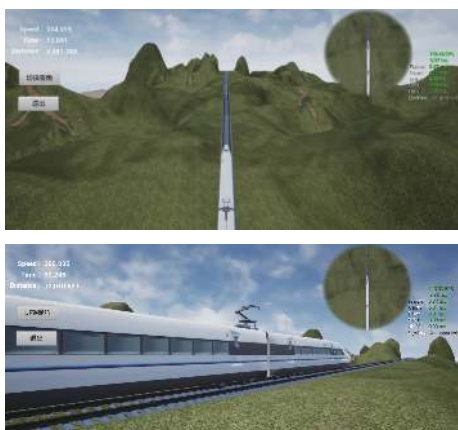


图 13 切换视角上方图

3 结论

本文提出了基于虚拟现实的高铁运动仿真模型,通过 Maya 和 Unreal Engine 建立高铁模型和仿真场景模型. 将高铁抽象成绳体模型对其进行不同运动状态下的受力分析,并在 Unreal Engine 中进行模拟,得到相关数据,与理论计算的数据进行对比,误差非常微小,其可行性得到验证,为高铁的选线、参数调整等提供了很好的可视化方案,具有一定的实用性和参考性. 为高铁研究和实际铺设提供可视化的方法,也可以缩短周期和相应成本,同时通过进一步开发也可以应用于

培训等教学工作当中. 本文后续可研究将坡道和曲线线路结合的更为复杂的高铁仿真模拟.

参考文献

- 1 今年高铁投产新线 3200 公里. 人民网. http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/04/content_5354663.htm. [2019-01-04].
- 2 张守帅, 田长海. 高速铁路长大下坡地段列车运行速度相关问题研究. 中国铁道科学, 2017, 38(3): 124-129. [doi: 10.3969/j.issn.1001-4632.2017.03.18]
- 3 尹国栋, 魏庆朝, 招阳. 高速列车在不同运行工况下速度变化与坡度和坡长的关系研究. 铁道建筑, 2010, (10): 93-96. [doi: 10.3969/j.issn.1003-1995.2010.10.029]
- 4 唐金金. 基于运行图的高速列车群运行过程全息优化仿真方法与系统研究[博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- 5 张昊, 蒲浩, 胡光常, 等. 基于 OSG 的铁路三维实时交互式可视化技术研究. 铁道勘察, 2010, 36(1): 3-7. [doi: 10.3969/j.issn.1672-7479.2010.01.002]
- 6 徐阳. 列车视景仿真中三维建模技术的研究[硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2011.
- 7 宋晓伟. 地铁列车运行控制视景仿真系统中三维建模技术的研究与实现[硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- 8 张曙光. 高速列车设计方法研究. 北京: 中国铁道出版社, 2009.