

基于多源异构数据的道路交通虚拟驾驶系统 研发与应用

张守军

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 针对虚拟驾驶技术建模成本高、无法融合交通仿真数据等问题,基于游戏引擎 UE5,提出了融合多源异构数据的道路交通虚拟驾驶系统。该系统利用道路设施模型、周边现状模型以及交通仿真数据,构建包含仿真车流的三维场景,并可以搭配VR眼镜、方向盘、脚踏板等设备使用。工程案例表明,该系统实现了道路交通工程多源异构数据与虚拟驾驶技术的融合,在验证道路工程设计合理性的前提下,可将其应用于虚拟驾驶场景的展示。

关键词: 多源异构数据;虚拟驾驶;动态车流;硬件适配;道路交通

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0021-04

Research and Application of Road Traffic Virtual Driving System Based on Multi-source Heterogeneous Data

ZHANG Shoujun

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Aiming at solving the existing problems in virtual driving technology such as high modeling cost and inability to integrate traffic simulation data, and based on the game engine UE5, a road traffic virtual driving system integrating multi-source heterogeneous data is proposed. This system uses road facility models, surrounding environment models and traffic simulation data to construct a three-dimensional scene with simulated traffic flow, which can be used with the equipment of VR glasses, steering wheels, foot pedals and other devices. Engineering cases show that this system has achieved the integration of multi-source heterogeneous data of road traffic engineering with virtual driving technology. Under the premise of verifying the rationality of road engineering design, it can be applied to the display of virtual driving scenarios.

Keywords: multi-source heterogeneous data; virtual driving; dynamic traffic flow; hardware adaptation; road traffic

0 引言

近年来,建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术在道路工程领域得到了大力推广应用,BIM建模+应用已成为行业主流应用模式。但是,在一些大型综合交通枢纽工程中,由于交通组织、结构、流向等因素非常复杂,常规BIM应用很难反映真实的情况。虚拟驾驶技术(virtual driving technology)是指通过高科技手段,使驾驶者在虚拟场景中体验道路系统中的各项功能及与周边车辆、建

筑、环境的关系,便于不同人员对项目方案的优化进行沟通交流。

目前,国内很多专家学者对国外的UC-Win/Road软件进行研究应用,如马思群^[1]、陈玲^[2]等采用该软件进行道路设计和模拟驾驶,但存在建模精度不高、建模周期长等问题。也有专家学者提出基于游戏引擎自主开发模拟驾驶系统,如伍朝辉^[3]、汪晓飞^[4]等基于Unity3D开发了虚拟驾驶系统,通过导入BIM模型的方式构建驾驶环境,但驾驶场景中没有动态车流。

现有虚拟驾驶技术存在建模成本高、无交通仿真车流等问题,本文以工程项目中现有的道路设施模型、场地模型和交通仿真车流数据为输入,基于功能强大的游戏引擎UE5研发,针对道路交通工程的虚拟驾驶系统,通过VR眼镜、方向盘、脚踏板等实体

收稿日期: 2025-07-23

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司科研项目(K2021K056)

作者简介: 张守军(1988—),男,硕士,工程师,从事市政交通BIM软件的研发与应用工作。

设备,实现沉浸式工程方案展示与优化。

1 系统架构设计

1.1 分层体系架构

本系统采用“输入层-设置层-应用层”的三层架构模式(见图1),实现数据处理、功能设置和应用部署的模块化设计。

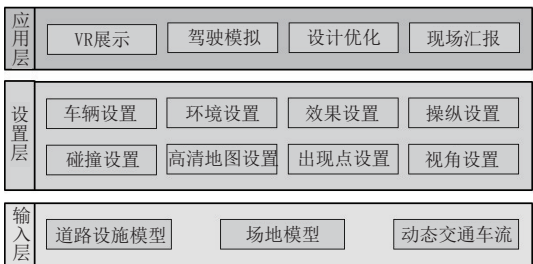


图1 虚拟驾驶系统架构

(1)输入层

输入层集成了三类核心数据,包括道路设施模型、场地模型和动态交通车流。其中:道路设施模型,是基于达索^[5-6]、Autodesk等平台完成的设计阶段BIM模型,包含道路、桥梁、隧道、交通标志标线和附属设施等要素;场地模型,是利用无人机倾斜摄影技术获取,经ContextCapture处理生成的带地理坐标的高精度Mesh模型;动态交通车流,是基于交通仿真软件导出的与设计模型版本对应的仿真流量数据,包含车辆的时间、编号、类型、位置和速度。

(2)设置层

设置层为系统的核心功能层,主要包含车辆设置、环境设置、碰撞设置、高清地图设置、视角设置和初始设置六大功能模块。其中:车辆设置,是指基于UE5引擎研发具有物理仿真特性的驾驶车辆,通过设置车辆质量、摩擦系数和悬挂系统等参数,实现动力学仿真模拟;环境设置,是指通过Shader技术实时渲染光照与阴影,实现昼夜交替和天气变化的设置;碰撞设置,是通过刚体碰撞算法,实现驾驶车辆与道路设施模型碰撞的设置,并定义驾驶车辆与防撞墙、护栏等模型的碰撞破坏效果(如反弹、变形等);高清地图设置,是通过自动合成全景图与局部细节图,实现驾驶位置的动态更新指引设置;视角设置,可支持车内驾驶视角与车外全局视角的切换;初始设置,是对驾驶车辆的初始位置点和车辆的还原点位置进行设置。

(3)应用层

应用层适配游戏方向盘、脚踏板和VR眼镜等驾

驶设备后,将系统打包为exe可执行程序,将程序和驾驶硬件集成安装到目标终端,依提示完成驱动安装和设备校准,待系统实现正常运行后,可开展VR展示、驾驶模拟、设计优化和工程成果汇报等应用。

1.2 系统技术路径

为了实现驾驶系统的研发,将系统分为场景模型构建、驾驶设置、整合打包及应用三大模块(见图2)。其中:在场景模型构建模块中,首先要对道路设施模型和场地模型进行切割、拆分及合并等操作,然后根据交通仿真数据添加车流元素,完成驾驶系统的三维场景构建;驾驶设置模块的功能是对驾驶车辆、环境、碰撞、视角、出现点、高清地图等内容进行设置;在整合打包及应用模块中,需要对VR眼镜、游戏方向盘、脚踏板等设备进行适配,并将系统封装成exe可执行文件,供后续安装部署与应用。

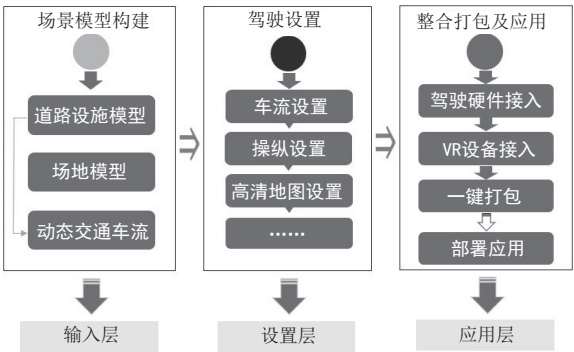


图2 虚拟驾驶系统技术路径

各模块核心功能及关键技术见表1。

表1 各模块核心功能及关键技术清单

模块名称	核心功能	关键技术
场景模型构建模块	多源模型融合与动态车流生成	多源异构数据融合及动态车流生成算法
驾驶设置模块	物理仿真与场景交互设置	刚体碰撞引擎、高清地图拼接算法
整合打包模块	硬件适配与程序封装	设备驱动开发、C++跨平台编译

2 关键技术研发

2.1 多源异构数据融合技术

2.1.1 三维模型整合方法

(1)模型预处理

将道路设施模型和场地模型进行预处理。首先,将达索、Autodesk等平台所设计的道路设施BIM模型转出为FBX或IFC等通用格式;然后,将无人机倾斜摄影获取的图片资料利用Context Capture软件进行处理,生成高精度的OSGB场地模型(包含地形地貌、道路、建筑等信息)。

(2) 数据整合

将道路设施模型和场地模型进行空间对齐和模型处理。首先,使用场地模型的GIS坐标系统将道路设施模型转换到统一的坐标系下,并去掉两者的重叠部分(例如设计道路与场地模型中地形的重叠部分);然后,把模型按照碰撞类型完成组合与拆分处理,如路面、防撞墙、桥墩、隧道等分别成组。

2.1.2 动态车流生成算法

由于交通流量数据在时间上不连续,需要根据车辆轨迹重构算法^[7-9]进行车辆的轨迹重构。本文提出了一种基于双表结构的动态车流生成算法。

(1) 数据预处理

读取交通流量数据并进行处理,提取车辆的ID、类型、当前时间、位置和速度,并构建初始数据集(时间间隔为 Δt)。

(2) 双表结构构建

基于初始数据集,构建车辆时间表和时间车辆表。其中,车辆时间表(VehicleTimeTable, VTT)用于记录车辆在任意时刻的位置和速度,时间车辆表(TimeVehicleTable, TVT)用于记录在任意时刻存在的车辆。

(3) 运动轨迹插值

在表VTT中:车辆在时间点 t_i 的空间位置为 $p_i = (x_i, y_i, z_i)$,速度为 $\vec{v}_i = (v_{xi}, v_{yi}, v_{zi})$;车辆在时间点 t_{i+1} 的空间位置为 $p_{i+1} = (x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$,速度为 $\vec{v}_{i+1} = (v_{x(i+1)}, v_{y(i+1)}, v_{z(i+1)})$ 。那么,车辆在任意时间 $t \in [t_i, t_{i+1}]$ 时刻的位置、速度和加速度公式:

$$p(t) = p_i + \int_{t_i}^t \vec{v}(t) dt \quad (1)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_i + \int_{t_i}^t \vec{a}(t) dt \quad (2)$$

$$\vec{a}(t) = \frac{\vec{v}_{i+1} - \vec{v}_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (3)$$

式中: $p(t)$ 为车辆位置坐标,m; $\vec{v}(t)$ 为车辆速度,m/s; $\vec{a}(t)$ 为车辆的平均加速度,m/s²。

根据设定的显示帧率FPS(为保证车流动作流畅最低帧率为30FPS)计算车辆插值点的位置和速度,则在时间区间 $[t_i, t_{i+1}]$ 中插值点个数 $\text{num} = \text{FPS} \times (t_{i+1} - t_i)$,第 n 个插值时间点 $t_n = t_i + n \times \frac{1}{\text{FPS}}$, $n = 1, 2, 3 \cdots \text{num}$,依次计算 t_n 时刻的位置 $p(t_n)$ 和速度 $\vec{v}(t_n)$ 并更新至表VTT和表TVT。

(4) 实时渲染控制

根据表TVT按时间点控制车辆模型的加载/卸载,根据表VTT在当前时间点更新车辆的位置和速度,对超出时间范围的车辆进行剔除,优化渲染性能,最终生成完整的动态交通车流。图3为三维场景动态交通车流生成效果。

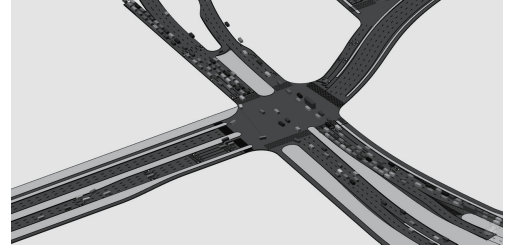


图3 三维场景动态交通车流生成效果

2.2 高清地图生成技术

传统虚拟驾驶地图是通过高空俯视制作导航地图的技术路径,对于线性的道路交通工程,存在精度不高、细节缺失等问题。本文提出一种三层级地图生成算法,实现高清地图的制作。

(1) 全景底图生成

从高空俯视场景,关闭动态车流,采用正交投影生成包含整个模型的全景图,作为制作高清地图的基础框架。

(2) 局部高清图采集

将三维场景空间放大至某一高度后,按一定间距进行分段,自动截取高分辨率的局部图。采用SIFT特征匹配算法,在保证拼接精度的前提下设置合适的图像重叠率,将截取的局部图合成高清大图。

(3) 动态位置匹配

将三维场景坐标系与地图坐标系进行矩阵转换,系统实时获取驾驶车辆的位置坐标后,在全景底图上叠加带有细节的高清大图,实现“全局预览-局部放大”的动态导航效果。

2.3 物理仿真与硬件交互技术

(1) 碰撞响应机制

系统采用NVIDIA PhysX引擎实现物体间的刚体碰撞检测,并定义了刚性体、变形体和触发体三类碰撞对象。其中:刚性体为不可变形的道路设施,碰撞时驾驶车辆的速度按动能守恒衰减,如防撞墙、桥墩、隧道等道路设施;变形体为可破坏的道路设施,碰撞后道路设施模型和车辆损坏并触发粒子效果,如绿化带、交通锥、人行护栏等道路设施;触发体为逻辑对象的道路设施,碰撞时触发预设的规则(如导航指引、限速等),如信号灯、标牌等道路设施。

(2) 硬件适配技术

方向盘采用 Logitech G29 游戏方向盘, 基于 HID 协议读取方向盘的转角信号, 通过映射关系计算驾驶车辆的转向角。脚踏板采用线性电位器采集脚踏板油门/刹车的行程信号, 并根据映射关系控制驾驶车辆的加速度大小。VR 头显选用 HTC XR 眼镜, 基于 SDK 开发实现头部姿态的跟踪, 实现驾驶视角与用户的头部姿态一致。

3 工程应用案例

上海市浦东国际机场四期市政工程是未来连接浦东国际机场 T3 航站楼与 T1、T2、上海东站、临港和市域铁路的重要枢纽, 包含机场航站区、工作区、S32 立交改扩建等多个市重大工程, 面临交通流量大、交通组织复杂、施工保通、设计空间紧凑、多工程多业主交叠等问题。其中, 高架桥梁全长 14.7 km、地面道路 23.4 km, 地道 4 km, 共有 20 多个交通流向, 是一个非常复杂的机场大型综合枢纽立交快速集散系统。传统方案验证依赖的二维图纸与静态三维模型, 难以发现视距不足、合流区冲突、标识指引等问题, 很难给业主、评审专家、交警及交通管理委员会等行业管理部门直观展示。图 4 所示为浦东机场四期市政工程 BIM 模型。

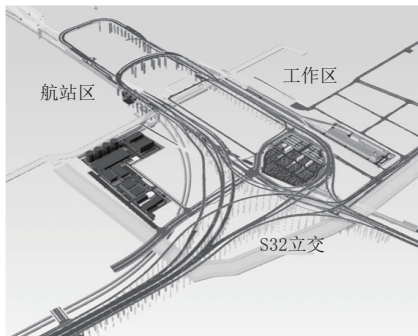


图4 浦东机场四期市政工程 BIM 模型

将图 4 中的 BIM 模型应用到本系统, 设计师可以沉浸式驾驶感受设计方案的可行性, 进而对路线选线、纵坡设计及标志标线的设置等进行设计优化。业主和评审专家等通过亲自驾驶, 打破了以往凭借经验和想象去评判方案可行性的模式, 提高了方案沟通的效率。如图 5 所示, 设计团队将本系统布置到评审现场, 评审交警通过亲自驾驶的方式, 对设计

方案存在疑点的所有节点进行驾驶验证, 并提出准确有效的修改意见, 进而缩减交评次数, 加快了项目的推进进度。



图5 交警模拟驾驶验证方案

4 结 语

本文研发的虚拟驾驶系统实现了工程项目数据与虚拟驾驶技术的融合, 对大型综合交通枢纽工程的方案设计进行了优化, 在与交警、交委等管理部门的沟通中, 能直观、准确地展示设计方案, 有效提高了项目的沟通与推进效率。该系统适用于常规道路、快速路及枢纽立交工程, 尤其是方案及初设阶段的交通方案展示与优化。随着技术的不断完善, 虚拟驾驶系统有望成为道路交通工程设计的常用工具。

参考文献:

- [1] 马思群, 张旻昌, 蒋坤, 等. UC-win/Road 在城市规划中的应用[J]. 软件导刊, 2015, 14(11): 78-80.
- [2] 陈玲, 于泉, 宋树坚. 基于驾驶模拟实验的高速公路加速车道渐变段长度研究[J]. 交通世界, 2024(34): 7-9.
- [3] 伍朝辉, 符志强, 王亮, 等. 虚拟现实的公路 BIM 感知与工程评价方法研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(7): 1402-1412.
- [4] 汪晓飞, 杨晓玲, 张杰, 等. 基于 Unity 3D 的虚拟驾驶系统设计与实现[J]. 成都师范学院学报, 2020, 36(3): 114-119.
- [5] 袁胜强, 欧阳君涛, 刘钊. 基于 3D Experience 平台的市政交通 BIM 系统的研发及应用[C]//第三届全国 BIM 学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社数字出版中心, 2017: 116-121.
- [6] 黄俊炫, 张磊, 叶艺. 基于 CATIA 的大型桥梁三维建模方法[J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4(4): 51-55.
- [7] 丁军, 张佐, 陈洪昕, 等. 车辆轨迹数据的若干处理方法研究[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(5): 10-14.
- [8] 陈志军, 吴超仲, 吕能超, 等. 基于改进三次 Hermite 插值的车辆时空轨迹重构研究[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(6): 43-46.
- [9] 张辉, 温鑫, 陈海宇, 等. 基于激光测距传感器的车辆轨迹全息感知方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2024, 54(8): 2378-2384.