

文章编号: 0451-0712(2006)04-0202-05

中图分类号: U495

文献标识码: B

高速公路视景仿真系统的应用研究

黄江波¹, 李 杰¹, 宋江平², 刘 尧¹

(1. 华中科技大学土木工程与力学学院 武汉市 430074; 2. 湖北省交通规划设计院 武汉市 430051)

摘 要: 高速公路视景仿真系统通过建立模拟现实世界的模型系统, 并分析运行模型获取的数据来对道路的线形、景观、环保等方面进行评价。重点介绍了孝襄高速公路仿真系统的建模方法、模型简化方法和实时系统的优化方法, 在此基础上提及了进行开发以得到专门适合道路景观评价的界面。

关键词: 高速公路; 视景仿真; 景观评价; 虚拟现实

随着公路建设的不断发展, 高速公路已不仅仅局限于结构强度和道路安全方面的要求, 公路线性美学、公路景观、数字化公路日益成为高速公路建设的重要指标, 这就对高速公路的规划设计、施工控制和评价提出了更高的要求。与此同时, 随着计算机科学与土木工程学科的交叉发展, 视景仿真技术——一种通过建立模拟现实世界的模型系统(包括“几何模型”、“数学模型”、“物理模型”等)^[1]得到应用。本文分析运行该模型获取的各种数据和结果, 来认识该系统在高速公路中的应用效果。

1 高速公路视景仿真技术的内容

高速公路视景仿真系统把视景仿真技术与道路设计、视觉心理和景观评价等相结合, 通过对具体的数据进行可视化处理来构造道路系统的三维几何形体和视觉效果模拟系统, 再结合相关的数学模型进行量化分析, 并将这些信息反馈给道路的设计和建设者, 使道路系统不仅仅关注结构物本身, 同时也关注设计物和自然环境的关系。其运用主要体现在以下 3 个方面。

1.1 线形指标衡量

线形既是衡量道路方案的重要指标, 也是道路美学的重要组成部分。传统上多采取静态透视图的方法来检验道路线形的设计指标, 如半径、缓和曲线、平纵线形组合等, 但这种方法只能在某种程度上反映了驾驶员对线形的认识而不能充分反映驾驶行为这种动态连续的过程^[2]。视景仿真的实时性不仅能在运动中模拟驾驶员对线形的视觉感受, 还能为设计人员提供检验线形组合的模拟环境, 极大地提高道路线形分析的直观性和准确性。

1.2 景观设置调配

公路景观分为内部景观和外部景观两方面的内容。传统的景观评价方法多采用动画制作的方法, 这种方法侧重于内部景观的描述, 存在着交互性不强、涉及面窄、观察者只能被动地接受信息的缺点。而利用视景仿真技术可以自由地观察道路的内部景观和外部景观, 评价道路与周围环境的协调程度。

1.3 环保经济评价

高速公路在建设过程中不可避免地存在着需要对生态环境、经济效益等进行决策的情况。以往技术

基金项目: 湖北省交通科技项目(2003)

收稿日期: 2005-11-25

顺利实施为核心, 尽可能维护业主的利益, 同时不损害投标者的利益, 以选择最好的施工队伍和最合理的价格为目的, 将招标评标工作做到最好。

参考文献:

[1] 交通部. 公路工程国内招标文件范本(2003 年版)[Z].

人民交通出版社, 2003.

[2] 交通部公路司. 公路建设招标投标法规文件汇编[M]. 人民交通出版社.

[3] 交通部. 《关于贯彻国务院办公厅关于进一步规范招标投标活动的若干意见的通知》及附件[Z]. 2004.

人员只能以图文的形式向环保部门和决策者提供决策依据,而在视景仿真系统中,技术人员可以在建立的几何模型基础上进行二次开发,一方面把抽象的数据以可视化手段直观地表现出来;另一方面则通过建立数学模型来扩增分析数据库,供方案比选和决策之用。

2 动态建模技术

视景仿真建模可与所侧重内容的数据处理同步进行,涉及到道路景观评价方面的内容按照动态模拟和数据分析两个部分进行区分。前者主要为虚拟世界输出接口的处理,包括视觉和听觉绘制等;后者则对抽象的数据进行模型化处理,通过仿真软件的扩展开发,将道路评价中的参数与道路系统结合,使之成为一个完整的道路景观评价应用系统。

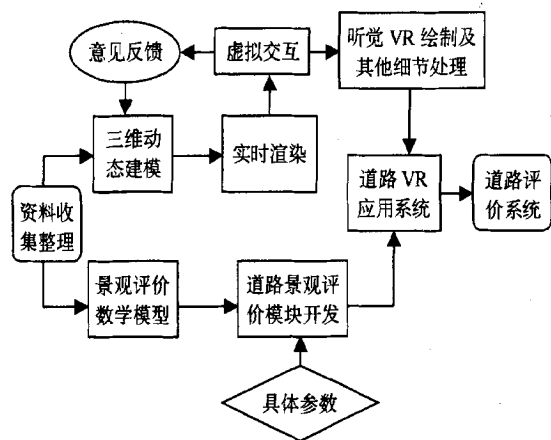


图1 高速公路视景仿真系统流程

建模过程中所需解决的主要问题有:

- (1) 利用现有源数据选择建模方法,尽可能突出模型精度;
- (2) 对建模过程及建模方法进行优化,使系统实时性与逼真度达到统一;
- (3) 在交互的基础上解决指标量化以及数据界面的问题。

本文中以湖北省孝襄高速公路的一段为例,来介绍高速公路视景仿真的建模过程。

2.1 地形及路线模型

高速公路地形建模最快捷的方法是利用仿真系列软件Creator/Vega的大型地形产生器、道路产生器等模块,根据数字高程模型数据(DED)来选择合适的算法建立起三维地表模型。但是鉴于缺乏道路沿线航拍图,本文采用了以道路地形图和设计施工图作为源数据,利用多个软件的结合来建模。

事实上,道路平面及纵、横断面图包含的信息完全能满足三维数据的要求,在AutoCAD平台下从平面图上读取中线上点的 x 、 y 坐标及该点的法线方向,从横断面图上读出设计高程,然后将横断面经过坐标变换及旋转,将平面表达的横断面图实际放样到三维模型中形成道路骨架,并按线性内插建立两个相邻断面间的部分,完成初步的三维道路模型的建立。而道路周围地形模型,则根据三角网构网程序来采集平面图等高线上的高程点,按照节点的三维坐标输出成模型三角网^[3]。拼装后的道路模型与地形模型构成原始道路系统,如图2所示。



图2 基于CAD平台的三角网道路模型

利用3dmax中polytrans模块的转换,将原始模型转化为Creator支持的flt格式,这样即形成了所需的几何模型主体框架。为消除转换过程中的变形,对模型中某些三角形网格的顶点进行复杂顶点判断,进行局部三角化^[4]。通过删除不需要的多边形、合并面、消去T点来修改模型,同时按照一定的法向方向对模型的正反面进行调整,使其精确地表现出整个建模对象的轮廓和结构,反映出必要的形体变化关系。

2.2 建筑单体及环境小品

构建模型单体没有太大的难度,但对长达数公里的公路模型而言,大量单个模型形成的数据量相当惊人。因此处理结构单体及环境小品时主要是应选取相对优化的方法来处理,尽可能地减少数据量。

场景中多个几何形状相同但是位置不同的物体,如结构、形状相同而位置、大小不同的树木,如果单独建模将会使多边形面片数增加几个数量级。这种情况下采用实例技术来调整其位置关系和拓扑结构,对需要处理的树木模型只在内存中存放一份实例,再将这棵树平移、旋转、缩放之后进行引用,即可在节约了内存空间的情况下得到所需结构相同的树木。而对于模型中很多外形轮廓接近矩形的结构物,

则可采用制作纹理贴图的方式进行细节处理。如本项目中在处理路侧护栏时,即采用先在所在位置建矩形面,然后将栏杆纹理附在 Alpha 通道中形成的透明纹理在矩形面上进行双面附着,即可将 2 维的图像创造成 3 维的效果。

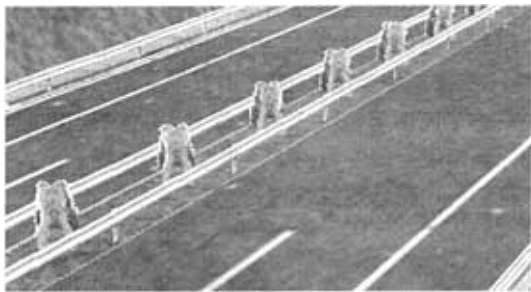


图 3 中央分隔带树木及栏杆

2.3 对象外表处理

仅由体和面构成的几何体是不足以模拟真实世界的,通过纹理和材质来进行表面处理可以在不增加多边形数量的前提下,使模型对象获得真实感的视觉效果。建模工具 Creator 中有专门的纹理映射调板来保存和运用模型中纹理图像的相关信息,通过调板本身或者外接的图形编辑软件来进行修改,按照纹理内存 $= x \times y \times c$ (x 和 y 分别是纹理图像在 X 轴和 Y 轴方向上的图元数, c 是颜色的位数)^[5]来控制纹理的大小和规格。

单张照片虽然能突出局部细节,却不能表现大块的地貌特征,纹理与纹理之间的连接处易出现断缝和错层,此外二维的纹理来表征三维地形的时候容易失真。因此在纹理映射过程中要处理好纹理与地形的匹配关系,对现场拍摄或者扫描各种图片获取的原始素材要进行适当的编辑加工,对图片的像素进行移位处理,分析不同的地形特点来选择不同的纹理映射工具。



图 4 实时系统中处理的道路系统

通过表面处理后的几何模型即可进入实时系统进行处理,通过动画的方式进行输出和交互。

3 模型优化技术

高速公路视景仿真系统把高速公路的几何数据、属性信息统一起来,所形成的数据量相当庞大。以孝襄高速公路为例,一段 13 km 长的模型中光三角网控制点即多达 2 万多个,如此大的数据量是不可能一次性进行实时处理的,因此在追求模型逼真的同时如何优化模型、组织好相关数据就成了关键所在。

3.1 地形模型结构组织

视景仿真系统效果的好坏并不取决于非实时场景模型的大型化和精细化,而是决定于实时系统读取数据的有效性和流畅性。实时系统的读取规则与模型的结构组织存在着一定的对应关系,读取数据时会对边界体与观测体相交的模型部分按照一定的组织原则依次进行遍历。对于复杂的场景而言,通过将其先分割成若干子场景再重新进行拼装的方法能有效地减少在同一时刻显示的三角形数量,降低了场景复杂度^[6]。

一般而言,视景仿真系统模型数据库按照线性结构、逻辑结构、空间结构 3 种不同的组织方式进行组织^[1]。根据高速公路场景带状特征和地形特点,确定最好的组织方法是以空间结构分隔模型,再采用逻辑结构将同一部分内相同类型的组节点进行归类。以孝襄高速公路为例,先根据路段长度及填、挖方路段的地形特点将整个模型分为若干部分,在每部分中按照与道路横断面图的对应关系来分割成若干块,相同类型的结构物放在同一节点下。在进行模型的单元分割时,通过观测体远近裁剪面的距离来确定模型的具体位置关系,尽可能以路线上典型的结构物或控制点来作为划分指标,避免因分割过细或过粗带来的负面影响。这种方式可以使实时系统快速地判断出哪些区域在当前的可视范围内,并在输出系统中反映出来,而无需遍历不可见组节点的子节点。

3.2 多层次细节模型(LOD)

在视景仿真系统中,不同的模型细节程度其多边形的复杂程度也不一样,在帧频率给定的情况下,系统只能对有限的多边形进行实时计算处理。对高速公路这种大地形模型而言,利用视点相关的 LOD 技术来选择合适精度的 LOD 模型能提高多边形利

用率^[7,8],在有限的条件下取得最佳的视觉效果。LOD 技术涉及到两个方面的内容:一是建立 LOD 模型对象;二是系统参数的设置。

根据高速公路模型的地形复杂的特点,单从整体上进行简化常常不能很好地保留模型的关键形状。在处理孝襄高速公路模型的过程中采用了先对模型对象的各个组成部分进行简化,再把简化后的模型对象部分放到新的 LOD 节点下,对某段模型中包含的多个 LOD 层次,则采用嵌套的方法来避免系统进行不必要的 LOD 可见性判断计算,便于有效地进行剔除(CULL)操作。

在设置 LOD 参数的过程中,主要确定因素是转入转出距离和 LOD 中心点。转入转出距离设定的合理与否,能确保 LOD 显示范围的合理性及相邻 LOD 之间的连贯性;而 LOD 中心点的确定则能保证该中心点与视点之间的模型对象是否处在当前 LOD 可视范围内。在高速公路模型系统中,路线位置往往是通过具体桩号确定的,据此以不同断面的桩号作为参考来设置转入转出距离,同时以该桩号所在的断面的坐标为参考,直接在 LODcenter 中输入 LOD 中心的几何坐标。这样合理的设置模型数据库的树状层级结构,可以加速实时系统对 LOD 的处理,提高系统的运行效率。

3.3 数据库动态调度

仿真实时系统帧频率与数据存储和传输机制息息相关,其稳定性会影响系统的交互感觉。实时处理时,系统通过计算机内存中的数据页对数据进行一帧一帧的读取。如果是单一的串行方式进行传输,数据之间容易发生堵塞,会影响到整个处理进程,解决这一问题最好的办法是通过建立前后两个数据页缓冲区分配计算数据,其中后台用于数据管理,前台则直接用于输出显示。绘制过程只在后台位面进行更新,而输出界面只显示前台数据页信息^[9]。

为了获得平滑的动画效果,将一个已完全画好的图像在前台位面显示一段时间,与此同时清空后台位面并绘好下一幅图像,然后调用 SwapBuffers() 函数交换前后台位面,把已经生成的图像从内存输出到屏幕上来显示^[9]。这样数据动态调度时先通过初始化确定所需处理的区域,再根据视点变化来判断当前视点位置与数据页几何中心之间的平面位置关系,如果区域范围超过了某个临界值,则需要对整个数据页中的数据更新。通过不断地更新并与原有的数据进行融合并通知主线程,很好地解决实时

系统的任意漫游。

3.4 多线程控制的设置

线程是仿真实时系统分配处理器时间的基本单位,它包含独立的堆栈和 CPU 寄存器,共享所有的进程资源。线程作为进程的执行路径,会被分配一个时间片,由于时间片极短,可看成有多个线程在同时工作。系统前后台数据页缓冲区,通过多线程技术实现数据内容的交换,其效率会大大提高。仿真系统中 3 种主要的线程请求(app)、选择和绘制,根据不同任务级别以不同的组合方式进行执行。为了让实时处理得到最优化的执行,用户必须在以多种线程方式下运行的系统中进行配置。

编程软件 Visual C++ 附带的 MFC 类库中提供了多线程编程的支持,可选择界面线程和工作线程以适应不同的任务需求。在处理高速公路实时系统时,结合 VC++ 的 MFC 类库与实时仿真软件 Vega 自身包含的函数库的特点,利用 vgProp 函数进行 VGSYS—MPMODE 设置

VGSYS—MP3 模式,这种方式意味着系统设定 3 个不同的线程分别来进行请求、选择和绘制。根据实时处理执行软件 Vega 的线程处理器(CPU),来设置线程的优先权,结合具体的运行情况来决定是否需要分配专门的 CPU 来决定线程使用 CPU 的运算时间。为了突出过程的实时性,同时又不影响操作系统运行的线程,可选择高优先权类和高线程优先权层,在多 CPU 处理时出现的情况则通过设置 VGS—ISECTCPU 来设置交叉线程的运行优先级别^[10]。

4 道路景观评价界面的扩展

基于 Creator/Vega 系列软件来建立高速公路视景仿真系统,实用性好但针对性不强,建立的模型能方便快捷地实现三维场景漫游,而评价效果却往往因为无法量化而大打折扣。对于道路景观评价等比较具体的要求,需要结合道路系统和仿真系统特点来进行数据库扩展。

根据三维视景仿真是一个可以量测的系统,每段模型中包含丰富的属性数据,比如道路桩号、标高等特点。利用模型的属性数据管理模块,在视景仿真平台上开发出外接数据库,在观测模型的同时通过点击来查询该路段景观评价的指标、景观评价方法以及观察者相应的评分,可实现几何模型与数据处理的完美结合。

在建立孝襄高速公路视景仿真系统的过程中,

先确立道路景观评价的指标体系和数学模型,然后利用Vega的API允许增加自定义的数据库实体、扩展功能等特点,通过其开发接口来实现三维场景与道路景观评价系统数据库相结合。考虑到程序界面要求高,计算繁杂但核心算法比较简单的特点选用了编程容易、功能强大的VC++来进行开发,通过扩展模块的关键字配置文件、GUI配置文件以及Lynx插件动态链接库来扩展模块的Lynx图形界面。通过不同的windows窗口来表现不同的评价指标。

5 分析前景

本文主要介绍了高速公路仿真系统的具体建模方法和建模过程中的优化方法,基于本文所述方法,在湖北省孝襄高速公路中进行了实际应用并取得了很好的效果。同时对针对性的模块开发有一定涉及,相信随着用户需求的不断深入,基于公路三维视景仿真平台的各项专题应用也必将更加广泛,在数字化公路及公路信息管理领域会起到更大的作用。

参考文献:

- [1] Creating Models for Simulations [Z]. MultiGen-Paradigm Inc, 2000.
- [2] 应熠,彭胜强. 道路动态透视图研究初探[J]. 道路与桥梁防洪, 1998, (4).
- [3] 刘尧,李杰,黄江波,等. 从平面图和横断面图建立三维道路模型[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2005, (5).
- [4] 邹新平,吴波. 公路三维视景仿真研究[J]. 交通与计算机, 2004, (3).
- [5] 任庆东,李明辉,李龙,等. 场景模型的建立与快速显示[J]. 大庆石油学院学报, 2002, (6).
- [6] 吴家铸,党岗,刘华峰,等. 视景仿真技术及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2001.
- [7] 潘兵宏,许金良,杨少伟,等. 公路三维建模应用研究[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21, (1).
- [8] Wang Weichen, Jiang Xiaohong, Han Keqi. Optimizing Real-Time Performance of 3D Virtual Mining Environment with MultiGen Creator [J]. CADDM, 2004, 14(1).
- [9] 何业兰. 基于PC的实时交互视景仿真系统的实现与研究[D]. 武汉理工大学, 2004.
- [10] 龚卓蓉,朱衡君. vega 程序设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2002.

Research on Application of Visual Simulation System of Expressway

HUANG Jiang-bo¹, LI Jie¹, SONG Jiang-ping², LIU Yao¹

(1. School of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Communication Planning & Design Institute of Hubei Province, Wuhan 430051, China)

Abstract: Visual simulation system of expressway is a model system that simulates the real world. It is used to evaluate the road route, landscape, environmental protection and so on by analyzing the data obtained from the running system. The methods of establishing model, model simplifying and realtime system optimizing in Xiao-Xiang Expressway Simulation System are mainly introduced. On the basis of them, how to establish the interface that evaluates landscape of road is also presented.

Key words: expressway; visual simulation; landscape assessment; invented reality