

文章编号:1671-8879(2006)01-0063-04

公路隧道视景仿真建模技术

揣锦华¹, 蒋万民²

(1. 长安大学 信息工程学院, 西安 710064; 2. 中交集团 第二公路工程局, 西安 710075)

摘 要:对目前常用建模技术进行比较,提出了以多边形建模方法进行视景仿真建模的思路。结合公路隧道,对模型的数据组织结构进行剖析,对建模的实例、细节层次(LOD)、自由度(DOF)等关键技术进行了应用研究,探讨了这些技术的理论和具体实现方法。仿真结果表明,这些技术对公路隧道实时场景的生成具有重要的作用,能有效地提高三维视觉的真实感受和虚拟系统场景的细节表达能力,使整个视景仿真画面更加生动逼真。

关键词:隧道工程;公路隧道;视景仿真;模型;细节层次(LOD);自由度(DOF)

中图分类号:U452.2

文献标识码:A

Modeling of Highway Tunnel Scene Simulation

CHUAI Jin-hua¹, JIANG Wan-min²

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Second Highway Engineering Bureau, Chinese Communications Construction Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: The current modeling technologies are analyzed, and a new modeling thought is put forward. Combined with highway tunnel scene simulation, the data organizing structure of the model is studied. The technologies that are adopted during creating the model, such as texture mapping, LOD and DOF, are researched, their theories and realizing methods are discussed. The simulation results showed that these technologies are keys of real-time generation of highway tunnel, which can increase the felling of 3-D vision system, express the ability of virtual system, and enhance the authenticity of highway tunnel scene simulation. 5 figs, 8 refs.

Key words: tunnel engineering; highway tunnel; scene simulation; model; LOD; DOF

0 引 言

创立和管理一个系统的表示即建模。描述模型的信息通常是几何数据和非几何数据的混合。几何信息包括定位部件的坐标值、输出图元、定义部件结构的属性函数和构造部件之间联系的数据;非几何信息包括文字标识、模型操作算法描述、判别部件之间的关系和连接的规则。三维建模的方法很多,可以分为多边形建模和曲面建模等类型,其中,多边形

建模方法广泛应用于军事仿真、建筑设计、电脑游戏等领域^[1]。

本文采用 Multigen Creator 进行公路隧道的仿真建模。Creator 采用多边形建模方法,它是一个功能强大、交互的三维建模工具,其数据库格式 Open-Flight 已成为仿真领域事实上的业界标准。同时,Creator 也是一个设计工具,它提供了一个用户界面用来创建多边形模型,以简化和减少实时应用程序的要求^[2-8]。

收稿日期:2005-01-12

作者简介:揣锦华(1964-),女,河北迁西人,副教授,工学硕士。

1 模型的数据组织

Multigen Creator 提供了交互的、多重显示的用户定义三维图形的观察器以及二维层次结构图的建模环境,所有显示都是交互并关联的,这种组合加速了数据库的组成,模型的生成、修改和编辑。

在公路隧道视景仿真建模中,用于描述三维模型数据库由多个按照层次结构组织的结点组成,其中顶端有唯一的数据库头结点 db,下面按层次由上而下分别为 Group、Object、Face、Vertex 结点,其中 Vertex 不出现在层次结构视图中。数据库头结点 db 位于层次结构的最上端,一般随新文件的建立而自动生成,它不能被删除,也不能被单独地选中。Group 称为群结点,一般把逻辑上有关联的对象物设置成为一个群,以便于数据库中的管理及控制。Object 是对象物结点,一个物体是多个多面体的集合,物体都以对象物结点的形式出现在层次结构视图中。Face 称为面结点,一个多边形或一个面由一些有序的平面端点组成。边是同一面上 2 个连续顶点的连线,在数据库中不对其定义,因此在数据库层次结构视图中不出现。点是数据库中的坐标点,它随着面的创建而建立。

2 实例技术

一般场景中存在很多形状相同但位置、体积、方位不同的物体,如果把每个物体都装入内存,将造成极大浪费。数据库中的一个实例是已存在几何体的参照物,从外观上看,实例好像是一几何体的拷贝,但它其实是指向已有几何体的指针。因此,采用实例技术可节约存储空间,同时也可提高系统的处理速度。

在公路隧道视景仿真建模中,隧道洞口的树木和路灯的创建都采用了实例技术,由于所有的实例都参考于原始物体,所以在视图层次结构图中,当选择编辑一个实例时,所有参考于这个对象物的实例都会发生相同的变换。所以创建树木和路灯实例时,只需建立与树木和路灯相对应的空的群结点,并选中想要实例化的树木或路灯物体,然后创建实例就可以了。在创建树木和路灯实例后,由于每个树木和路灯实例产生的位置和原物体重复,所以不能立即可视,必须重新编辑才能达到预期的效果。主要包括平移变换、比例变换、绕坐标轴变换 3 种,其中绕坐标轴变换又可分为绕 X 轴、Y 轴、Z 轴 3 种变换。

2.1 平移转换

使用 Translate 方法可以移动实例。当位移为 $(t_x \ t_y \ t_z)$ 时,平移方程为

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x, y, z 表示变换前的坐标; x', y', z' 表示变换后的坐标。

2.2 比例变换

使用 Scale 方法可以放大或缩小实例。若放大或缩小系数为 $(s_x \ s_y \ s_z)$,则转换方程为

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 坐标轴旋转变换

使用 Rotate 方法旋转实例。以右手规则旋转 $\alpha(^{\circ})$,绕 X 轴、Y 轴、Z 轴旋转方程分别为

(1) X 轴

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(2) Y 轴

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

(3) Z 轴

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

经过平移变换、比例变换和绕坐标轴变换形成了不同的树木和路灯(图 1),节约了大量的存储空间,同时也提高了系统的处理速度。



图 1 采用实例技术创建的树木和路灯的仿真效果图

3 LOD(细节层次)技术

LOD(Level of Details)是代表同一物体但不同复杂度模型的集合。在实时系统中,可以根据眼点

距离这个物体的远近程度来选择相应的 LOD 显示。公路隧道视景仿真建模中多处应用了 LOD 技术,最典型的就是行驶的汽车,通过对汽车不同层次之间的精度进行研究,建立表示 LOD 不同层次精度的模型。模型的 LOD 等级随着眼点距汽车距离的变换而动态地变换。

在建立汽车体的过程中,首先需要选择一个结点为父结点,用创建 LOD 方法建立一个 LOD,然后再对这一 LOD 结点属性进行编辑,设置 Switch In、Switch Out 值,以便在某个距离范围内能被系统处理显示。LOD 结点的层次结构如图 2 所示。

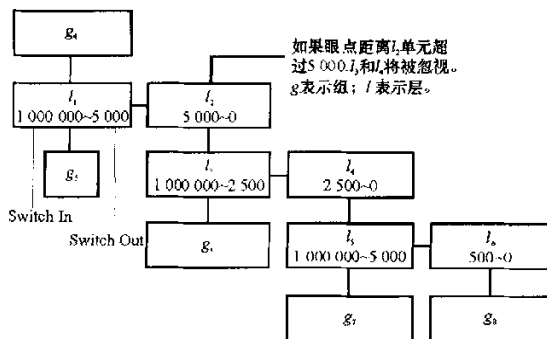
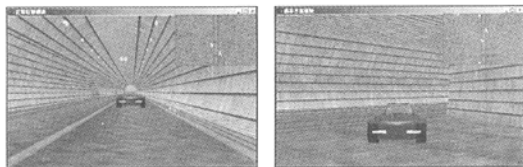


图2 LOD结点关系图

当实时系统处理数据库时,显示哪个 LOD 取决于眼点与 LOD 中心距离的大小。例如,如果 l_2 被 Switch Out,那么它的子结点将全部被忽视;如果 l_2 被 Switch In,那么实时系统将显示 l_3 或 l_4 。

应用 LOD 技术后,行驶汽车的仿真效果如图 3 所示,这时随着汽车与观察者距离的变化,有不同的汽车显示画面。其中,图 3(a)表示当眼点距离汽车较远时,系统只显示较低等级的且包含较少面的 LOD 模型,好象我们身在远处,只能看清汽车的轮廓;图 3(b)表示当眼点距离汽车较近时,系统显示较高的 LOD 模型,即可以看清汽车一些细节。



(a)眼点距离对象较远

(b)眼点距离对象较近

图3 应用 LOD 技术显示的不同眼点距离的汽车

4 DOF(自由度)技术

Creator 有两种可以给对象赋予动态属性的特征:DOF(Degree of Freedom)以及 Animation。其

中,如果在数据库中增加 DOF 结点,这个结点就会创建一个局部坐标系,附属于这个 DOF 结点的物体就可以绕着这个坐标系的轴运动;而 Animation 则是一个群结点,它可以使它的子结点像动画帧一样一个接一个地显示。因为 Animation 中所包含的每个动画帧都需要被建模以及被装载入内存,所以需要的模型数目、内存容量都要比 DOF 大得多。

对象相对于 DOF 结点所创建的坐标系的运动方式包括 Translate 和 Rotate 两种,它们均包括 X 轴、Y 轴、Z 轴以及由这 3 个轴所组合的任意方向的运动。例如,面(1)的 Translate 运动和 Rotate 运动示意图分别如图 4、图 5 所示。

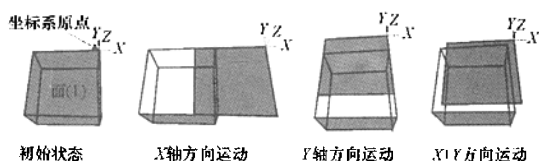


图4 面(1)的 Translate 运动示意图

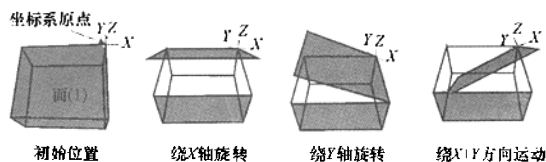


图5 面(1)的 Rotate 运动示意图

在公路隧道视景仿真建模中,汽车轮子的旋转用到了 DOF 技术。因为轮子是绕着轮轴旋转的,所以首先建立一个以轮轴为中心的 DOF 结点,然后让轮子作为它的子结点。这样,在汽车行驶状态的仿真过程中,其轮子的旋转就像动画帧一样绕着轮轴这个坐标系的轴运动,其动态表现更加逼真。

在设置 DOF 结点过程中,需要定义几个参数,Translate 运动需要定义位移值的大小;而 Rotate 则需要定义旋转的最大、最小角度以及目前所在的角度。如果从一个位置只向一个方向旋转,则定义最小角度为 0° ,最大为 360° ;如果可以向 2 个不同方向旋转,则定义最小角度为 -90° ,最大角度为 90° 。

5 结 语

(1)通过合理的数据组织可以在不增加数据量的情况下,使模型具备与现实更接近的真实度。

(2)实例技术在很大程度上节约了内存。

(3)LOD 技术有效地提高了三维视觉的真实感

受和虚拟漫游系统的场景细节表达能力。

(4)DOF 技术可以给对象赋予动态属性的特征,使整个视图仿真画面更加生动逼真。

参考文献:

References:

- [1] 吴家铸,党 岗,刘华峰,等. 视图仿真技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
WU Jia-zhu, DANG Gang, LIU Hua-feng, et al. Scene Simulation Technology and Application[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2001.
- [2] 许金良,杨宏志. 公路视图仿真模型[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(2):37-40.
XU Jin-liang, YANG Hong-zhi. Highway Scene Simulation model[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(2): 37-40.
- [3] 杨 记,陈孝威. 基于全景图像的 VR 建模研究及实现[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(1): 249-252.
YANG Ji, CHEN Xiao-wei. Research and Implementation of VR Model Based on Panorama[J]. Application Research of Computer, 2004, 21(1): 249-252.
- [4] JTG/T D71-2004. 公路隧道交通工程设计规范[S].
JTG/T D71-2004. Design Specification for Traffic Engineering of Highway Tunnel[S].
- [5] 揣锦华. 面向对象程序设计与 VC++ 实践[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005.
CHUAI Jin-hua. Object-oriented Programming and Practice with VC++ [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2005.
- [6] 俞高宇,江 南. 基于 VR 应用的面向对象场景数据库研究[J]. 计算机工程与应用,2003,39(36):190-192, 216.
YU Gao-yu, JIANG Nan. Study on Object-oriented Scene Database Based on VR Applications[J]. Computer Engineering and Application, 2003, 39(36): 190-192, 216.
- [7] 许金良,石飞荣,杨宏志,等. 基于计算机仿真的公路安全设计方法[J]. 中国公路学报,2004,17(2):1-5.
XU Jin-liang, SHI Fei-rong, YANG Hong-zhi, et al. Method for Highway Safety Design on Computer Simulation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(2): 1-5.
- [8] 蒲 浩,宋占峰,郑顺义,等. 道路三维场景的实时动态显示技术[J]. 交通运输工程学报,2003,3(1):52-56.
PU Hao, SONG Zhan-feng, ZHENG Shun-yi, et al. Real-time Dynamic Display Technology of Road 3D Scene[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(1): 52-56.

(上接 62 页)

文方法的正确性。

(3)计算结果表明:抛物线法计算误差较大,不适合大跨悬索桥成桥状态分析。在计算主缆线形时可以按文献[2]方法考虑塔顶索鞍的影响,考虑索鞍影响后计算精度可进一步提高。

参考文献:

References:

- [1] 史建三. 悬索桥大缆架设计计算的索长分析法[J]. 桥梁建设,1993,7(4):30-37.
SHI Jian-san. Cable-length Analysis Methods for Erection of Cable Curve of Suspension Bridge[J]. Bridge Building, 1993, 7(4): 30-37.
- [2] 沈锐利. 悬索桥主缆系统设计与架设计计算方法研究[J]. 土木工程学报,1996,29(2):3-9.
SHEN Rui-li. Calculation Methods for Design and Erection of Cable Curve of Suspension Bridge[J]. Journal of Civil Engineering, 1996, 29(2): 3-9.
- [3] 肖汝诚,贾丽君,王小同. 确定大跨悬索桥主缆成桥线形的虚拟梁法[J]. 计算力学学报,1999,16(1):108-113.
XIAO Ru-cheng, JIA Li-jun, WANG Xiao-tong. Fictions Beam Method for Determination of Main Cable Shape of Long-span Suspension Bridges[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 1996, 16(1): 108-113.
- [4] 许汉铮,黄平明. 大跨径悬索桥主缆锚跨张力控制[J]. 长安大学学报:自然科学版,2002,22(5):32-34.
XU Hang-zheng, HUANG Ping-ming. Cable Tension Control in Anchorage Span of Suspension Bridge[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002, 22(5): 32-34.
- [5] 蔡金标,凌道盛,徐 兴. 大跨度悬索桥振动分析的组合单元法[J]. 中国公路学报,2003,16(4):59-62.
CAI Jin-biao, LING Dao-sheng, XU Xing. Assembled FEM on Vibration Analysis of Long-span Suspension Bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(4): 59-62.
- [6] 狄 谨,武 隽. 自锚式悬索桥主缆线形计算方法[J]. 交通运输工程学报,2004,4(3):38-43.
DI Jin, WU Jun. Calculation Methods for Cable Curve of Self-anchored Suspension Bridge[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 38-43.