

# 新型虚拟现实交互建模方法

张 璐 弟, 朱 群 雄

(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

**摘 要:** 给出一种虚拟现实交互建模的方法。设计了一种新型建模工具 VRTool, 提出了交互性建模的拓扑模型和视角跟踪导航模型, 解决了交互建模的定位坐标数据源问题和线性速度突变问题, 其优点在于能够方便人与三维模型之间交互关系以及三维导航运动模型的建立。实验结果表明了该建模方法的可靠有效性, 为虚拟现实建模工具的发展提供了新的思路。

**关键词:** 虚拟现实; 建模工具; VR 建模工具

## New Method for Virtual Reality Interaction Modeling

ZHANG Lu-di, ZHU Qun-xiong

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

**【Abstract】** This paper presents an approach of interaction modeling in virtual reality. A new modeling tool VRTool is designed, and topology model(VRTP) and Visual Training Navigation model(VTN) are proposed to solve the problems of data source of location coordinates and linear pace mutation, which can set up interaction relation of man-machine and three-dimension navigation movement conveniently. The experimental result demonstrates the usability of this approach, and a new thought for interaction modeling is provided to the development of VR modeling tool.

**【Key words】** virtual reality; modeling tool; VRTool

### 1 概述

虚拟环境<sup>[1]</sup>的研究一直都是热门的话题, 比如环境规划与管理<sup>[2]</sup>、城市规划与设计<sup>[3]</sup>、地形模拟以及教育与培训<sup>[4]</sup>。在这些应用中, 虚拟现实(VR)技术为用户提供了与 3D 地理信息数据可视化交互的能力。随着 VR 应用需求的上升, 出现了许多关于 VR 的建模方法或工具, 这些建模方法或工具可以划分为 2 种: 自动建模, 手动建模。

文献[5-6]的自动建模系统(AGS)是自动建模方法的典型例子, 通过对 LIDAR 数据、2D 数字地图和航空图像等的数据处理自动生成大范围 3D 城市模型, 日本东京的 3D 城市模型的自动生成, 代表了当前 VR 自动建模技术的最高点。文献[7]的 GeoVR 和文献[8]的 CADVR 是 VR 手动建模方法的典型例子。文献[7]提供了一种在 C/S 结构下的手动建模工具, 通过整合 GIS 和 HTTP 数据达到建立虚拟现实模型的目的。文献[8]通过整合 CAD 工具, 建立三维 CAD 模型, 最后导出生成 VR 模型, 其优点在于借助了强大的 CAD 绘图功能, 但导出的 VR 模型缺乏虚拟现实特有的交互性。

当前的建模方法还不够完善, 自动建模方法缺乏大范围精细贴图技术, 精细度不高, 较粗糙; 手动建模方法对虚拟现实的交互性支持不高。

到目前为止, VR 建模工具的发展是自动建模和手动建模方法的平行进行, 但两者都还没达到非常完善的程度, 还有待改进。表 1 是对当前国内外 VR 建模方法的优缺点作的对比。

从表 1 VR 建模方法的对比可以看出, 目前 VR 的自动建模方法在 3D 模型的精度方面还有待改进; 手动建模方法在表现 3D 模型方面有了很大的提高, 但虚拟现实的一个重要特征——交互性, 却很少有比较好的建模方法。

表 1 VR 建模方法对比

建模方法	名称	优点	缺点
自动	AGS	能对大范围区域自动建模, 自动化程度高	精细度不够, 模型较粗糙, 近距离美观度不高
手动	3DMax	强大的 3D 建模工具	对 VR 的交互性建模支持不够, 提供的传感器类型少。
手动	GeoVR	可在互联网上直接进行 3D 建模	静态 3D 建模能力稍弱, 不具备交互建模能力
手动	CADVR	借助 CAD 工具, 具备较强的 3D 建模能力	3D 建模对 CAD 的依赖性较强, 不具备交互建模能力

基于目前的这种状况, 笔者设计了一种新型 VR 建模工具 VRTool。

### 2 数据转换

数据转换流程如图 1 所示, 其中 2D 绘图采用 GIS 的分层原理对虚拟环境进行建筑分类, 在添加高程数据后自动生成 3D 模型, 并可添加传感器, 类型主要有接触传感器、平面传感器、球面传感器、邻近传感器、可见性传感器和时间传感器等。这些传感器为虚拟环境交互模型提供了人机交互接口。

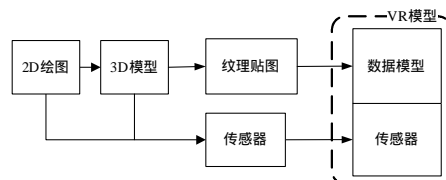


图 1 数据转换流程

所有图层的空间信息和属性信息都保存在 Shapefile 文件

**作者简介:** 张璐弟(1980 - ), 男, 硕士, 主研方向: 虚拟现实, 地理信息系统; 朱群雄, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2007-01-05 **E-mail:** zhuqx@mail.buct.edu.cn

中, Shapefile 是一种矢量存储结构, 用来存储点、线、面的空间信息和属性信息。

Shapefile 表中每一行记录中的 Shape 项表示图元的数据, 比如点、折线、多边形等, 以长二进制数据来存储; 其余各项表示图元的属性信息。Shapefile 表结构如表 2 所示。

表 2 Shapefile 表结构

OID	Shape	wide	picture	scaleX	scaleY
1	长二进制数据	12	Brick.png	100	10
2	长二进制数据	10	Block.gif	58	12

建筑的纹理贴图采用薄长方体表面贴图, 将薄长方体紧贴到建筑的某一表面上, 这种薄长方体又称为贴图载体。在 VRML 中默认生成 Box 长方体的中心位于原点处, 令贴图载体超薄的那个面位于 YZ 平面, 并将中心点移到原点正上方距离原点为贴图载体高度的一半, 如图 2(a)中白色区域所示。

图 2(b)是建筑的正投影, 其中一条边与 Y 轴的夹角是  $\alpha$  角, 则将图 2(a)中白色的贴图载体绕 Z 轴顺时针转  $\alpha$  角; 然后将贴图载体移动到建筑对应的那条边上, 使得贴图载体与建筑正投影边所对应的墙面在 Z 轴方向上的中心线重合, 并根据建筑距离地面的高度以及贴图载体在墙面的相对位置, 将贴图载体移动到正确位置, 组成图 2(c)形状。

贴图旋转角度  $\alpha$  角按如下方法求得:

已知建筑一墙面底部两端点坐标为  $p1(X,Y), p2(X,Y)$ 。

如果  $p1.Y = p2.Y$ , 则  $\alpha = 0$ ;

如果  $p1.X = p2.X$ , 则  $\alpha = \pi/2$ ;

否则,  $\theta = \text{ArcCos}(|p2.X - p1.X| / \sqrt{(p2.X - p1.X)^2 + (p2.Y - p1.Y)^2})$ 。

如果  $(p2.Y - p1.Y) / (p2.X - p1.X) > 0$ , 则  $\alpha = \theta$ ; 否则  $\alpha = \pi - \theta$ 。

然后将贴图载体旋转  $\alpha$  角, 向上平移到指定高度的位置。

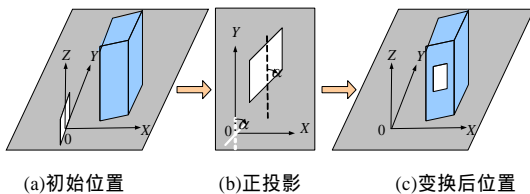


图 2 纹理贴图过程

### 3 交互模型

VRTool 的交互模型主要包括拓扑模型(V RTP)和视角跟踪导航模型(VTN)。V RTP 模型是在人机交互中的一种线性分析与处理模型, 其优点在于在没有卫星提供精确定位坐标数据的情况下, 可对自主绘制的不规则道路进行分析和有效坐标的提取; VTN 模型是一种人机交互过程的运动模型, 其优点在于提供人物在虚拟环境中的一种类匀速导航运动模型。这些模型以构件的形式组成了可拓展的 VRTool 建模工具。

#### 3.1 拓扑模型(V RTP)

在人机交互的系统中, 如车载导航系统, 精确定位的坐标数据一般都来自于卫星。在没有卫星提供精确坐标数据的情况下, 为解决坐标数据源问题, 本文提出了一种自主 V RTP 模型, 以产生用于替换卫星提供的坐标数据信息。V RTP 模型采用自主绘制道路, 并对不规则道路折线进行线性分析与处理, 提取有效坐标信息。

##### 3.1.1 数据预处理

图 3 左图由 4 条折线组成, 图中黑色点表示折线的 2 个端点, 灰色点表示折线内部的折点, 这种拓扑结构的道路是

一种数据原型结构, 需按如下规则改变其拓扑结构:

**规则 1** 若折线重复, 则删除多余折线。

**规则 2** 若两折线相交, 且交点不同时是它们的端点, 则将交点作为新端点, 原先两折线分别在新端点处断开, 形成新的折线。

**规则 3** 若两折线部分重叠, 且重叠线段的端点分别是两折线端点, 则将两折线连为一条折线, 位于重叠处的端点改为折点。

**规则 4** 若两折线部分重叠, 且重叠线段的端点不同时是这两折线端点, 则在重叠线段的两端点处断开折线, 形成新折线。

**规则 5** 一折线内部相交, 且交点不同时是两端点, 则折线在交点处断开, 形成新折线, 交点变为新折线端点。

图 3(a)按以上规则操作形成图 3(b)新的折线。

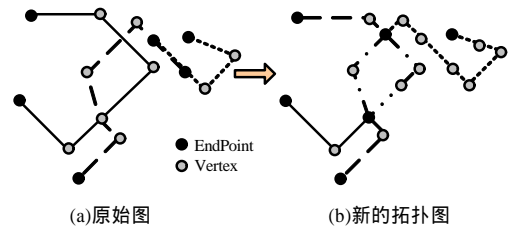


图 3 拓扑道路

##### 3.1.2 插入导航点

由图 3 得到的无向连通图, 顺序存储了每一条折线的顶点, 这些顶点代表道路的转折点或十字路口等, 而在实际导航中, 其目的地往往是路边建筑或公交车站等, 所以在道路旁边插入要导航的目标地点, 如图 4 中  $p1, p2, p3, p4$  和  $p5$  表示导航目标地点。

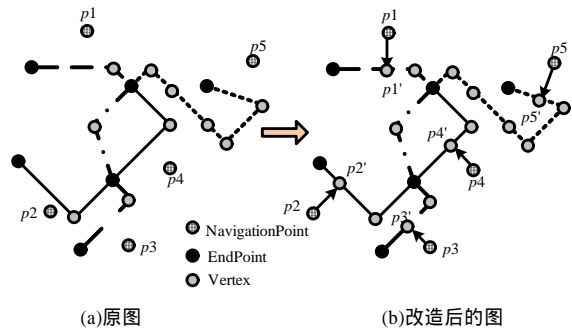


图 4 插入导航点

因此, 需要再一次改变道路的拓扑结构, 把目标地点插入到道路上的某一个位置, 定义规则: 在折线上找到与目标地点(如图 4 点  $p1$ )距离最近的点(如图 4 点  $p1'$ )。若该点不是折线端点或折点, 则所在线段在该点处断开, 形成两线段。若该点是折线端点或折点, 则将该点标记为导航点。要导航到目标地点  $p1$ , 只要导航到距离  $p1$  最近的点  $p1'$  即可。

在插入导航点改变道路的拓扑结构后, 最终形成图 5 所示的无向连通图, 该图是带权值的连通图, 可作为人机交互过程的一个线性数据源。

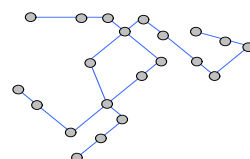


图 5 无向连通图

### 3.2 视角跟踪导航模型(VTN)

VTN 模型是一种人机交互过程的一种运动模型,主要用于解决在虚拟现实中的匀速运动问题。

图 6 是一条路径的示意图,图 7 是在虚拟环境中对应的图。

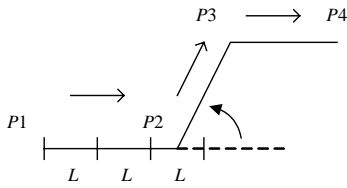


图 6 一条运动轨迹示意图



图 7 VTN 交互模型

从起点  $p_1$  导航到  $p_4$ ,理想情况下是保持匀速前进,但实际上,在 VRML 虚拟现实中,速度是以每间隔时间前进的步长作为度量单位,若保持匀速,每秒前进的步长  $L$  是个固定值,从  $p_1$  运行到接近拐点  $p_2$  时,下一秒前进步长  $L$  可能将偏离轨道,需要在  $p_2$  点停止前进,并将视角旋转到  $p_2$  指向  $p_3$  的方向,然后再前进,由于在  $p_2$  点拐弯,最后一次没有前进步长  $L$ ,直接停在  $p_2$  位置上,在视觉感官上,将造成速度的突变,影响虚拟现实中的逼真性。这就是线性速度突变(Linear Pace Mutation, LPM)问题。

在 VRTool 中设计的视角跟踪导航模型能够避免 LPM 情况的发生,算法如下:

如图 6 已知一条导航线路,从起点  $p_1$ ,沿着  $p_2, p_3$  到终点  $p_4$ ,前进时间为  $T$ (不包括在拐点旋转时间)。

三维中人物沿导航线路前进必须保证视线和导航线路一致,在运动中必须调整视线方向,因此,导航过程可以拆分为两部分运动:前进和在转弯处原地旋转以保证视线与导航线路一致。

$S_{12}, S_{23}, S_{34}$  分别为  $p_1$  和  $p_2, p_2$  和  $p_3, p_3$  和  $p_4$  的距离:

$$S_{12} = \sqrt{(p_{1x} - p_{2x})^2 + (p_{1y} - p_{2y})^2}$$

$$S_{23} = \sqrt{(p_{2x} - p_{3x})^2 + (p_{2y} - p_{3y})^2}$$

$$S_{34} = \sqrt{(p_{3x} - p_{4x})^2 + (p_{3y} - p_{4y})^2}$$

$$\text{平均每秒步长 } v = \frac{S_{12} + S_{23} + S_{34}}{T};$$

为消除在拐点附近速度骤变,引入修正每秒步长的偏差变量  $\Delta v$ ;

$$t_{12} = \frac{S_{12}}{v};$$

$$(v + \Delta v_{12}) \times [t_{12}] = S_{12} \quad ([ ] \text{是取整符号});$$

同理可求得在  $p_2$  到  $p_3, p_3$  到  $p_4$  线段的速度偏差分别为:

$\Delta v_{23}$  和  $\Delta v_{34}$ ;

令  $p_1$  到  $p_2$  的运动步数为  $N_{12}$ ;

若  $t_{12} - [t_{12}] > 0.5$ , 则  $N_{12} = [t_{12}] + 1$ ;

否则  $N_{12} = [t_{12}]$ ;

同理可得  $N_{23}$  和  $N_{34}$ 。

下面求视角旋转角度。

在基于 VRML 虚拟现实中,视点包括 2 个参数 position[3] 和 orientation[4] 数组,数组 position[3] 存储视点位置的三维坐标,数组 orientation[4] 的前 3 个元素是视线的旋转轴,最后一个元素是视线的旋转角度。虚拟现实漫游式视线旋转角度的一个重要特性是当前视点的视线角度是和上一次视线角度相关联的。

每一条线段的视线角度  $\theta$  定义为以线段起点为原点并沿 X 轴正方向与线段的夹角。视线角度  $\theta$  也可作为每一个节点的属性,最后一个节点的  $\theta$  值默认为和前一个节点的  $\theta$  一样。

$$\theta = \arcsin \left( \frac{p_{2y} - p_{1y}}{\sqrt{(p_{2x} - p_{1x})^2 + (p_{2y} - p_{1y})^2}} \right)$$

如果  $p_{2y} = p_{1y}$ , 并且  $p_{2x} < p_{1x}$ , 则  $\theta_{12} = \pi$ 。

否则,

如果  $p_{2x} > p_{1x}$ , 则  $\theta_{12} = \theta$ ;

如果  $p_{2x} < p_{1x}$ , 则  $\theta_{12} = \theta + \frac{\pi}{2}$ ;

同理可求得  $\theta_{23}$  和  $\theta_{34}$ 。

定义函数  $f(v, \Delta v, N, \theta_1, \theta_2, m)$ ,  $v$  为单位步长;  $\Delta v$  为步长偏差变量;  $N$  为步数;  $\theta_1$  为起始点的视线角度;  $\theta_2$  为终点的视线角度;  $m$  为旋转频数。

循环  $N$  次:

人物.position[0]+ =  $v + \Delta v$ ;

人物.position[2]+ =  $v + \Delta v$ ;

若循环结束,则:

循环  $m$  次,

$$\text{人物.orientation[3]+} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{m}。$$

## 4 交互式 VR 系统的建立

图 8 是 VRTool 的截图,图中左边采用 GIS 的分层技术创建图元,并加入 VRTP 和 VTN 模型等,生成图中右边的交互式 VR 系统。该系统作为一个研究案例验证了交互建模方法的可靠有效性。

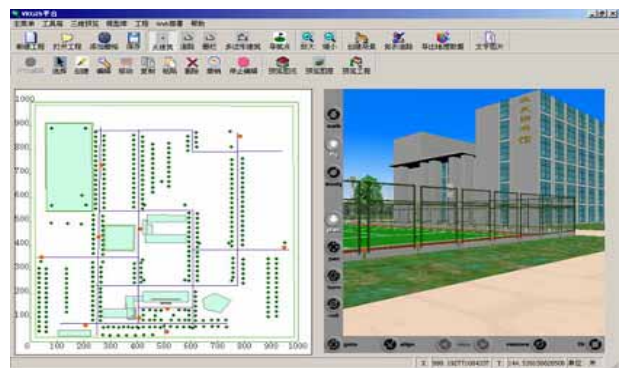


图 8 生成 VR 系统

## 5 结束语

本文给出了一种新的虚拟现实交互建模方法。通过建立 VRTP 和 VTN 模型等,可以解决不存在卫星提供定位坐标情况下的定位坐标数据问题和线性速度突变问题,其优点在于能够方便建立人与三维模型之间的交互关系,为 VR 建模工具的发展提供了一种新的参考。

(下转第 77 页)