

用 OpenGL 开发交互式三维化工场景仿真工具

崔希宁 厉玉鸣

(北京化工大学自动化系, 北京 100029)

摘 要: 根据化工场景的视景特点,从面向对象方法论、分布式处理概念出发,研究了如何开发具有真实感的化工场景的动态交互式三维编辑、仿真程序。提出了化工场景图元的类体系框架结构、消息扫描策略、动态交互的“二维拾取”概念以及分布处理的设计。给出了在 Windows 95/NT、VC++ 开发环境中利用 OpenGL 开发的设计思想和实现方法。

关键词: 动态交互;OpenGL;视景仿真;分布式处理;面向对象

中图分类号: TP 391.9

引 言

仿真过程与结果的可视化已成为开发仿真系统的关键课题之一。针对现代仿真体系的分布式、交互式的构架特点,研究可视化工具就是总结仿真系统可视化的共同组成要素及其结构规律,将系统仿真的数据结果可视化分离成一项独立性较高的软件系统。研制具有真实感的交互式化工场景仿真工具,就是采用计算机图形和图像处理技术将化工模型仿真计算的输入过程直观化,输出结果形象化。因此它应具有以下基本功能:可用 Windows 系统传统的操作方式编辑视景中的三维化工图元模型以生成复杂的三维化工视景系统;具有与各种物理模型的输出接口,在赋予三维图元模型变量属性后,可将仿真模型的输出结果以具有真实感的三维动画形式表现出来;WIN32 环境下的 VC2.0 中增加了对开放式的三维图形开发标准 OpenGL^[1]的支持,把工作站环境下的 OpenGL 移植到微机环境下,并增强了对三维交互动画的支持,本工具软件在 VC++ 环境下用 OpenGL 实现。

1 化工场景的视景特点

设计化工场景仿真工具必须研究化工场景的特点。在化学工业中,化工过程的视景一般可分为两大类。一类以化学反应为主,通常是在反应器中进行。用于不同化学工业的反应器有很大差别,主要

因为所进行的化学反应不同,反应的机理相差很大。例如,石油裂解用的裂解炉,氨合成用的合成塔,高分子聚合用的反应釜,在各方面都不相同。化工过程中还有另一类很重要的并不进行化学反应的过程场景。例如,乙醇生产和石油加工中都要进行蒸馏操作,陶瓷、尿素、纸张等的生产中都有干燥过程。这些操作在化学工程中被称为单元操作,进行该单元操作的设备往往也是相同的。归纳这两大类化工过程,可见对于化工场景的设备,图形元素特点是无可动部分,或有可动部分,但物理运动不规则。对于物料来说,图形像素点的化学及物理性质具有场分布的特征,物理运动不规则。因此从图形造型及显示方案上可将图形元素分为化工设备图元、物料图元两大类。前者包括管线、阀、离心泵、反应釜等,后者包括液体、固体、气体、雾等。

化工场景图元的类体系结构必须具有高度开放性,采用软件复用技术^[2]。其一,类体系中的对象设计为三类:通用基本构件;领域共性构件;应用专用构件。其二,对类体系中的基类可进行适应性复用,在图形基类中只封装两个功能:隐藏 Windows 95/NT 和 OpenGL 的连接代码,建立 OpenGL 与 VC++ 窗口系统的接口。在此基础上,封装三维图形模型的变换函数,以便于进行三维视景的编辑。

2 化工场景仿真工具的设计思想及实现方法

2.1 建立与 VC++ 的接口

利用 Visual C++ 开发的应用程序大都基于 MFC,VC++ 的 App Wizards 可自动创建基于 Doc-

ument/View 结构的应用程序框架。VC++ 开发 OpenGL 应用程序需解决 OpenGL 与 VC++ 窗口系统的接口问题,从 CView 类中派生一 CGL 基类。为了使此基类及其派生类能调用 GL 库函数,在此基类中要有如下设置:(1) PreCreatWindows() 中设置窗口类型 `cs.style| = WS^CLIPCHILDREN| WS^CLIPCHILDREN`;(2) OnCreat(Lpc) 中设置像素格式 `PIXELFORMATDESCRIPTOR`,并且取得绘图上下文 `HGLRC hrc`;(3) OnSize() 中建立视点,选取投影矩阵,从而建立视锥。Windows 环境中 OpenGL 用一个 `PIXELFORMATDESCRIPTOR` 的数据结构保存和转换点的数据格式,该结构的成员保存了点的各种信息。一个图形操作描述表可能支持几种点格式,Windows 以连续的整数来标识图形操作描述表支持的各种点格式。Windows 中的 OpenGL 应用程序应首先获得设备描述表^[4],设置设备描述表的点格式,然后创建与相应设备适宜的图形操作描述表,创建的图形操作描述表继承与之联系的设备描述表的点格式。总之,每个调用 OpenGL 的线程都必须有一个当前活动的图形操作描述表,没有创建图形操作描述表的线程调用 OpenGL 命令时,系统不做任何事情,调用无效。

2.2 建立化工场景图元的类体系结构

为了建立一个可扩展、灵活方便的图形基类,此基类中只设计图形对象的图形变换、图形设置功能和方法。在图形变换编辑成员函数中,为了方便交互操作,必须分解 OpenGL 的变换函数,为方便系统的扩展把各图形对象的绘图函数设置成纯虚拟函数。以下为图形变换基类 (FigureTrans 类) 中的变换成员函数。

```
void CFingerConvert::ObjectConvert()
{
    if (m_EControl == 1)    平移变换分解
    {
        Cx = Cx + Etx;
        Cy = Cy + Ety;
        z0 = z0 + Etz;
    }
    if (m_EControl == 2)    旋转变换分解
    {
        if (m_ERotateControl == 1) Erxa = Erxa + Eta;
        if (m_ERotateControl == 2) Erya = Erya + Eta;
        if (m_ERotateControl == 3) Erza = Erza + Eta;
    }
}
```

```
}
if (m_EControl == 3)    放缩变换分解
{
    Esx = Esx * Etx;
    Ety = Ety * Ety;
    Esz = Esz * Etz;
}
glTranslated(Cx, Cy, z0);
glRotatef(Erxa, 1, 0, 0);
glRotatef(Erya, 0, 1, 0);
glRotatef(Erza, 0, 0, 1);
glScalef(Esx, Ety, Esz);
m_EControl = 0;
}
```

化工场景视景仿真程序中类的层次及描述包括(参见图 1):

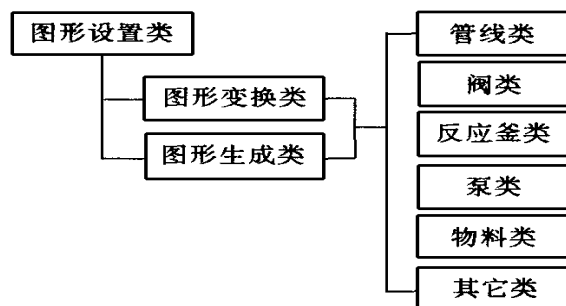


图 1 化工场景的图形类体系结构

Fig. 1 Architecture of figure class library for chemical engineering scenes

⑧ 图形设置类 FigureSet。这是一虚基类,主要完成图形系统的初始化设置,包括窗口设置、坐标原点设置、投影方式设置、视点设置和图形初始化等方法。

⑨ 图形变换类 FigureTrans。主要提供图形的模型变换、投影变换、视见变换和窗口视图变换的数据接口。图形模型变换操作包括平移变换、比例变换、错切变换、绕坐标轴旋转变换、复合旋转变换、绕任意轴旋转变换以及平面移动变换和空间移动变换等方法。投影变换操作包括平行投影变换方法和透视投影变换方法,窗口视图变换操作包括窗口到视口的规范化变换方法、视口从规范化坐标系到设备坐标系变换方法以及世界坐标系到设备坐标系变换方法。视见变换操作主要是用户坐标系到观察坐标系变换方法,其中,投影变换操作和窗口视图变换操作所包含的方法以及作为数据成员的变换矩阵都是

保护成员,其他都是公有成员函数。

⑥ 图形生成类 FigureCreate。主要完成面的可见性测试、可见边界的生成、图形的裁剪等操作,提供图形类实例化时的初始状态数据接口。另外,还提供在局部坐标系内的图形变换方法(平移、移动、旋转)。这些方法都是保护成员函数,其中,图形模型的建立方法是虚函数,用来支持动态联编。该类是一个抽象类,不能实例成对象,只能通过继承使用该类。

2.3 消息扫描策略

一条完整的消息包括消息名、发送对象、接收对象、消息类型、时标和消息参数等内容。消息在对象之间传递,起到对象之间相互通知的作用。VC++ 的 MFC 库封闭消息循环,支持消息机制。化工场景的图元对象所接收和发送的消息分为图形对象生成消息、视景图形编辑消息、模型接口消息。模型接口消息又分为模型初始状态消息、模型输出状态消息。在每个消息中都设计消息标识变量以确定接收消息的图形对象,同时也设计消息标识变量以确定消息的类别。例如,相同内容的消息,三维坐标,对于图形对象来说必须明确是图形生成的初始位置还是图形模型变换的平移相对值。在视景仿真工具中设计两个消息扫描周期,视景编辑周期和仿真运行周期。在视景编辑周期中完成如下步骤:(a)对象图形状态初始化;(b)初始化图形编辑消息表;(c)清除过去消息;(d)接收视景编辑消息;(e)完成视景组装(f)回到(c)。在仿真运行周期中完成如下步骤:(a)对象模型状态初始化;(b)初始化模型接口消息表;(c)清除过去消息;(d)接收输出状态消息;(e)完成图形对象驱动(f)回到(c)。

2.4 动态拾取设计

动态拾取是进行交互式视景编辑的关键技术,利用 OpenGL 提供的选择机制也即选择模式来实现动态交互操作。在该模式下,绘图信息不是传给帧缓冲区,而是返回给应用程序。在选择模式下不会改变帧缓冲区的内容,退出这个模式时,OpenGL 返回与取景体积相交的几何要素列表,即选中了这些几何要素,实际上这些几何要素是以整数数组名称和与当前名称堆栈相应的选中记录的形式返回。因此,在选择模式下,通过限制在视见区内一个小区域绘图,绘制的几何要素将被载入名称堆栈,返回名称堆栈列表时,用一个拾取程序就可以确定用户选中的几何要素,从而确定在光标附近绘制的几何对象。

在面向图形对象的拾取操作中,图形对象是动态生成的。在拾取过程中既要确定对象的类别属性,又要确定对象的序列属性。它不同于一般静态对象的拾取,只需确定对象的类别属性或序列属性之一,因此提出“二维拾取”的概念,“二维拾取”即选择具有二种状态值属性的对象的过程,此概念还可推广到多维拾取。为了实现“二维拾取”,注意到堆栈的存储特性,扩展图形对象的命中记录,在名称堆栈存储动态图形对象的二维命中记录,即每当拾取操作发生命中时,用 `glLoadName(i)` 函数将图形对象的序列属性记录装入名称堆栈顶层,再用 `glPushName(j)` 函数将图形对象的类别属性记录压入名称堆栈。在每次对命中记录处理结束后,用 `glPopName()` 函数弹出底层记录,保持名称堆栈的二维特性,这样就可利用二维命中记录标识被选择的动态对象。

为了在 VC++ 环境中实现实时的动态拾取,定义图形变换通讯控制成员变量。将 `glTranslate()` 的变量 m^x, m^y, m^z , `glRotatef()` 的变量 a, x, y, z 设为全局变量。在 OpenGL 绘图变换函数中与鼠标消息函数中用 CGL 类成员变量进行通信来传递变换数据,就三维物体的运动信息进行实时通信。这样可保证在选择模式及绘图模式下对三维物体的变换同步进行,实现在选择模式下,实时的动态拾取运动物体。

2.5 建立物理模型输出变量属性,设计分布处理方案

在每一个派生的图形基类中都具有自己的物理模型输出-输入变量属性。它是可视的三维动画模型与仿真的化工过程的数学模型的接口。由于各种模型千差万别,必须在派生类中分别设计。在仿真运行中,仿真结果就是通过输出变量属性支配具有真实感三维动画的运动而形象地表现出来(参见图2)。

接口属性标准化,建立数学模型运算线程与视景交互编辑、表现线程。在数学模型运算线程(也即服务器线程)中向视景交互编辑线程(也即客户机线程)提供仿真计算结果,接收初始状态变量。在视景交互编辑、表现线程中向数学模型运算线程提供初始状态,接收视景动画的驱动数据。为了帮助服务器线程和客户机线程的数据通讯,建立数据库支持线程,在数据库支持线程完成“数据写入”、“线程调度”、“数据读出”任务。“数据写入”将客户机-服务器线程的通讯数据调入数据库,“数据读出”实现根

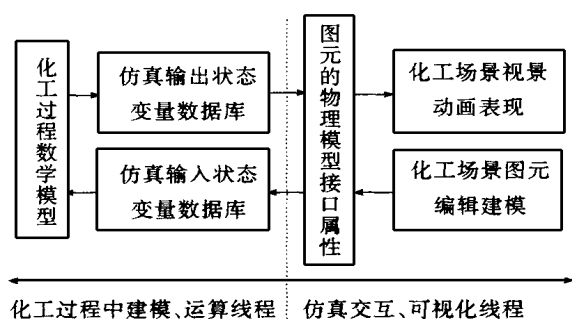


图 2 三维动画模型与仿真数学模型的接口属性

Fig. 2 Attribute of interface between three - dimensional animation model and simulation mathematic model

据客户机-服务器线程的请求从数据库中读出所需通讯数据。“线程调度”处理分布式事件之间的竞争,协调各线程之间的数据通讯请求,在对数据库修改进行读写操作时自动建立备用数据表以锁定数据,保证通讯数据完整、正确。

3 结束语

可视化是多媒体表现环境的基本要求。多媒体

技术在仿真中最典型的应用就是动画视景仿真,而多媒体表现环境中的关键技术也是三维动画的实现。通过化工场景图形仿真工具平台的研究为化工多媒体仿真工具的开发提供了技术基础。此软件工具的输入输出接口若直接应用于工业控制现场,与控制变量,操纵变量实时通讯,则可真实模拟现场运行状态。若用于仿真研究,研究人员只需设计数学模型,通过输入输出接口即可大大提高仿真结果的输出效率。

参 考 文 献

- [1] 贾志刚.精通 OpenGL.北京:电子工业出版社,1998.8
- [2] 王博,晓龙.面向对象的建模、设计技术与方法.北京:北京希望电脑公司,1997
- [3] 王敏韦.VC++程序员参考手册.北京:北京大学出版社,1995
- [4] Finlay M K. C 和 C++图形程序设计基础.曹康译.北京:科学出版社,1995

Developing interactive three-dimensional simulation tools with Open GL for chemical engineering scenes

CUI Xi-ning LI Yu-ming

(Department of Chemical Automation, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In the light of visual characteristics of chemical engineering scenes, this paper studies on the development of three-dimensional and dynamically interactive editor and simulation programs with reality for chemical engineering scenes based on the object-oriented methodology and the concept of distributed processing. The architecture of figure class library for chemical engineering scenes, the message sweeping strategy, the idea of dynamically interactive “two-dimensional pick-up” and the design of distributed processing are put forward. The thinking on design and its implementation method for this development with Open GL in Windows95/NT and VC++ environments are also given herein.

Key words: dynamic interaction; Open GL; visual simulation; distributed processing; object-oriented