



模型协同设计和浏览的新方法;文献[4]提出并实现了基于角色访问控制的分布式协同虚拟环境系统模型;文献[5]构建了一个多用户协同工作的分布式虚拟环境等.可见,协同虚拟环境能广泛应用到多个领域,在网络化、虚拟化、集成化、智能化、标准化方面取得一些研究成果.但从现有文献看,将协同虚拟环境应用到物理实验教学的研究还相对较少.

物理实验是提高学生动手实践能力、加深理解物理原理的重要手段.在实验教学中,学生往往缺乏对仪器设备的基本认知,导致实验操作效率低下.同时,学生在预习实验时往往缺乏实验环境,导致预习效果不佳.为解决实验教学中的这些问题,本文采用 VRML-Java 通信机制,设计实现了具有协同交流功能的虚拟物理实验室,在实验教学中取得良好应用效果,为大学实验教学改革提供了借鉴和案例.

## 1 虚拟物理实验室总体设计

### 1.1 需求分析与场景层次设计

虚拟物理实验室作为真实物理实验的有效补充,用户进入虚拟实验室后应有身临其境之感.为此,虚拟物理实验室要满足以下需求:

- (1) 能真实展示物理实验室的整体环境和实验场景,如:门、窗、书柜、试验台、实验设备等;
- (2) 能逼真展示若干个虚拟实验,如游标尺测量等;
- (3) 在实验过程中能与其他用户交流,协同完成部分实验内容等;
- (4) 在漫游过程中能与环境进行简单交互,如点击门窗能开关、点击窗帘能升降等功能.

为满足以上需求,将虚拟物理实验室分为实验室环境设计和三维人体设计两大部分.其中,实验室环境设计包括装潢设计(如:门窗、黑板、天花)和设施设备设计(如:课桌椅、试验台、书柜),三维人体设计包含教师和学生人体设计等.本文选取物理实验室大门作为参照物,依照由外至内、由下至上、从左至右的原则,形成虚拟场景层次结构如图1所示.

### 1.2 开发工具与交互功能设计

文献[6,7]详细阐述了 VRML 虚拟实验系统的设计流程,大体思路是:首先在三维建模软件中进行物体模型设计;其次用可视化编辑软件将单个模型进行合成;再次在 VRML 文本编辑工具中添加交互节点;最后对模型文件进行压缩和优化,并进行发布,具体流程如

图2所示.

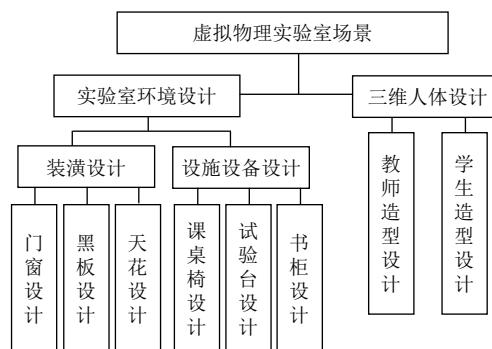


图1 虚拟物理实验室的场景层次

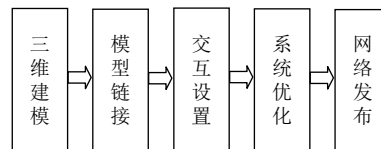


图2 虚拟物理实验室的开发流程

本文采用的三维建模工具是 3D Studio Max、可视化编辑工具是 CosmoWorld、VRML 文本编辑工具是 Vrmlpad、三维人体模型设计工具是 Poser、预览浏览器是 Cortona VRML.

交互设计是虚拟实验系统最为核心的功能,本文采用的交互设计原理如图3所示.

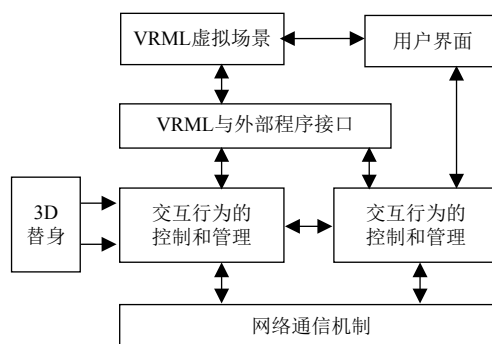


图3 虚拟物理实验室的协同交流原理

## 2 虚拟物理实验室的三维场景构建

构建三维场景的目的是模拟真实物理实验室,营造出一种更逼真的环境氛围,大体可以分为实验室框架设计、装潢设计、设施设备设计、视点灯光设计等.

### 2.1 实验室框架设计

虚拟实验室的整体空间是一个几何立方体空间,

本文采用多个 Box 节点, 分别为实验室四周的墙体、天花板进行建模, 然后“拼接”出一个长为 38.5、宽 3、高 16.6(均为 VRML 单位) 的封闭几何体作为实验室的整体框架。

## 2.2 实验室装潢设计

实验室装潢设计主要利用 VRML 的几何节点(如: Box、Cone 等)来设计装潢几何体的形状及大小, 利用外观节点(Appearance)中的材质节点(Material)定义装潢几何外观的材料属性。除窗户的背景图和黑板是通过文理包装节点实现外, 其他物件大多采用 Box 节点实现, 或是对它们分别建模后, 通过 Inline 节点进行连接, 再设置 translation、rotation 和 scale 值, 将坐标、旋转角度和缩放比例分别调整。

## 2.3 实验室设施设备设计

设计实验室设施设备之前, 要先进行取样, 以获取真实模型的大小和尺寸, 再对每个设施设备分别建模设计。下面以实验椅子为例介绍模型构建过程。

从几何结构看, 实验椅子可以分解为塑料椅面、金属支架、金属底座和滑轮。椅面采用扩展几何体的“切角圆柱体”, 金属支架使用基本几何体的“管状体”, 金属底座使用基本几何体的长方体, 滑轮使用一个切角圆柱体和扩展几何体的“纺锤”进行组合。金属支架的高度略大于椅子面的半径, 金属底座中长方体的长度略小于金属支架的半径。创建完上述物体后, 根据三视图将各个物体进行移动, 然后根据实际情况更改物体的尺寸, 得到如图 4 所示效果图。

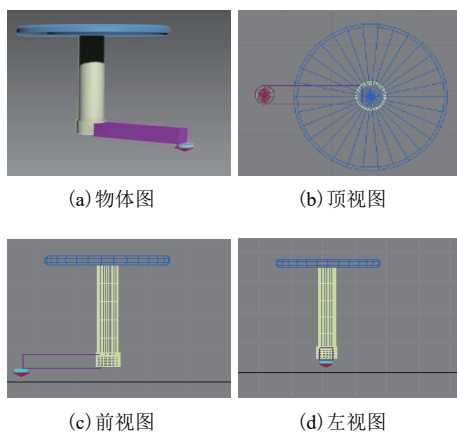


图 4 实验椅的建模过程

然后, 在前视图中将金属支架沿 y 轴向下旋转, 调整滑轮位置, 将支架和滑轮连接成组, 克隆选项选择为

“实例”。最终效果图如图 5 所示。

## 2.4 视点和灯光设计

所谓视点是指用户的 3D 替身登录虚拟物理实验室后能在各个位置观察实验室中的设施设备, 并根据个人意愿参与到实验中去。在虚拟实验室的场景中, 用 Viewpoint 节点对场景进行视点的设置。系统中设置 3 个视点, 分别是实验室后方视点、前方视点以及外部视点。

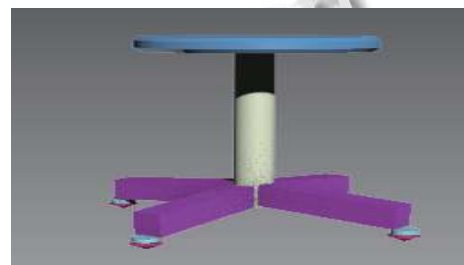


图 5 建模后的椅子

灯光的作用是使虚拟物理实验室具备足够的光线<sup>[8]</sup>。本文的虚拟实验室设置了 6 束平行光, 分别是 x、y、z 轴的正方向和负方向各 3 束。系统设置了一个 LightSwitch 的 Script 节点。节点中设计了一个布尔类型的 switch\_changed 出事件, 当 switch\_changed 为 true 时, 打开光源, 相应的域值发生变化; 当 switch\_changed 为 false 时, 改变相应的域值关闭光源。节点中与光源开关相关的域值分别为 SwitchOn 和 SwitchOff。

## 3 虚拟物理实验室的交互设计与实现

### 3.1 服务器端

虚拟物理实验室的协同讨论功能类似于聊天室, 实现流程图如图 6 所示。

由于用户间需要交流讨论, 服务器需要负责监听客户端的连接和实验系统的连接, 采用 Socket 和线程来实现与客户端的连接, 并存储在线用户情况和客户端连接服务器的请求情况。

服务器端主要由接受程序和分发程序组成。接收程序的主要功能是将监听到的用户交互信息、位置更新信息等存储到服务器端; 分发程序的主要功能是将收到的信息分发给其他用户, 以便实时感知其他用户的状态信息<sup>[9]</sup>。除此之外, 服务器端还包含用户登录界面和主要系统操作界面。登录界面提供用户注册和登录窗口, 操作界面显示用户的个人信息、对系统的操

作按钮、与其他用户间的讨论内容,以及虚拟讨论场景的显示等。

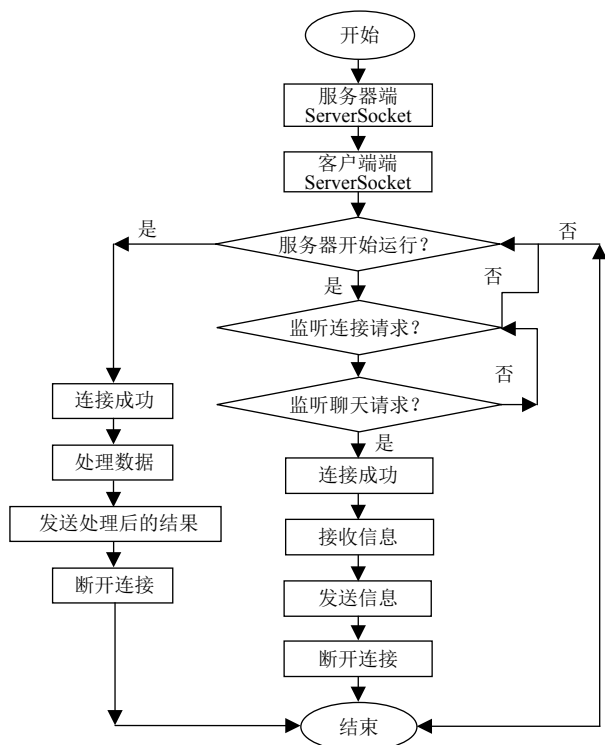


图6 服务器端的程序流程图

### 3.2 客户端

客户端主要提供用户的登录和操作功能.本系统中,用户主要分为教师和学生两种类型.用户登录时可以选择用户类型.用户在客户端的操作界面中输入用户名、服务器主机的IP地址和服务程序的端口号,点击“连接”按钮与服务器端进行连接,即可进入到虚拟物理实验室中;通过“断开”按钮,与服务器端断开连接.客户端也有一个用户列表来显示当前系统上的在线用户列表.其他用户的位置可以在本用户的Java控制台上显示,本用户的行为也可以发送到其他用户的Java控制台上显示,从而实现场景的一致性.

### 3.3 用户间的交互与感知

在协同多用户系统中,用户间要彼此感知状态与行为的变化,通常利用VRML的ProximitySensor节点跟踪用视点的移动获得位置和方向值.通过向其他用户发送这个值的变化信息,其他用户就能感知该用户的移动方向和变化状态.而当用户登录或者退出时,场景中的替身也会同步地增加或消失.

本文的虚拟实验系统采用开放式的登录方式,设

置了用户信息数据库和用户信息文本文件.用户只要访问了包含有聊天讨论Applet程序的HTML网页,与聊天程序的服务器进行连接后,即可进入实验室参与讨论.用Socket和线程控制来实现多个用户之间的协同交流.

在门、窗交互方面,系统定义了Touch触摸传感器、Time时间传感器.当单击实验室入口的门板时,信息被触摸传感器Touch获取,通过事件路由ROUTE/TO将事件touchTime传递给事件startTime.将门板的坐标位置信息进行改变,完成开门动作;门开动作完成后,又通过事件路由ROUTE/TO将门的坐标信息恢复到关闭状态,完成门的自动关闭.

### 3.4 VRML虚拟场景与Java的接口

本文采用Java程序对虚拟场景进行控制.JS是嵌套于网页中的脚本语言,既可以访问VRML虚拟场景又可以访问Applet小程序,因此基于网页脚本交互的基本思想,通过JS语言编写函数作为桥梁,采用VRML-JS-Java的通信机制实现VRML和Applet之间的通信.以JS为桥梁实现VRML与JavaApplet之间参数传递的步骤及代码如下.

第一步,用VRML文本编辑器在场景文件中添加Script节点和触发器,对需要访问的节点用DEF定义名称,在文件后端添加路由.在Script节点入事件处理函数中调用网页脚本的代码为:

```
Browser.loadURL('javascript:fun(+参数+)', '');
```

其中,Browser为浏览器的对象实例,loadURL为浏览器的接口函数,fun为脚本函数名.

第二步,分析各功能模块及调用关系,设计JavaApplet子类,编译成目标文件,两项主要工作是:

一是引用jobject包.由于项目实施中使用JDK1.6版本,高于1.4版本,jobject包在plugin.jar中.需要将其加入到classpath中,以便能够顺利地在开发时编译.

二是调用JavaScript函数.在Applet的init()方法中,可通过“win=JSObject.getWindow(this);”语句获取JavaScript窗口句柄,引用当前文档窗口.有了win参数,才可以调用JS的相应函数.在相应的方法中,通过“win.eval(“javascript:方法名(“+参数+”)”);”语句,将获得的参数传递到JS相应的函数中,再由JS函数将得到的参数付给VRML虚拟场景中的相应结点,这样便实现了对虚拟场景的控制.

第三步,在网页源文件中添加VRML场景文件、

Java Applet 以及脚本函数. 加入网页脚本函数一般有两种类型, 一种是加入的函数使 VRML 可以通过 JS 调用 Applet 小程序; 另一种是定义 VRML 虚拟场景的引擎, 获得对虚拟场景的引用.

## 4 虚拟物理实验室的效果测试

### 4.1 虚拟物理实验室的发布

虚拟物理实验室设置了黑板、教师工作台、学生课桌椅、两个书柜、一台空调、一台饮水机以及门窗等模型. 将这些模型组合完成后, 可以采用微软 IIS 服务器进行发布, 发布时将 Web 服务器的 MIME 类型设置为 model/VRML, 整体效果图如图 7 所示.



图 7 虚拟物理实验室内部效果

### 4.2 游标卡尺实验的实现效果

在虚拟物理实验中设置了若干个实验, 用户单击试验台上的相应实验, 就调出实验系统, 图 8 是游标卡尺实验效果图. 在实验界面的左上角, 设置了退出实验、查看读数、退出读数三个按钮, 在正上方设置了输入读数的文本框, 在正上方设置了输入读数的文本框.



图 8 游标卡尺实验效果

### 4.3 实验交流的实现效果

虚拟讨论系统需要将 VRML 虚拟场景和 Java Applet 程序一起嵌套到 HTML 网页文件中. 用户通过

访问服务器主机上的 HTML 网页文件, 进入到虚拟讨论系统中. 服务器端的程序要始终运行, 用户方可连接服务器, 实现与其他用户的信息交流. HTML 网页的访问情况如图 9 示.

### 4.4 其他交互的实现效果

为逼真模拟出虚拟物理实验室, 我们在实验系统中添加了一些鼠标交互动作, 如用鼠标单击窗帘, 窗帘可拉开, 再次单击则窗帘关闭, 实现效果如图 10 所示; 用鼠标点击实验大门, 大门可以打开, 再次打击则大门关闭, 实现效果如图 11 所示.



图 9 实验交流场景效果图

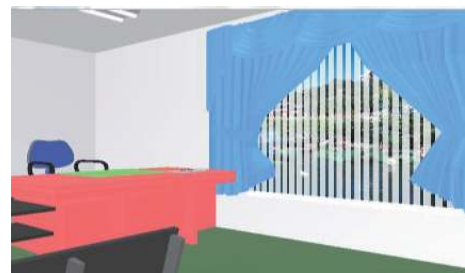


图 10 窗帘交互效果



图 11 开门交互效果

## 5 结论与展望

本文实现了一种具有协同交流功能的虚拟物理实验室, 并具有以下特点:

(1) 具有操作简单、使用方便、逼真度高等特点, 用户只需要下载 VRML 插件就可以访问, 实现对虚拟物理实验室的在线浏览;

(2) 具有交流便利、协同工作的特点, 用户登录系统后通过选择角色, 可以实现师生之间的沟通交流, 协同完成实验内容;

(3) 具有良好的层次性、可重用性和互操作性, 支持跨平台运行, 易于扩展和维护.

本文以 JS 为桥梁实现 VRML 与 Java Applet 之间传递参数, 从而实现了具有交流功能的虚拟物理实验室, 解决了虚拟实验过程中学生交流不畅的问题. 在实验内容上, 目前仅完成游标卡尺的测量, 未来将增加其他物理实验内容, 并进一步提升系统的伸缩性、兼容性和开放性, 这也是今后研究工作的重点.

#### 参考文献

1 李文航, 龚建华, 周洁萍. 协同虚拟地理教学环境的设计与实现. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(3): 289–292.

2 周自强, 沈连娟, 赵玮, 等. 面向用户的产品虚拟模型协同讨论环境的实现. 工程图学学报, 2005, 26(3): 5–11. [doi: 10.3969/j.issn.1003-0158.2005.03.002]

3 赵志凯, 刘厚泉, 李忠福. 基于角色的分布式协同虚拟环境建模. 微计算机信息, 2008, 24(15): 236–237, 279. [doi: 10.3969/j.issn.1008-0570.2008.15.098]

4 许爱军, 张文金, 易丹. 基于 VRML 的虚拟现实技术及应用. 计算机与数字工程, 2009, 37(4): 186–189. [doi: 10.3969/j.issn.1672-9722.2009.04.056]

5 许爱军, 张文金, 黄正午. 支持协同工作的 VRML 网络虚拟现实系统. 计算机仿真, 2009, 26(11): 287–290. [doi: 10.3969/j.issn.1006-9348.2009.11.071]

6 李玉霞. 基于 VRML 的多用户虚拟教室的研究[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.

7 王玉田. 基于 VRML 与 Java 交互的研究. 电脑知识与技术, 2009, 5(28): 7910–7912. [doi: 10.3969/j.issn.1009-3044.2009.28.031]

8 许爱军, 李锋. VRML 虚拟图书馆的构建与优化浏览. 计算机系统应用, 2016, 25(4): 252–257.

9 许爱军. VRML 协同虚拟现实系统的研究与应用. 计算机技术与发展, 2016, 26(6): 115–118, 122.