

学号	姓名	论文规范性 (10)	问题分析与调研 (30)	方案创新性 (20)	实验结果分析与讨论 (40)	结课论文总成绩 (100)
21301058	张悦	8	25	16	35	84

北京交通大学

期末结课论文

计算机图形学在天体领域的应用及太阳系 行星运动可视化实践

学院：软件学院

专业：软件工程

学生姓名：张悦

学号：21301058

北京交通大学

2024 年 6 月

中文摘要

本文旨在探讨计算及图形学相关技术应用在天体物理领域研究及教学的必然趋势及意义，并基于 OpenGL 构建了太阳系行星自转及公转的可视化模型。

首先，本文阐述了将计算机图形学应用于天体物理领域的科学目标和一些基于虚拟天文台的成功范例及其优越性，以此显示创建虚拟天文台和构想新的研究范例的必要性，同时在天文学教育及科普工作方面，计算及图形学可以激发学生和公众兴趣，更好地进行教育和科普工作的开展。

其次，本文使用 OpenGL 和 GLUT 库实现了太阳系模拟程序。通过创建一个 3D 场景，模拟了太阳和各主要行星（包括八大行星及其部分卫星）的运动。同时，程序设置了不同的光照效果和材质属性，以增强视觉效果，并可以通过键盘输入控制视角变换。

最后，本文进行了总结与展望，将计算机图形学应用于天体物理领域是未来发展的必然趋势，为天体物理学发展注入新的动能。

关键词：计算机图形学、天体物理、太阳系

目录

中文摘要	1
目录	2
1 引言	3
1.1 研究背景与意义	3
1.2 国内外研究现状	3
1.3 本文主要工作内容	4
2 相关工作介绍	6
2.1 天体模拟和可视化	6
2.2 天体数据可视化	6
2.3 天文学教育及科普工作	7
3 方法描述	9
3.1 实验原理	9
3.2 代码实现	9
4 实验结果与分析	11
4.1 实验结果	10
4.2 实验分析	11
5 结论	13
5.1 实验总结与反思	13
5.2 未来展望	13
参考文献	14

1 引言

1.1 项目背景与意义

随着相关技术的发展和完善，天文学逐渐步入了信息时代，如其他科学一样日益成为数据丰富的学科。天文学界提出建立“全球虚拟天文台”(Global Virtual Observatory, 简称 GVO)计划。而将计算机图形学引入天文学领域，促进天体物理可视化研究，是建设虚拟天文台，提高天体研究效率的必然要求。

同时，近年来，国内空间科学事业蓬勃发展，空间科学、天文学的教育与普及不断受到重视。在天文学的教学过程中，天文基本概念、基本原理比较抽象，学生难以理解。在学生的学习过程中，学生会出现枯燥乏味的感觉，而失去学习的兴趣与动力。而可视化技术作为一种辅助教学工具，能够在一定程度上帮助学生对天文学教材中的知识产生较为全面透彻的理解，能够帮助从业教师降低天文学授课的教学难度，提高教学质量。

1.2 国内外研究现状

随着相关技术的完善，天文学步入了信息时代，天文学界提出了建立“全球虚拟天文台”(Global Virtual Observatory, 简称 GVO)计划。目前各国都在集中精力创建自己的虚拟天文台，如美国的国家虚拟天文台(NVO)、欧盟的天体物理虚拟天文台(AVO)、英国的天文网格(AstroGrid)、德国的天体物理虚拟天文台(GAVO)、法国虚拟天文台、澳大利亚虚拟天文台、印度虚拟天文台、俄罗斯虚拟天文台、意大利虚拟天文台、加拿大虚拟天文台等。我国天文界也不甘落后，与国际接轨，创建了中国虚拟天文台(China-VO)，并成为国际虚拟天文台联盟(IVOA)中的一员。

目前国外已有的天文学相关软件如 Stellarium 软件已被引入到课程中，它可以实时计算天体的位置并将其呈现出来。类似软件还有 Celestia 等，它们都是根据现实中天体数据编写的软件，具有科学上的严谨性，但软件使用者更多的是作为一个“观测者”而不是一个“参与者”，可以起到一定的教学效果。

1.3 本文主要工作内容

本文工作的主要内容围绕计算机图形学在天文领域的应用进行调研，并使用 OpenGL 和 GLUT 库尝试实现了太阳系模拟程序。

1.3.1 计算机图形学在天文学领域的应用

在天文学研究方面，计算机图形学可用于天体模拟和可视化，以及数据可视化方面的工作，有利于天文相关的研究进展；在天文学教育及科普工作方面，计算及图形学可以激发学生和公众兴趣，更好地进行教育和科普工作的开展。

1.3.2 太阳系模拟程序

本文使用 OpenGL 和 GLUT 库实现了太阳系模拟程序。通过创建一个 3D 场景，模拟了太阳和各主要行星（包括八大行星及其部分卫星）的运动。同时，程序设置了不同的光照效果和材质属性，以增强视觉效果，并可以通过键盘输入控制视角变换。

2 相关工作介绍

本章介绍了计算机图形学在天文学领域现有应用,包括天体模拟和可视化,数据可视化以及天文学教育及科普工作三个方面。

2.1 天体模拟和可视化

我国在 2017 年实现了基于万有引力定律和动量定理,借助计算机软件 VPython 模拟天体的运动过程,例如卫星、月球绕地球的运动,火星绕太阳的运动,卫星绕双星系统的运动,直观地显示了天体运动轨迹,使天体运动过程实现了可视化。于 2022 年,我国科学家利用 Unity3D 平台进行开发并制作天体物理教学演示软件。该教学软件以坚实的数学、物理原理为依托,匹配合适的数据结构,以直观的三维形式实时模拟天体物理学中各类现象。

2.2 天体数据可视化

天文学“数据雪崩”时代的到来,以及数据有效集成的需求,将驱动了全新的天文研究方式。天文学界提出了建立“全球虚拟天文台”(Global Virtual Observatory, 简称 GVO)计划。目前各国都在集中精力创建自己的虚拟天文台,如美国的国家虚拟天文台(NVO)、欧盟的天体物理虚拟天文台(AVO)、英国的天文网格(AstroGrid)、德国的天体物理虚拟天文台(GAVO)、法国虚拟天文台、澳大利亚虚拟天文台、印度虚拟天文台、俄罗斯虚拟天文台、意大利虚拟天文台、加拿大虚拟天文台等。我国天文界也不甘落后,与国际接轨,创建了中国虚拟天文台(China-VO),并成为国际虚拟天文台联盟(IVOA)中的一员。

虚拟天文台的目的就是通过提供数据和计算资源来促进和推动新的科学,发展完善的从全球存档文件和星表中定位、提取、分析数据的工具、交叉认证工具、数据挖掘工具、可视化工具,以及理论模型和模拟数据与观测数据对比的一系列工具。

2.3 天文学教育及科普工作

目前国外已有的天文学相关软件如 Stellarium 软件已被引入到课程中,它可以实时计算天体的位置并将它呈现出来。类似软件还有 Celestia 等,它们都是根据现实中天体数据编写的软件,具有科学上的严谨性,但软件使用者更多的是作为一个“观测者”而不

是一个“参与者”，可以起到一定的教学效果，但是难以激发使用者对更多问题的思索。

我国的团队开发了天体物理教学演示软件，软件通过构建天文物理现象三维仿真模型，实现天文现象、过程的可视化处理，使抽象的概念、定义具象化。学生可以通过实际观察、操作，从空间、时间多维度理解和认识所学天文现象的真实动态过程。

3 方法描述

本章主要介绍太阳系模拟程序的相关原理及实现方法。太阳系模拟程序通过创建一个 3D 场景，模拟了太阳和各主要行星（包括八大行星及其部分卫星）的运动。

3.1 实验原理

太阳系，顾名思义，是以太阳为主导的一个行星系统。太阳的赤道半径为 69.6 万公里，太阳质量约为 33 万倍地球质量，自转轴角度约 7.3° 。八大行星即水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星，太阳系的所有行星全都受太阳引力的支配。图 3-1 是太阳系八大行星绕太阳公转及其自转的相关参数。

在太阳系里，除水星和金星外，其他行星都有天然卫星。已知的天然卫星总数（不算构成行星环的碎块）至少有 40 颗。土星的天然卫星最多，其中 17 颗已得到确认，至少还有五颗尚待证实。天然卫星的大小不一，彼此差别很大。其中一些直径只有几千米大，例如，火星的两个小月亮，还有木星外围的一些小卫星。还有几个却比水星还大，例如，土卫六、木卫三和木卫四，它们的直径都超过 5200 千米。实验中只画出了几颗重要卫星，包括地球的卫星月球，以及土星和木星的卫星。

太阳系八大行星资料表
(20110903)

名称	直径 (千米)	与太阳的平均距离 (万千米)	自转周期 (天)	公转周期 (天)	卫星数量 (个)	其他
水星	4,880	5,791	59	88	0	自西向东自转
金星	12,104	10,820	243	225	0	自东向西自转
地球	12,756	14,960	1	365	1	自西向东自转
火星	6,796	22,794	1	687	2	自西向东自转
木星	142,984	77,833	0.41	4333	62	自西向东自转
土星	120,536	142,940	0.43	10760	34	自西向东自转
天王星	51,800	287,668	0.65	30799	27	自东向西自转
海王星	49,532	450,400	0.67	60188	13	自西向东自转

图 3-1 太阳系八大行星绕太阳公转及其自转的相关参数

3.2 代码实现

3.2.1 初始化设置

光照设置：使用 `glLightfv` 函数配置了三种不同类型的光源：太阳光、月球光和一般光源。每种光源都设置了环境光、漫反射光和镜面反射光的属性。光源位置在 `myinit` 函数中初始化，并在 `lPosition` 函数中根据需要动态调整。

```
//设置光照函数
void myinit()
{
    GLfloat light_ambient[] = { 0.5, 0.2, 0.2, 1 };    //环境光
    GLfloat light_diffuse[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat light_specular[] = { 10.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat light_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    glPushMatrix();
    GLfloat sun_ambient[] = { 0.5, 0, 0, 1.0 };    //环境光
    GLfloat sun_diffuse[] = { 1.0, 0.5, 0.5, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat sun_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat sun_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    GLfloat moon_ambient[] = { 0.5, 0.5, 0, 1.0 };    //环境光
    GLfloat moon_diffuse[] = { 1.0, 1.0, 0.5, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat moon_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat moon_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    glPushMatrix();
    glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, sun_position);    // 创建光源0
    glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, sun_ambient);
}
```

材质属性：为太阳和各个行星定义了不同的材质属性，包括镜面反射、光泽度和漫反射颜色。这些设置在各自的材质函数中进行，如 `material_sun`, `material_earth` 等。

```
//设置光照函数
void myinit()
{
    GLfloat light_ambient[] = { 0.5, 0.2, 0.2, 1 };    //环境光
    GLfloat light_diffuse[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat light_specular[] = { 10.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat light_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    glPushMatrix();
    GLfloat sun_ambient[] = { 0.5, 0, 0, 1.0 };    //环境光
    GLfloat sun_diffuse[] = { 1.0, 0.5, 0.5, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat sun_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat sun_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    GLfloat moon_ambient[] = { 0.5, 0.5, 0, 1.0 };    //环境光
    GLfloat moon_diffuse[] = { 1.0, 1.0, 0.5, 1.0 };    //漫反射光
    GLfloat moon_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };    //镜面反射光
    GLfloat moon_position[] = { 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 };    // 光源位置设置
    glPushMatrix();
    glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, sun_position);    // 创建光源0
    glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, sun_ambient);
}
```

3.2.2 主要绘图函数

天体绘制：使用 `glutSolidSphere` 和 `glutSolidTorus` 等函数绘制行星和环形物。每个天体的位置和旋转通过 `glTranslatef` 和 `glRotatef` 函数控制。行星的自转和公转通过更新角度变量并重新绘制实现动态效果。

```
void sun() //绘制太阳
{
    glPushMatrix();
    material_sun();
    glTranslatef(-15, 0, 0);
    glRotatef((GLfloat)day, 0.0, 1.0, 0.0); //太阳自转
    glutSolidSphere(10, 200, 200); //画球体
    glPopMatrix();
}
```

动画控制：Rotate 函数负责更新行星的公转周期，通过改变行星的年度角度变量。myidle 函数控制自转速度，并触发重绘，使动画连续进行。

```
glRotatef((GLfloat)adamYear, aix_x, aix_y, aix_z); //水星公转周期
```

3.2.3 交互控制

键盘输入处理：mykeyboard 函数响应用户的键盘输入，允许用户通过特定的按键调整视角和观察位置，通过“A”，“D”，“W”，“S”控制视图角度

```
void mykeyboard(unsigned char key, int x, int y)
{
    switch (key)
    {
        case 'A':
        case 'a':
            aix_y -= 5;
            aix_z += 5;
            break;
        case 'D':
        case 'd':
            aix_y += 5;
            aix_z -= 5;
            break;
    }
}
```

窗口初始化和配置：使用 `glutInit` 和相关函数设置窗口大小、位置和显示模式。reshape 函数根据窗口大小调整视图比例和透视。

4 实验结果与分析

本章主要探讨太阳系模拟程序的实验结果及分析。主要包括结果展示，实验分析两部分，展示太阳系模拟程序的运行结果截图，帧率等成果，并分析不足之处。

4.1 结果展示

以下为程序运行截图，包括行星围绕太阳公转，卫星围绕行星旋转，以及太阳、行星、卫星三者的自转。图 4-1 为程序运行结果截图，图 4-2 为使用键盘进行交互后视角改变的运行结果截图。

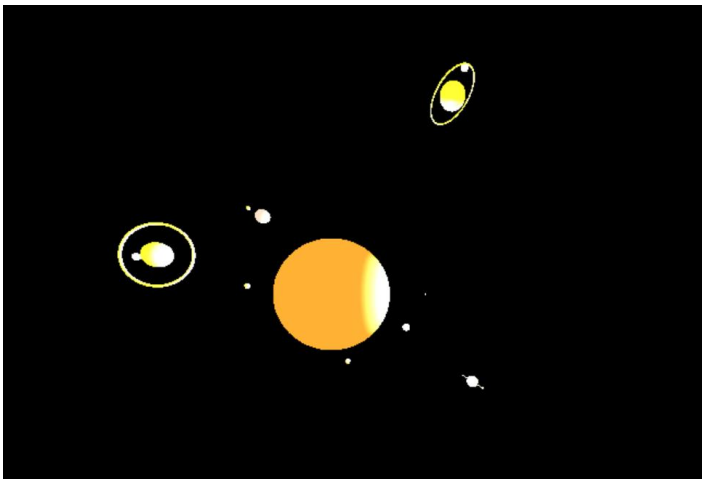


图 4-1 运行结果截图

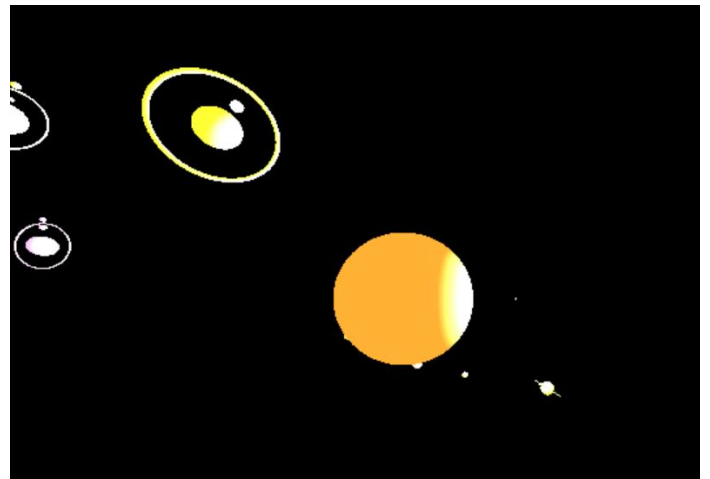


图 4-2 键盘交互后截图

4.2 实验分析

(1) 场景真实性有待提高。虽然设置了太阳光、月球光和一般光源。每种光源都设置了环境光、漫反射光和镜面反射光的属性，但由于模型过于粗糙，实验效果并不理想。材质渲染也有问题，下一步会增加更多材质属性。

(2) 场景美观度有待提高。如设置背景，设置行星运行轨迹曲线以及改进行星材质渲染等，进一步优化场景美观度。

(3) 场景交互受限，目前仅支持通过键盘调整视觉角度。

5 结论

本文探讨了计算及图形学相关技术应用在天体物理领域研究及教学的必然趋势及意义，并基于 `openGL` 构建了太阳系行星自转及公转的可视化模型，进行了天体模拟和可视化的相关实践。

5.1 实验总结与反思

在本次调研方面，计算机图形学应用于天文学领域的参考资料极少，资料查找问题不得不说给本次实验带来了极大困扰，但这同时也说明了，天文学领域目前仍然是有大部分学者通过极其传统的方式进行学术研究，急需集成度高且用户友好的天文学虚拟平台来填补这项空白。

在本次实验方面，我系统了解了太阳系的组织结构极其运转方式，不仅提高了专业水平，也拓展了专业外的有趣知识，提高了综合素质。但 3D 场景的建模和用户交互对于我来说仍然充满挑战，如何做到美观真实的建模场景以及流畅易用的用户交互，仍然是未来需要去努力学习的方面。

5.2 未来展望

希望未来的可以构建一个集成度高，可用性强的虚拟天文台作为在线研究的门户，将提供宇宙各层次、各时期、各波段的全貌，为科学家打开一个对宇宙中所有源的、真正的、连续的、全波段的视野。对于天文学家来说，部各种资源是如何配置的，只需点击鼠标，就可以做自己想做的事了。虚拟天文台将启动更新的、更多的、更好的、更容易的和更快的科学研究：来自多种仪器设备的数据对比研究将推动新的研究方法和新的多波段数据探测方法的发展；通过提高数据管理和现有天文数据库的大规模分析的效率，虚拟天文台使用户研究起来更容易、更方便，科学成果也相应更多。

参考文献

- [1]顾逸东,吴季,陈虎,等.中国空间探测领域 40 年发展[J].空间科学学报,2021,41(1):10-21
- [2]梁琦,刘萱,科研项目嵌入面向公众科学传播活动的政策与实现路径--美国 NASA 空间科学办公室教育与科普项目案例研究[J].中国科技论坛,2013(5):149-154.
- [3]晋民杰,王晓军,郭空斐,等,基于虚拟仿真的矿并提升机械教学软件设计与实现[J].中国现代教育装备,2021(23):18-21.
- [4]丘锡彬,唐昌建.基于计算机模拟技术的现代物理学教学研究[J].高等理科教育,2010(6):74-77
- [5]赵伟聪,任国荣,杨帅,等.Stellarum 软件在地理教学中的应用探索--以“正午太阳高度角的变化”为例,.教育现代化,2020,7(3):95-9
- [6] Prima E C,Putri c L,Sudargo F.Applying pre and post roleplays supported by stellarium virtual observatory to improve students'understanding on learning solar system[J]. Journalof Science Learning,2017,1(1):1.
- [7] 李明昆,程春霞,李佳龙,等.天体物理教学演示软件设计[J].电脑知识与技术,2022,18(16):89-91+99.DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2022.1216.