

基于Unity3D的天文类虚拟仿真教学平台

——以天球坐标和会合运动为例

陈 阳, 巴明廷

郑州师范学院地理与旅游学院, 河南 郑州

收稿日期: 2024年10月7日; 录用日期: 2024年12月13日; 发布日期: 2024年12月24日

摘 要

在地理学科中, 天球坐标和会合运动的教学因其对空间感的高要求, 常常使学生感到困惑, 也给教师带来了教学上的挑战。为了解决这一问题, 文章结合Unity3D和人工智能技术, 打造了一款针对天球坐标和会合运动的虚拟仿真教学平台。该平台设计了登陆、教学和考试三大系统, 为学生构建了一个直观、互动的立体学习空间。课堂对照测试的成效凸显了该平台在强化学生知识理解与掌握方面的效果, 表明了Unity3D在地理教学中的优势。访谈记录的分析为该平台的改进提供了方向。期待这一平台能够助力地理教育, 为师生们带来更多可能性。

关键词

Unity3D, 天球坐标, 会合运动, 虚拟仿真

Virtual Simulation Teaching Platform for Astronomy Based on Unity3D

—Taking Celestial Coordinates and Synodic Motion as an Example

Yang Chen, Mingting Ba

School of Geography and Tourism, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou Henan

Received: Oct. 7th, 2024; accepted: Dec. 13th, 2024; published: Dec. 24th, 2024

Abstract

In geography, the teaching of celestial coordinates and synodic motion often confuses students and poses teaching challenges for teachers due to its high demand for spatial sense. In order to solve this problem, the article combines Unity3D and artificial intelligence technology to create a virtual

simulation teaching platform for celestial coordinates and synodic motion. The platform is designed with three major systems of login, teaching and examination, which builds an intuitive and interactive three-dimensional learning space for students. The effectiveness of the classroom control test highlights the effectiveness of the platform in reinforcing students' knowledge understanding and mastery, demonstrating the advantages of Unity3D in teaching geography. The analysis of the interview records provide direction for the platform's improvement. It is expected that this platform can help geography education and bring more possibilities to teachers and students.

Keywords

Unity3D, Coordinates of the Celestial Sphere, Convergent Motions, Virtual Simulation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科技的发展, 用户获取知识的途径呈现多样化发展趋势, 电脑、手机、平板都已成为重要的信息载体。教师也不能局限于教材内容的讲授, 应不断发现和挖掘教学资源, 创新教学手段和方式[1]。2023年5月, 教育部办公厅发布了《基础教育课程教学改革深化行动方案》[2], 强调推进教育数字化, 利用数字化赋能基础教育, 优化教学过程和用户学习方式, 构建数字化背景下的新型教与学模式, 提高教学效率和质量。2024年1月的全国教育工作会议也强调开辟教育数字化新赛道, 使用数字化工具和资源, 引领教育变革创新。开展地理数字化教育可以提高用户的信息素养和科技素养, 为教师提供多样化的教学工具和手段, 促进教学质量和效率提升, 重塑教育生态[3]。

虚拟仿真技术是一种用一个虚拟的系统模仿另一个真实系统的技术。现代的虚拟仿真技术所支持的教学过程具有整合多种媒体资源的独特优势, 可提高用户的学习积极性并能够为用户提供真实的学习体验, 促进用户强化所学知识和技能[4][5]。在国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台中, 地理类的虚拟仿真多为野外实习[6]、地理考察等内容, 缺乏自然地理中关于天文类知识的虚拟仿真项目。

在从事《地球概论》课程的教学实践活动中, 为了更精确地评估学生对课程知识点的掌握程度, 进而优化教学效果并提升教学质量, 本文深入统计并分析了历年学生的考试数据。同时, 通过实施问卷调查的方法, 我们进一步揭示了学生普遍感到学习难度较大、难以有效掌握的知识, 这些知识点主要聚焦于天球坐标、星等计算、月相变化、会合运动以及历法等领域。特别值得注意的是, 天球坐标与会合运动这两个知识点, 由于其需要较强的空间想象能力来辅助理解, 因此成为了学生学习过程中的主要难点(附录1)。故文章以天球坐标和会合运动为研究对象, 借助 Unity3D 平台开发了一款功能较为完善且具有可行性的虚拟仿真教学平台, 以提升教学效果。

2. 教学平台设计

2.1. 总体构架

该虚拟仿真教学平台, 由登陆系统、教学系统、考试系统三大模块构成。登陆系统作为平台的入口, 充分考虑了用户的不同需求, 分为本地登陆和网络登陆两种方式。新用户可根据个人偏好和实际情况, 选择本地登录或网络登录, 并在对应的界面完成注册流程。用户登录之后会进入教学系统, 教学

系统包含天球坐标和会合运动两个模块。天球坐标包含 11 个项目, 其中 10 个项目聚焦于地平坐标系、时角坐标系、第二赤道坐标系的详细讲解, 帮助用户系统掌握这些核心概念。此外, 还有一个自由探索项目, 鼓励用户根据自己的兴趣进行深入学习。会合运动板块包含两方面内容, 一方面是太阳系运行模型, 另一方面是从地球上观测天体会合运动的过程。完成教学系统后, 用户可进入考试系统对所学内容进行检验。该系统的题目设计灵活, 答题结束后, 系统会即时反馈整体正确率以及每个知识点的正确率, 帮助用户全面评估自己的学习效果。教学平台总体架构如图 1 所示, 下载地址见: <https://www.alipan.com/s/H92YftUMBBi>。该软件已取得中华人民共和国国家版权局计算机软件著作权等级证书, 登记号: 2024SR1467883。

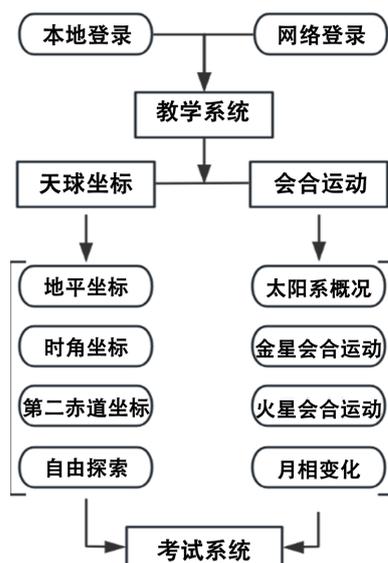


Figure 1. Overall architecture of teaching platform
图 1. 教学平台总体架构

2.2. 登陆系统



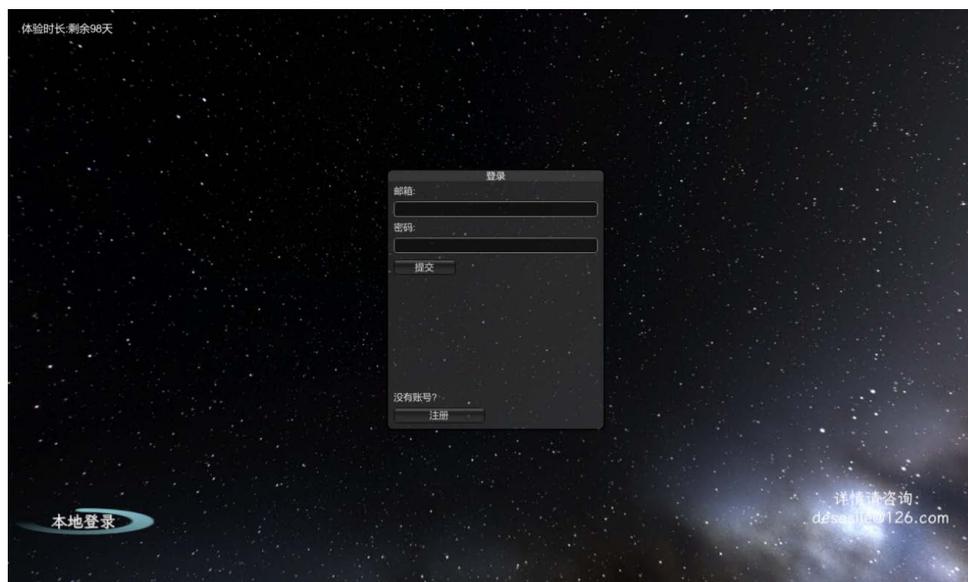


Figure 2. Teaching platform login system interface (Upper: local login system, Lower: network login system)
图 2. 教学平台登陆系统界面(上: 本地登录系统, 下: 网络登录系统)

该系统提供了两种登录方式: 本地登录和网络登录(图 2)。在本地登录系统中, 文章利用了 Unity 的 PlayerPrefs 类, 将用户的个人信息安全地储存在本地电脑的注册表中, 方便用户在没有网络连接的情况下也能快速登录。而对于网络登录系统, 文章将用户的详细资料储存在位于阿里云服务器的 MySQL 数据库中。系统与 MySQL 数据库之间的数据交互, 是通过编写的 PHP 文件来实现的, 确保了数据传输的安全性和稳定性。

用户可以根据自身需求, 选择在本地或网络登录系统中进行注册。此外, 教师也拥有权限, 可以直接在后台将用户信息统一添加到 MySQL 数据库中, 为教学管理提供了极大的便利。

2.3. 教学系统

2.3.1. 天球坐标

在成功登陆后, 用户将直接进入天球坐标教学系统界面。该界面采用了直观且易于理解的设计, 旨在为用户提供沉浸式的学习体验。教学系统界面的左侧整齐排列着十一个初始显示为“?”的选项, 每一个“?”都象征着待解锁的天球坐标知识领域。这种设计不仅激发了用户的好奇心, 还引导他们逐步深入探索各个知识点。界面的中央区域则是展示对应天球坐标知识的核心区域(表 1)。这里集成了 3D 动画和互动界面, 通过生动逼真的动画演示和直观的操作界面, 帮助用户更好地理解天球坐标的复杂概念和原理。用户可以通过动画, 深入探索每个知识点的细节, 增强学习体验。在界面的右侧, 则提供了对应天球坐标知识的详细文字介绍和语音解说。文字介绍清晰明了, 涵盖了知识点的关键信息和解释; 而语音解说则为用户提供了更加便捷的学习方式, 用户可以随时听取解说, 加深对知识点的理解。此外, 右侧还设有动画控制按钮(如图 3 所示), 用户可以根据需要调整动画的播放、暂停等操作, 以便更好地掌握学习进度。

左侧排列着十一个初始以“?”标记的选项, 这些问号分别对应了 4 种地平坐标系、3 种时角坐标系、3 种第二赤道坐标系的介绍, 以及一个专门的天球坐标交互操作练习(图 3)。当用户将鼠标移动到任意一个“?”上时, 该问号会自动展开, 显示对应天球坐标知识的详细内容介绍。这样的设计使得用户能够根据自己的学习进度和兴趣, 自主选择想要深入了解的知识点。而当用户将鼠标从问号上移开时,

详细介绍会转变为更为简略的概要, 方便用户快速回顾和识别不同的知识点。

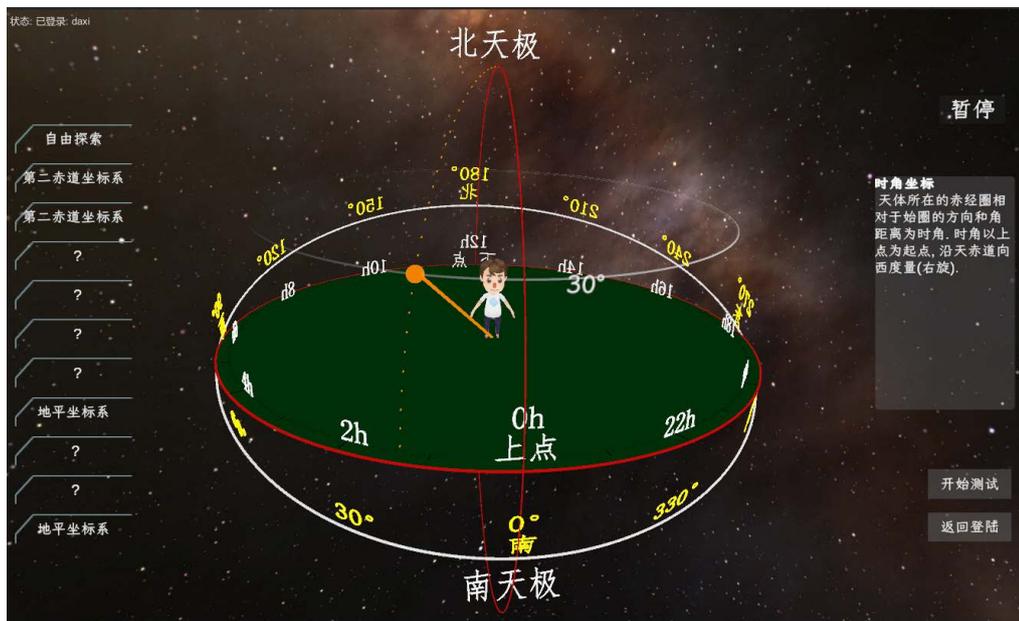


Figure 3. Teaching system interface
图 3. 教学系统界面图

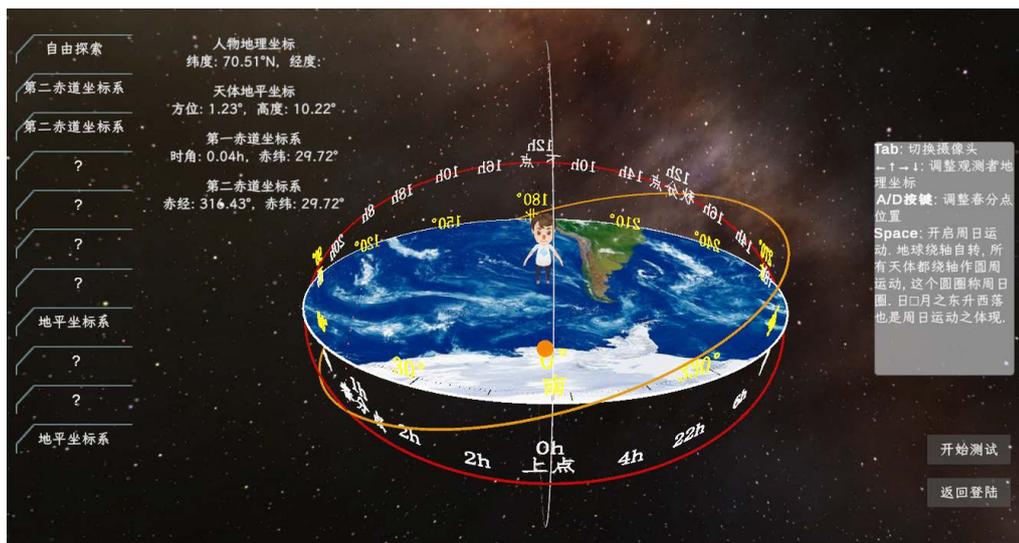


Figure 4. Free exploration interface of teaching system
图 4. 教学系统自由探索界面

Table 1. The content of celestial coordinates in teaching systems
表 1. 教学系统中天球坐标的内容

	地平坐标		时角坐标		第二赤道坐标		自由探索		
整体介绍	始圈(天顶/天底/南点)	方位角和高度角	整体介绍	始圈(北天极/南天极/上点)	时角和赤纬	整体介绍	始圈(北天极/南天极/春分点)	赤经和赤纬	探索随着观察者地理坐标和春分点位置变化时天体的地平坐标、时角坐标和第二赤道坐标的变化以及天体的周日运动

在天球坐标的自由探索界面中, 用户能够实时观察并探索人物地理坐标、天体地平坐标、天体时角坐标以及天体第二赤道坐标的动态变化。这一界面为用户提供了一个互动性强且直观的学习平台, 使他们能够深入理解天球坐标系统的运作机制(图 4)。在该界面中, 人物的地理位置对天体的地平坐标和时角坐标有着直接的影响。用户可以通过按下“↑”、“↓”、“←”和“→”键来调整人物的地理位置, 从而观察到天体在地平坐标系和时角坐标系中的相应变化。这种设计使用户能够直观地理解地理位置对天体观测的影响。此外, 春分点的位置也会对天体的第二赤道坐标产生影响。用户可以通过按下“A”和“D”键来调整春分点的位置, 从而观察天体在第二赤道坐标系中的变化。这一功能帮助用户了解春分点在天球坐标系统中的重要性和作用。

为了增强用户体验, 自由探索界面还提供了视角切换和天体周日运动模拟功能。用户可以通过按下“TAB”键, 将视角在天球外部和内部之间循环切换, 以便从多个角度观察天体的位置和运动状态。同时, 按下“Space”键可以开启天体的周期运动模拟, 使用户能够观察到天体在一天内的运动轨迹和变化。

2.3.2. 会合运动

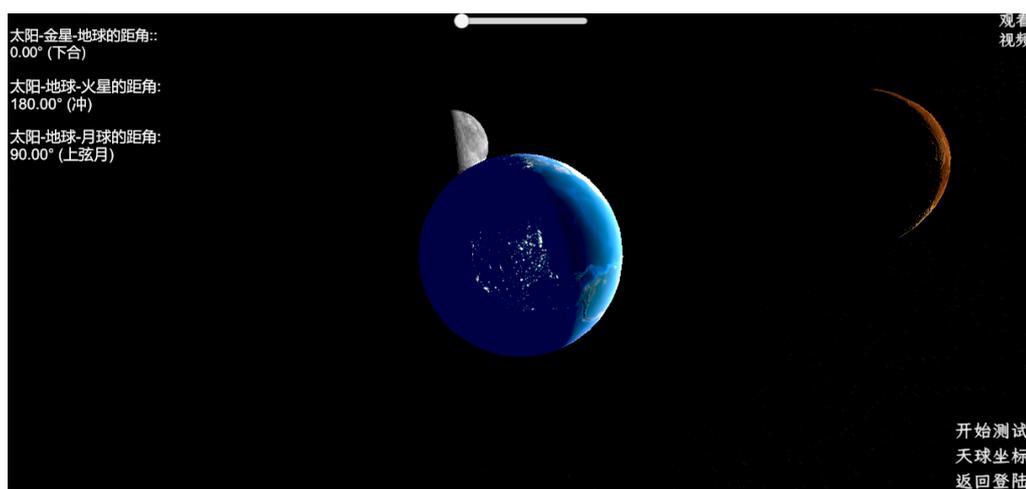


Figure 5. Randomly focused planets within the Solar System

图 5. 随机聚焦的太阳系内行星图

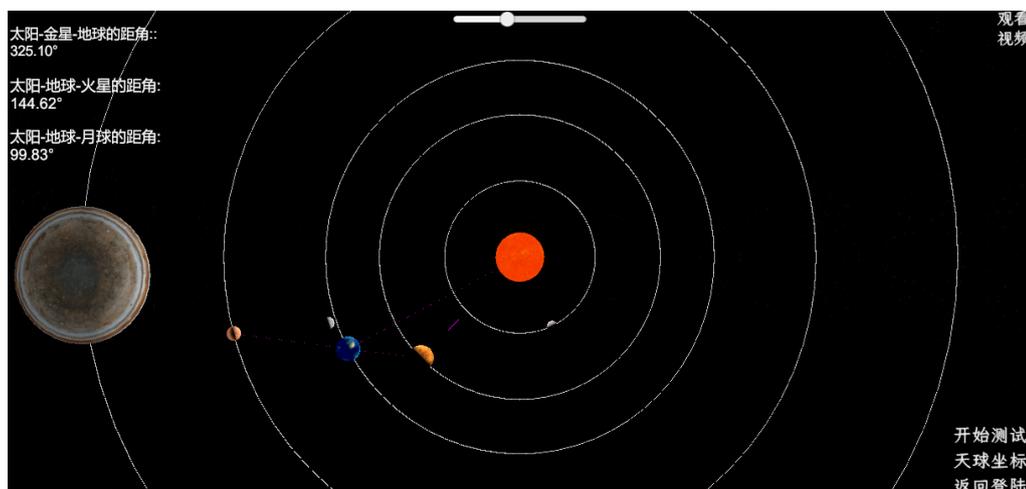


Figure 6. Overall outline of the Solar System (Partial Planets)

图 6. 太阳系整体轮廓图(部分行星)

进入会合运动模块后, 首先展示的是太阳系内随机的某个行星(图 5), 按下右键可退出近景模式, 展示太阳系整体轮廓(图 6), 此时通过方向键可移动视野, 按下空格键可以重新进入近景展示。按下 TAB 键可进入地球视角观察天体运行(图 7)。界面中间正上方的 slider 用于调节天体运行速度, 右上角的观看视频按钮按下后出现视频(图 8), 介绍会合运动的知识点, 再次按下后视频会隐藏, 在界面的左上角给出了从地球上观察是, 金星、火星、月球这三者分别和太阳、地球间的距角。



Figure 7. Schematic diagram of synodic motion observed from Earth
图 7. 从地球上观测的会合运动示意图

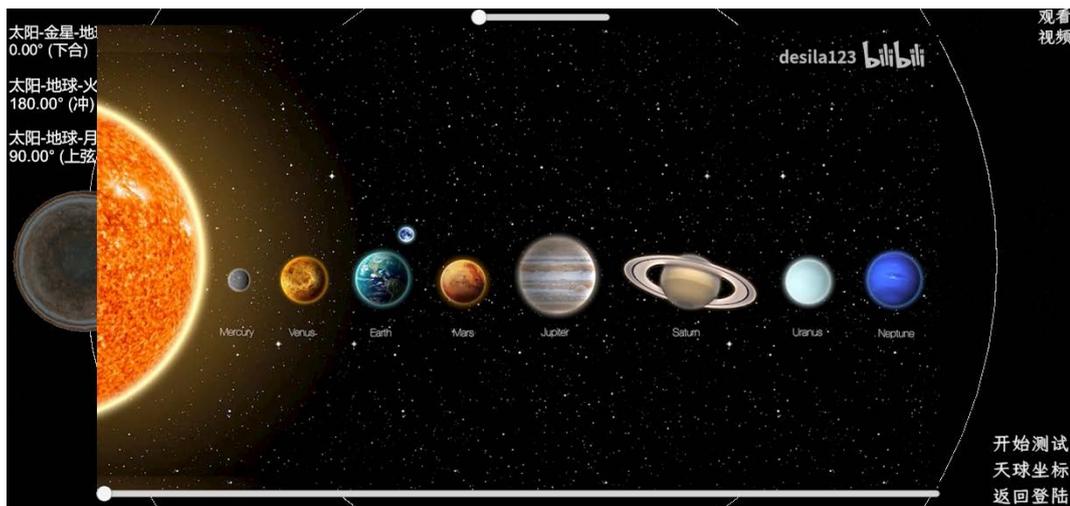


Figure 8. Introduction video of synodic motion knowledge points
图 8. 会合运动知识点介绍

2.4. 考试系统

在完成教学系统的学习任务后, 用户可顺利进入与之紧密衔接的考试系统, 以检验学习成果。考试系统主要由题目、选项、答案选择区、答题提示以及答题准确率统计等项目组成(图 9)。在答题过程中, 用户可以根据题目内容, 在选项中选择自己认为正确的答案。为帮助用户更好地理解 and 作答, 系统还提供了答题提示功能, 用户可根据需要查看相关提示信息。当答题结束后, 系统会在题目右侧即时显示各

个知识点的答题准确率。这一功能不仅帮助用户了解自己在各个知识点上的掌握情况, 还能根据准确率数据, 进行有针对性的复习和巩固。



Figure 9. Exam system interface
图 9. 考试系统界面

3. 核心算法介绍

本虚拟仿真教学平台的核心功能体现在教学系统中的自由探索模块(图 5)。探索模块的除了互动操作外, 关键在于人物地理坐标、天体地平坐标、天体时角坐标和天体第二赤道坐标的实时变化。天体的地平坐标和时角坐标随着观察者地理位置的移动发生实时变化, 因此本算法旨在通过计算互动场景中天体和人物、天体与不同坐标系统的始圈、基圈的向量夹角来, 实现天球坐标系的精确计算和同步。

3.1. 向量构建

选定参考点: 首先, 选择一个固定的参考点(例如, 天球的球心), 该点将作为天球坐标系的原点。

生成物体向量: 对于场景中的每一个需要参与计算的物体, 我们构造一个从该物体指向的参考点向量。这个向量代表了物体在天球坐标系中的位置。

3.2. 夹角计算

向量归一化: 为了比较不同向量的夹角, 我们首先需要将它们归一化(即转换为单位向量), 以消除长度差异的影响。

夹角计算: 利用点积运算, 我们可以计算出两个单位向量之间的夹角 θ 。夹角 θ 的余弦值等于两向量的点积除以两向量模的乘积。

假设有两个向量 A 和 B , 它们的夹角为 θ (其中 $0 \leq \theta \leq \pi$), 则可以使用以下数学公式来表示它们夹角的余弦值:

$$\cos \theta = \frac{A \cdot B}{|A| \cdot |B|} \quad (1)$$

$A \cdot B$ 是向量 A 和 B 的点积, $|A| \cdot |B|$ 分别是向量 A 和 B 的模(长度)。

若两个向量在二维空间的坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 则夹角的余弦值还可以表示为:

$$\cos \theta = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \quad (2)$$

在 Unity 的 C#脚本中, 可以使用 `Vector3.Dot` 方法来计算点积, 使用 `Vector3.magnitude` 属性来计算向量的模。然后, 可以使用 `Mathf.Acos` 方法来计算夹角的余弦值对应的弧度, 并使用 `Mathf.Rad2Deg` 方法将其转换为角度。

3.3. 天球坐标计算

坐标转换: 基于计算出的夹角 θ , 可以将物体的位置从天球坐标系中的向量表示转换为经纬度或其他天球坐标系统的表示。具体的转换方法取决于所选用的天球坐标系统。

坐标同步: 当场景中的物体发生移动或旋转时, 我们重复步骤一和步骤二, 以实时更新物体的天球坐标。这些更新后的坐标可以用于各种应用, 如动画控制、交互反馈或可视化展示。

4. 教学效果及建议

4.1. 教学效果

为了验证该教学平台在地理教学中的效果, 选中两个已经接触过相关知识的班级进行调查与测试。在 A 班的教学过程中将该教学平台部署到学习过程中, 在 B 班的教学过程中未部署该教学平台, 保持两个班级的教学进度一致。在授课结束后进行测试, 测试结果及分析展示如下(表 2, 表 3):

Table 2. Comparison of assessment results

表 2. 考试成绩对比

班级	平均值	标准差	个案数
A 班	85	7	41
B 班	78	12	45
总计	82	10	86

Table 3. Independent sample testing

表 3. 独立样本检验

	莱文方差等同性检验				平均值等同性 t 检验		
	F	显著性	t	自由度	显著性(双尾)	平均值差值	标准误差差值
假定等方差	16.807	0.000	3.148	84	0.002	6.72412	2.13627
不假定等方差			3.227	70.065	0.002	6.72412	2.08389

根据表 2 的数据分析, 采用教学平台的 A 班平均成绩达到 85 分, 显著高于未采用该平台的 B 班, 显示出教学平台对提升学业成绩的积极作用。进一步观察, A 班的分数标准差为 7, 相较于 B 班的 12 分标准差而言更低, 这表明 A 班学生成绩的离散程度较小, 即成绩更加稳定且均衡, 反映出整体对知识的掌握更为牢固和一致。

随后, 针对 A 班与 B 班进行了独立样本 T 检验(详见表 3), 以验证上述观察结果的统计学意义。在方差齐性检验(莱文方差等同性检验)中, F 值为 16.807, P 值(Sig.)达到显著性水平(P = 0.000), 因此拒绝方差相等的假设, 确认两组数据方差不齐。鉴于此, 我们采用了校正后的 t 检验(即 Welch's t-test, 不假定等方差), 结果显示 t 值为 3.227, P 值为 0.002, 同样达到显著性水平。这一结果强烈支持了教学平台

的使用是导致 A 班与 B 班成绩显著差异的关键因素, 进一步验证了教学平台在提升教学效果和促进学生成绩稳定性方面的积极作用。

4.2. 改进建议

本文针对两个班级的学生就该教学平台的使用体验及改进建议进行了深入的访谈调研。经过对访谈记录的清洗与整理, 我们最终获得了 60 份有效的访谈数据。随后, 我们利用 Python 技术对这些访谈记录进行了情感分析、内容分析以及主题分析(详见表 4)。

在情感分析方面, 绝大多数访谈记录展现出了积极的评价倾向, 主要聚焦于平台在提升学习效率、增强学习动力以及辅助理解课程内容等方面的显著成效。然而, 也有部分访谈记录表达了负面的评价, 这些负面评价主要源于平台的操作复杂性以及响应速度迟缓等问题。

在内容分析层面, 我们进一步归纳了访谈记录中的核心观点与意见。而在主题分析方面, 学生提出的主要建议包括: 增加闯关或关卡设计以丰富学习体验、开发移动版或手机版本以满足不同场景下的学习需求、以及探索 VR 或 AR 版本以提供更加沉浸式的学习环境。这些建议不仅反映了学生的实际需求与期望, 也为我们后续的研究与开发工作指明了方向。

此外, 为了更直观地展示以上分析结果, 我们已制作了相应的可视化图表(见图 10)。该图表通过直观的数据呈现, 为我们深入理解学生的使用体验与改进需求提供了有力的支持。

Table 4. Overview of emotional, content, and thematic analysis in interview records

表 4. 访谈记录情感、内容和主题分析概况

	情感分析			内容分析				主题分析			
	包含正面评价	包含负面评价	提升学习效率	增强学习动力	方便学习	帮助理解知识	操作繁琐	响应缓慢	闯关或关卡	移动或手机版	VR 或 AR
出现次数	56	21	72	38	5	33	10	13	76	67	94



Figure 10. Word cloud map of interview records' content and thematic analysis

图 10. 访谈记录内容和主题分析词云图

5. 结语

本文介绍了一个基于 Unity 引擎的天文类教学平台, 旨在通过沉浸式的三维环境提升学生对天文学知识的兴趣和理解。教学效果评估显示, 学生的天文学知识掌握程度显著提高。本平台不仅是一款教学工具, 更是一个促进天文学教育创新的重要平台, 也可以拓展到科普教育、科学研究等多个领域。未来, 我们将继续优化核心算法, 提升模拟精度和实时性; 同时, 加强用户反馈机制, 根据用户需求不断迭代升级平台功能。此外, 我们还将探索将人工智能技术融入平台, 实现更加智能化、个性化的教学服务。

基金项目

文章受郑州师范学院校级教改项目“地球概论虚拟仿真教学平台”(项目编号: JXGGYB-232224)资助。

参考文献

- [1] 田青青, 李敏. Mozaik3D 在初中地理教学中的应用探究[J]. 中学地理教学参考, 2024(6): 57-60.
- [2] 中华人民共和国教育部. 基础教育课程教学改革深化行动方案[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/jcj_kcjgh/202306/t20230601_1062380.html, 2024-10-02.
- [3] 祝智庭, 胡姣. 教育数字化转型的本质探析与研究展望[J]. 中国电化教育, 2022(4): 1-8, 25.
- [4] 曲蕴慧, 白新国. 基于 Unity3D 的虚拟天文实验室交互式系统的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2022, 30(2): 11-15.
- [5] 张晓媛, 陈斌. 基于虚拟现实的沉浸式触觉交互技术在野外地质实习中的实现[J]. 现代电子技术, 2022, 45(14): 1-4.
- [6] 彭思元, 李晓晖, 袁峰, 彭辉, 孟繁荣, 陈守文, 丰效坤. 基于 Unity3D 的三维虚拟化构造产状测量系统研发[J]. 金属矿山, 2022, 51(9): 180-187.

附录

1. 地球概论知识点掌握程度与难度感知调查问卷

一、基本信息

问题	选项/说明
1. 您的专业	(请填写)
2. 您所在的年级	(请填写)

二、知识点掌握程度与难度感知

请根据您的掌握程度和难度感知, 对每个知识点进行 1~5 分的评分。

评分	掌握程度描述	难度感知描述
1 分	完全不懂	非常简单)
2 分	略懂皮毛	简单
3 分	基本掌握	适中
4 分	熟练掌握	困难
5 分	精通	非常困难

知识点	掌握程度(1~5 分)	难度感知(1~5 分)
1. 地理坐标	(请填写)	(请填写)
2. 天球坐标	(请填写)	(请填写)
3. 星等计算	(请填写)	(请填写)
4. 月相变化	(请填写)	(请填写)
5. 恒星日	(请填写)	(请填写)
6. 光行差	(请填写)	(请填写)
7. 年视差	(请填写)	(请填写)
8. 会合运动	(请填写)	(请填写)
9. 太阳高度	(请填写)	(请填写)
10. 历法	(请填写)	(请填写)
11. 时区	(请填写)	(请填写)
12. 日月食	(请填写)	(请填写)
13. 潮汐	(请填写)	(请填写)

三、困难原因与帮助需求

1. 学习困难原因及对应的知识点

- A. 需要较强的空间想象能力(如_____等)
- B. 理论复杂, 推导过程繁琐(如_____等)
- C. 内容过多, 难以记忆和整理(如_____等)
- D. 缺乏实践机会, 难以将理论与实际相结合(如_____等)

E. 其他(请具体说明): _____

2. 针对困难原因的帮助需求

根据您的选择, 请在相应的部分填写您希望如何得到帮助的具体建议。

若您选择了 A:

- 提供更多直观的图形、动画或模型辅助理解
 - 组织实地观测或模拟实验活动
 - 引入更多与生活实际相关的例子进行说明
 - 提供额外的练习或习题, 加强空间思维训练
- 其他建议(请说明): _____

若您选择了 B:

- 用通俗易懂的语言进行解释
 - 提供详细的推导过程和示例
 - 引入相关视频或动画辅助理解
 - 分解复杂理论, 逐步讲解
- 其他建议(请说明): _____

若您选择了 C:

- 提供清晰的思维导图或知识框架
 - 归纳总结关键点和易错点
 - 引入趣味性的记忆方法或口诀
 - 定期组织复习和巩固练习
- 其他建议(请说明): _____

若您选择了 D:

- 组织更多实践或实验活动
 - 提供与知识点相关的实际案例进行分析
 - 鼓励学生参与科研项目或实践活动
- 其他建议(请说明): _____

若您选择了 E:

请具体说明您遇到的困难及希望如何得到帮助: _____

四、其他建议

您对改进地球概论课程的教学方法和内容还有哪些具体的建议或意见?

请根据您的实际情况填写问卷, 并将您的反馈发送给我们。您的每一条建议都将对我们改进教学方法和提高教学质量具有重要参考价值。感谢您的支持与配合!

2. 问卷结果

问卷发放对象为学习过该门课程的班级, 问卷共发放 70 份, 回收 60 份, 有效 60 份。对问卷进行信度分析, 其克隆巴赫系数(Cronbach's alpha)平均值为 0.961, 表明问卷内容是可信的。

附表 1 中知识点掌握程度平均分表明天球坐标、会合运动、历法、月相变化等(掌握程度依次增高)为掌握程度较低的几个知识点, 难度感知平均分表明月相变化、星等计算、天球坐标、会合运动等(难度感知逐渐降低)为难度感知比较高的几个知识点。

Table A1. Average score of knowledge point mastery and perceived difficulty**附表 1.** 知识点掌握程度和难度感知平均分

知识点	掌握程度	难度感知
地理坐标	3.03	2.97
天球坐标	1.47	4.50
星等计算	1.67	4.57
月相变化	1.60	4.57
恒星日	2.95	2.98
光行差	3.15	2.88
年视差	3.07	2.88
会合运动	1.55	4.47
太阳高度	2.77	3.33
历法	1.58	4.43
时区	3.35	2.95
日月食	2.88	2.63
潮汐	2.98	3.18

从附表 2 可知, 学习苦难的主要原因在于部分知识点需要较强的空间想象能力, 且具有理论复杂, 推导过程繁琐的特点。

Table A2. Reasons for learning difficulties and number of people choosing corresponding knowledge points**附表 2.** 学习困难原因和对应知识点的选择人数

选项	知识点	选择人数
A. 需要较强的空间想象能力	天球坐标、月相变化、会合运动等	28
B. 理论复杂, 推导过程繁琐	星等计算、光行差、天球坐标、会合运动等	20
C. 内容过多, 难以记忆和整理	历法、时区等	7
D. 缺乏实践机会, 难以将理论与实际相结合	潮汐、日月食等	5

从附表 3 可知, 对于较难掌握的知识点, 更多被调研对象认为需要通过图形、动画、视频、模型等辅助理解。

Table A3. The number of people who choose the preferred teaching method for options A and B**附表 3.** 选择 A 和 B 选项的更偏好的教学方式的人数

选项 A	选择人数	选项 B	选择人数
提供更多直观的图形、动画或模型辅助理解	18	用通俗易懂的语言进行解释	2
组织实地观测或模拟实验活动	2	提供详细的推导过程和示例	2
引入更多与生活实际相关的例子进行说明	1	引入相关视频或动画辅助理解	10
提供额外的练习或习题, 加强空间思维训练	7	分解复杂理论, 逐步讲解	6