

12-13-2019

Intelligent Sandbox for Geography Teaching

Xianli Ji

1. Department of Computer Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;;

Yulong Ding

1. Department of Computer Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China; ;2. Academy for Advanced Interdisciplinary Studies, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China; ;3. Department of Mathematics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;

Shuanghua Yang

1. Department of Computer Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Intelligent Sandbox for Geography Teaching

Abstract

Abstract: An intelligent sandbox geography teaching demonstration system combining the augmented reality technology and related geographic knowledge is designed and implemented on the Unity3D platform. The system has functions of deep data processing, projection matrix transformation, terrain rendering, fluid simulation, physical characteristics, adding entities along the slope, changes in sunshine angle, gesture interaction, etc., which can *render virtual terrain and scene in real time according to the change of the sandbox*. Students can *interact with the system* in projection correction, adding entities, seasonal switching, weather effects, disaster simulation and other scenarios and learn knowledge points such as contour lines, terrain topography, and sunshine angle.

Keywords

augmented reality, sandbox, unity3D, geography teaching, Kinect

Recommended Citation

Ji Xianli, Ding Yulong, Yang Shuanghua. Intelligent Sandbox for Geography Teaching[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(12): 2816-2828.

智能沙盘地理教学演示系统

纪显俐¹, 丁宇龙^{1,2,3}, 杨双华¹(1. 南方科技大学计算机科学与工程系, 广东 深圳 518055; 2. 南方科技大学前沿与交叉科学研究院, 广东 深圳 518055;
3. 南方科技大学数学系, 广东 深圳 518055)

摘要: 在 Unity3D 平台上, 将增强现实技术和相关地理知识点相结合, 设计并实现一个智能沙盘地理教学演示系统。该系统具备深度数据处理、投影矩阵变换、地形渲染、流体模拟、物理特性、沿坡添加游戏对象、日照角变化、手势交互等功能, 能够根据实体沙盘的变化实时渲染虚拟地形和场景。学生在投影校正、添加游戏对象、季节切换、天气特效、灾害模拟等多个场景下与系统实现互动, 学习等高线、地形地势、日照角等知识点内容。

关键词: 增强现实技术; 沙盘; Unity3D; 地理教学; Kinect

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2019)12-2816-13

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0407

Intelligent Sandbox for Geography Teaching

Ji Xianli¹, Ding Yulong^{1,2,3}, Yang Shuanghua¹(1. Department of Computer Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;
2. Academy for Advanced Interdisciplinary Studies, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;
3. Department of Mathematics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China)

Abstract: An intelligent sandbox geography teaching demonstration system combining the augmented reality technology and related geographic knowledge is designed and implemented on the Unity3D platform. The system has functions of deep data processing, projection matrix transformation, terrain rendering, fluid simulation, physical characteristics, adding entities along the slope, changes in sunshine angle, gesture interaction, etc., which can *render virtual terrain and scene in real time according to the change of the sandbox*. Students can *interact with the system* in projection correction, adding entities, seasonal switching, weather effects, disaster simulation and other scenarios and learn knowledge points such as contour lines, terrain topography, and sunshine angle.

Keywords: augmented reality; sandbox; unity3D; geography teaching; Kinect

引言

教学教育活动的目的是让学生掌握科学知识的同时, 发展自身的综合素质。传统的大规模普

及性教学, 一般在外界干扰因素较少的课堂中进行^[1]。这种教学模式下, 环境相对简单, 但教师负担相对较重, 且较为单一的课程教学环境使授课形式受到了一定限制。对于研究性学习, 一般会采取开放式学习的方式。在这个过程中, 学生更多地是通过自我导向, 主动去搜集和理解知识, 在实践中产生自己的体会, 进而掌握技能。这种学习模式下, 可根据特定的教学内容设计沉浸感较高、课程内容表现力强而又稍微具备操作



收稿日期: 2019-05-16 修回日期: 2019-08-04;
基金项目: 国家自然科学基金(61873119);
作者简介: 纪显俐(1995-), 女, 广东, 硕士, 研究方向为增强现实技术; 丁宇龙(1983-), 男, 黑龙江, 博士, 研究助理教授, 研究方向为物联网、公共安全; 杨双华(1963-), 男, 湖北, 博士, 研究方向为物联网技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 2816 •

难度的教学场景。

网络科技时代, 为了提高教学效果与质量, 传统课堂教育已经开始与网络授课相结合, 移动学习也成为了一种新型的学习方式。网络授课主要用于非常规的教学环境, 学习环境不受地理限制。

增强现实技术将虚拟物体叠加在真实世界中, 用户能看到的是以真实世界为背景的场景。增强现实技术具有 3 个特点, 分别是: 真实虚拟的融合、与用户实时交互、在三维空间中精准注册^[2]。随着增强现实技术的发展, 该技术已在多个领域中有成熟应用。增强现实技术的特点和优势让其通过发挥潜力带动教育领域发展成为可能。

在日常学习生活中难以接触到的学习环境, 可以在增强现实技术构建的场景中实现, 通过构建沉浸式的学习环境, 吸引学习者的注意, 使其沉浸其中, 进而实现增强学习效果的目的。利用增强现实技术, 用户可以实时地从教学系统获得交互反馈, 并根据获得的反馈自主决定下一步交互, 学习过程变得更加主动, 更利于知识和反应之间的链接。

研究显示, 增强现实技术应用于教学活动中让学习者参与其中, 在提升其注意力和兴趣的基础上, 能提高学习者的学习动机, 同时促进其学习效果^[3]。

限于版面和篇幅, 针对一个内容点, 传统的纸质教材有时只能用少量图片呈现。而通过与增强现实技术的结合, 同一个版面的内容不再受到限制, 不仅拓展了以纸质为主的教材的展现方式, 也丰富了媒体演示教学的形式^[4]。增强现实技术与教学教育活动结合, 有助于直观地展示抽象的内容, 帮助学生构建完整的知识体系。通过这种方式, 同一知识点可通过不同角度和不同层次立体地阐述。增强现实技术与教学教育活动结合, 创造一个能与用户互动的学习情境。

地理课程中存在一些较为抽象的概念或原理, 传统的静态呈现的方式不能有效地帮助学生理解。如果利用增强现实技术自身的优势, 将平

面、静态的内容以立体、动态的形式展现, 将能够促进学生的学习兴趣, 帮助其更好地理解这些概念和知识。

地理学科注重培养学生动手操作的地理实践能力^[5]。用增强现实技术实现情境学习, 方便模拟真实的社会情境, 让学习者沉浸在学习活动当中。将教材中重要的地理实验和其它与教具、学具相关的内容汇总, 建立地理虚拟情境, 引导学生自主完成实验。增强现实技术与教学教育活动结合, 模拟地理情境和实验, 将显著革新教学模式。学生与在传统教学模式中不同, 化被动为主动, 更好地利用这个信息与知识的传送带。将增强现实技术与教学教育活动相结合, 可创造一种新的教学模式, 有助于提高教学质量。

本文基于增强现实技术, 利用 Unity3D 开发一款提高教学质量和增强课堂趣味性的智能沙盘教学演示系统, 期望通过该系统提高学生的课堂体验, 进而激发学习热情和兴趣, 提升教学质量, 达到开发学生的创造力和想象力的目的。地理学科的基本理论涵盖了从天文到地理的众多知识点。其知识范围广泛, 包括了气象、世界地图等的相关基础知识, 其中就包括山地、平原、丘陵、盆地和高原五大地形, 还有不同的气候及其对应特征。本文按照地理教学专业知识, 通过 Unity3D 引擎创建可视化场景。在学生初学上述知识时, 通过虚实结合的场景以生动形象的方式传授, 将带来显著的教学效果。

结合深度传感技术、三维重建技术、碰撞检测技术和数字图像处理等, 模拟天气、季节、灾害等演变过程。用户通过键盘和手势与系统产生交互, 融入到虚实融合的场景中。

传统地理课堂中教具往往需要提前准备, 可以划分出地理学习专用的教室, 改变传统课堂的模式, 让学生参与到开放式的课堂中, 辅以基于增强现实技术的教学演示系统, 提高教学质量。因此, 从知识点的范围和对教学设施的要求来看, 与增强现实技术融合后, 地理学科是一个能

够大幅度增强教学质量的学科。

本文设计实现的智能沙盘教学系统，主要用于地理学科的教学，结合正式学习和非正式学习，把学科知识和教学系统相融合。

1 系统关键技术

1.1 增强现实技术

增强现实技术中，用于视觉显示的方法可分为 3 种，分别是视频显示、光学透视和投影显示^[6]。

投影显示方法将增强现实场景覆盖投影到真实对象的表面。这种方法不需要佩戴眼镜或者手持显示器，允许多个用户同时观察增强现实场景。

投影显示需要接入输入设备，且由于投影画面亮度和对比度的限制，一般仅限于室内使用。另外，每当设备位置或投影仪到投影表面的距离发生改变时，需要进行校准操作。

1.2 深度传感技术

红外线深度传感器型号为第一代 Kinect 传感器，用于采集沙子表面距离传感器的距离^[7]。

将红外线深度传感器固定在实体沙盘正上方，调整摄像头使其正对着沙盘平面，垂直落点为沙盘平面的正中央。

从 Kinect 传感器获得的深度图存在噪声，经过噪声模型^[8]过滤后，数据将以一维数组的形式输出，再取特定高度范围内的数据作为有效数据。

1.3 三维重建技术

三维地形和三维游戏对象的形状一般较为复杂，使用三角片拼接模拟其表面，既能减少系统的运算工作量，又能减少所需存储空间^[9]。定义一个平面所需的点最少为 3 个，只要有足够多和足够小的三角片，即可拼接绘制出任何一种复杂表面。

可以通过导入 GIS 数据或通过脚本初始化或修改地形数据来修改地形^[10]。依据即将建立的地形模型的分辨率，把一维数组转换成二维数组。在转换数组维数的过程中，在确保二维高度图相

对比例不变的前提下，将数据进行数值压缩变换。通过脚本将二维高度数据设置到地形上，模拟出与实体沙盘高度数据对应的地形。

1.4 碰撞检测技术

流体运动过程中不可避免地会与其它物体产生接触与碰撞。给物体增加碰撞体组件和刚体组件的组合，可防止交互时虚拟物体间互相穿透的异常现象，同时，碰撞可以用于触发其他附加效果。

碰撞体组件加载至游戏对象上，即可实现对相关碰撞信息的响应和处理。目前，碰撞检测算法一般指实时性能相对较好的离散碰撞检测算法^[11]。

碰撞检测算法一般基于图形或图像检测。前者的原理是利用物体的几何特性，在三维空间中分析相交情况。后者则是分析物体的二维投影图像中的深度信息，支持编程处理。

基于图形的碰撞检测算法中，较成熟的有层次包围盒法和空间分割法^[12]。Unity3D 中的碰撞检测基于层次包围盒法。

层次包围盒方法的核心思想是，对于任意几何对象，都使用构造相对简单、体积略大于实际对象的长方体作为包围盒。触发器碰撞检测中，触发碰撞器可以指定碰撞区域，模型只要进入该区域就能触发碰撞，并不需要与场景中实际存在的模型进行接触。

检测碰撞时，实际上是在计算分析包围盒与环境的相交情况。通过构造树状层次结构可以越来越逼近对象的几何模型，直到几乎完全获得对象的几何特性。通过构建树形层次的包围盒，逐层逼近游戏对象的实际几何模型，其根节点包含游戏对象的所有几何特性。

Unity3D 可以检测两个物体之间的实际接触，也可以检测特定区域之间的碰撞，甚至通过使用光线投射进行预先碰撞检测，来满足场景中模型之间不同的交互方式。自带物理引擎可以满足基本的开发需求，只要给游戏对象添加碰撞体或刚体组件，便可以为其附加重力、弹力等物理

特性, 模拟出接近真实的受力过程。

开发者也可以不采用这套物理引擎, 自己用脚本编写物体之间的相互作用规则。

在灾害模拟中, 通过刚体碰撞检测来实现流体与物体之间的交互。

1.5 数字图像处理

从 Kinect 数据流转换得到的二维数组包含的是深度图像信息。对图像作膨胀和腐蚀处理, 实现边缘检测, 用于对用户手势的识别。对地形高度数据作高斯模糊处理, 以绘制更加平滑的等高线。

1.5.1 高斯模糊

图像的高斯模糊^[13]指的是, 对于任意一个像素点, 将其为中心的 9 个点的平均值作为其新的值, 对数据做平滑处理。

图像是连续的, 越靠近中心点的像素值与之关系越密切。如果使用算术平均, 中心点很容易失去细节, 这种计算方式不太合理。因此, 每个点对其周边像素的像素值计算平均数值时, 取加权平均更合理。

计算像素点平均值的时候, 将中心点为曲线的中点即最高点, 其他点按照与中心点的相对位置距离, 在正态分布曲线上分配对应权重, 计算出加权平均值, 将该平均值作为像素点的新值。

N 维空间正态分布方程为:

$$G(r, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}^N} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

在二维空间定义为:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

把所有的像素点都用这种加权平均值替代, 完成对图像的高斯模糊处理。计算平均值时, 用作计算平均值的像素点数量越多, 模糊效果越强烈。即模糊半径影响图像的模糊程度。

1.5.2 图像的膨胀与腐蚀

膨胀运算和腐蚀运算是数学形态学中的两种

基本运算^[14]。

图像的膨胀指, 利用卷积模板 B 对图像 A 进行膨胀处理。通过模板 B 与图像 A 进行卷积计算, 扫描图像 A 中的每一个像素点, 将模板 B 的元素与图像 A 的二值像素做“与”运算。其中, 模板 B 的形状可以为正方形或圆形。膨胀的公式定义: $A \oplus B = \{x | B_x \cap A \neq \emptyset\}$

图像的腐蚀指, 利用卷积模板 B 对图像 A 进行腐蚀处理, 通过模板 B 与图像 A 进行卷积计算, 扫描图像 A 中的每一个像素点, 得出模板 B 覆盖的区域中像素最小值, 用这个最小值来替代当前像素点的值。其中, 模板 B 的形状可以为正方形或圆形。腐蚀的公式定义: $A \ominus B = \{x | B_x \subseteq A\}$

1.6 人机交互技术

用户与虚拟物体之间的交互是实现增强现实技术中一个锦上添花的功能^[15]。人机交互可以以鼠标键盘等输入设备为接口, 也可以以人类的语音或手势为接口。

增强现实场景一般是三维立体的, 这种情境下的人机交互自然比二维平面的交互更加自然真实, 更有助于场景和功能融为一体的显示, 是大势所趋。

基于语音和手势的交互是增强现实环境交互的最自然的方式之一。用户能够通过物理工具操纵虚拟情境中的数字对象, 甚至可以直接手动操作^[16]。这种方式捕捉用户的生物信息作为输入, 使用户直观自然地与虚拟物体交互。

2 系统总体设计

2.1 设计目标

结合增强现实技术与专业地理知识, 开发一个地理教学辅助系统, 将二维平面的知识以三维立体的形式展现。

拓展知识的形式, 借助学生自身的创造力, 提升学生的学习兴趣。

2.2 软件开发工具

使用 Unity3D 引擎开发，软件版本为 2018.1.6f。

2.3 硬件系统设计

如图 1 所示，本文设计实现的智能沙盘教学系统，由红外线深度传感器、投影仪、实体沙盘、主机四部分组成。其中，红外线深度传感器型号为第一代 Kinect 传感器，用于采集沙子表面距离传感器的距离。



图 1 硬件设备搭建
Fig. 1 Hardware equipment construction

将红外线深度传感器固定在实体沙盘正上方，调整摄像头使其正对着沙盘平面，垂直落点为沙盘平面的正中央。

定制的沙盘与投影架相连，投影仪固定在投影架上。在实体沙盘正上方安装投影仪，放置高度与深度传感器相同。调整投影仪正对着沙盘平面。

投影仪与深度传感器处在一个水平面，但由于深度传感器正对着沙盘的正中央，投影仪的安装位置便不能选取在平面正中央的垂线上。

结合日常生活中的经验，投影仪一般放置在桌上，向正前方平面投射，最终设计将投影仪靠着沙盘的某一条边，即投影仪的底面与沙盘的边

在同一竖直平面上。

2.4 系统结构框图

系统流程图 2 如所示。

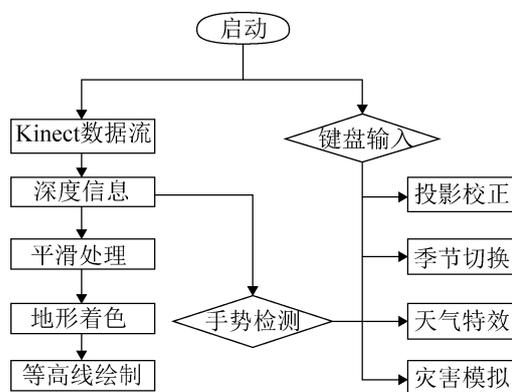


图 2 系统流程图
Fig. 2 System workflow chart

在系统启动时，监测并调用 Kinect 相关接口，每一帧重复获取 Kinect 捕捉到的深度数据，通过分析深度信息，区分手势和地形数据。

当检测到手势或键盘的功能键输入操作时，可分别触发 4 个场景：投影校正、季节切换、天气特效和灾害模拟。

对地形数据进行平滑处理，利用处理后的数据重建与实体地形相同的虚拟地形。

地形和场景将实时渲染在输出信息中，通过投影仪投射到实体沙盘的表面。

3 功能设计

利用 Unity3D 中的基础功能，结合脚本控制，设计一些基本功能，用于场景的实现。

功能包括投影矩阵变换、地形数据控制、游戏对象控制、计算作用点、流体模拟、火山口检测和手势检测，除用于实现本文中已完成的场景，还便于后续开发中设计实现更多场景。

3.1 投影矩阵变换

通过脚本调整相机控件的属性，可变换场景中实物到相机的角度，最终实现改变画面视角的

效果。

相机的投影视角由其投影矩阵决定, 当用键盘输入微调相机角度的相关指令时, 将投影矩阵作线性变换, 把得到的新的投影矩阵附加到相机上。

基础变换矩阵由 4 个部分组成:

$$\begin{bmatrix} M_{3 \times 3} & t_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix}$$

式中: $M_{3 \times 3}$ 矩阵用于旋转和缩放变换; $t_{1 \times 3}$ 矩阵用于平移变换。利用变换矩阵对投影矩阵作变换, 即改变相机的视角。

3.2 地形数据控制

3.2.1 地形背景替换

将背景替换为仿真的地形背景, 或利用 Unity Shader 控制贴图的材料, 渲染出视觉上更具真实感的地形。

3.2.2 高度图设置

从 Kinect 数据流中获取的深度数据是一维数组的形式, 根据地形的宽度、高度、分辨率, 将一维数组转换成二维数组。二维数组的坐标值在高度图中有一个唯一对应的值, 即三维地形图中像素点的高度值, 经过平滑处理后, 形成新的高度图。把高度图设置到地形的属性中。

3.2.3 渐变着色

HSV(Hue-Saturation-Value)色彩模型^[17]是一种颜色标准, 将 RGB 色彩模式下的点放置到圆柱坐标系中表示。三个维度分别指定颜色的色相、饱和度和明度。色相指的是基本颜色属性, 如红色、绿色等。饱和度是指颜色的纯度, 纯度越低的颜色表现为越接近灰色。明度指的是颜色的亮度。

色相在 $0 \sim 360^\circ$ 范围内分别代表从红色到橙、黄、绿、青、蓝、紫等颜色的渐变。将地形数据中的高度值与色相值对应起来, 计算出每个点在地形中的相对高度渲染上对应的 RGB 颜色, 刚好可以把地形由低到高呈现出从紫色

到红色的渐变。

从 HSV 模型转换到 RGB 模型的公式为:

$$h_i \equiv \left\lfloor \frac{h}{60} \right\rfloor (\text{mod } 6)$$

$$f = \frac{h}{60} - h_i$$

$$p = v \times (1 - s)$$

$$q = v \times (1 - f \times s)$$

$$t = v \times (1 - (1 - f) \times s)$$

对于每个颜色向量(r, g, b), 其值为:

$$(r, g, b) = \begin{cases} (v, t, p), & \text{if } h(i) = 0 \\ (q, v, p), & \text{if } h(i) = 1 \\ (p, v, t), & \text{if } h(i) = 2 \\ (p, q, v), & \text{if } h(i) = 3 \\ (t, p, v), & \text{if } h(i) = 4 \\ (v, p, q), & \text{if } h(i) = 5 \end{cases}$$

式中: h 为色相值, h 对 60 取余后得到 f ; v 为明度, 根据 h_i 的值, 分别将 v, t, p, q 值赋给(r, g, b)中 3 个元素, 得到转换后的 RGB 值。

沙盘中不同高度和深度的范围, 对应的颜色不同。地势由低到高分别定义为从蓝色到绿色进而到红色的渐变, 分别代表的是从海洋到绿地、高山等地形。把色相的取值范围作一个界定, 去除蓝色到紫色的部分。

3.2.4 等高线绘制

等高线是地形图中海拔相同的点的连线, 一般是闭合曲线。在识别整个地形高度数据的同时, 将地形图上高程相等的点用闭合曲线连接起来, 形成等高线。同一等高线的上的各点高度相同。

不同地形部位, 如山顶、山脊、山谷或鞍部等, 其形态各异, 表现为等高线的特点不同。

设定步长属性, 作为两条等高线之间的高程差。对于任意一个点, 如果其高度在每个步长的某邻域范围内, 则判定为等高线位置。将符合条件的像素点渲染为等高线的颜色, 整个地形渲染完成后, 这些点将能组成完整的等高线。

在实时改变沙子形状的过程中, 便可以通过观察比较不同地形部位的等高线, 辅助识别其特征。

3.3 游戏对象控制

对游戏对象的控制包括新建游戏对象、删除游戏对象以及对游戏对象的变换控制，是实现场景中各大功能的基础。

3.3.1 新建游戏对象

在项目文件夹中保存设计好的预制体，包括液体初态粒子系统、桥梁、房屋、小车等，初始化游戏对象的命令执行时，把预制体新建生成在计算好的三维坐标中。

3.3.2 删除游戏对象

对每种类型的游戏对象定义一个列表，用于存放场景中生成的游戏对象。每生成一个游戏对象后将代表该游戏对象的变换属性加入到列表中，当执行删除特定或删除所有的游戏对象的命令时，从列表中找到指定或所有游戏对象的信息，执行删除游戏对象的操作，并将该信息从列表中剔除。

3.3.3 游戏对象变换控制

游戏对象附加刚体、碰撞体等物理特性后，受到自带物理引擎的影响，模拟出重力、浮力或碰撞产生的作用力，使之位置、运动和形态能发生相应的变换。

除此之外，在没有作用力模拟的场景中，对于任一游戏对象，也可以利用脚本实现变换控制。如通过对相机投影矩阵的变换计算，调整相机的视角；通过对直射光的旋转中心和角度的定义，模拟光照变化效果；在游戏对象与流体接触的瞬间，在自定义的作用点添加自定义方向和大小的力，模拟冲击效果等。

3.4 计算作用点

控制游戏对象的功能实现中部分需要作用点的三维坐标作为输入，作用点分为 2 种类型：

- (1) 贴近地形上的点；
- (2) 地形正上方空间中的点。

对于地形上的点，在已知二维平面上的位置

的前提下，可以通过对地形高度图的计算，获取在地形三维空间中的作用点高度，进而得出三维坐标。

然而，硬件安装设计中，沙盘正上方是深度传感器，决定了投影仪的投影方向和沙盘的法线向量存在角度偏差。所以在实际计算作用点的过程中，对于由移动光标或手势决定的作用点，计算的三维坐标应是输出画面时，投影仪发射点和光标形成的射线与地形形成的交点位置，在 Unity3D 中，表现为相机焦点、光标和地形上的作用点三点成一线。

在某些场景下，调整相机矩阵后，移动光标与计算后投影出的作用点的位置可能会存在偏差。这种情况下，通过一边观察输出的画面，进一步校正相机焦点的位置，调整射线的角度，使投影画面中的作用点和光标重合。

对于地形正上方空间中的点，预设好高度值后，只需要计算出二维平面上的坐标值，即可输出三维坐标。

3.5 流体模拟

3.5.1 流体运动模拟

流体的运动可以看作是流体内部的许多流体粒子之间的相互作用造成的运动。以大量流体粒子的流动模拟出流体的整体趋势和形态。

与建立多个粒子类型的游戏对象相比，使用粒子系统模拟出粒子效果可以降低系统的负荷。

粒子系统的发射方向、粒子数量、发射速度等都可事先在预制体中设定，或在后期通过脚本改变。在脚本中实时改变发射系统的大小和最大发射粒子数，可控制当次流体模拟的规模大小。

3.5.2 流体形状模拟

离散的流体粒子能大致模拟运动形态，但即使用大量的粒子，模拟出的流体效果中仍存在许多间隙，不能完全贴合作为流体的世界效果。

为解决颗粒化问题，新建一个辅助相机，利用 Unity3D 中相机自带的 Target texture 属性，把颗

粒化的画面传送给贴图对象, 使该画面对主相机不可见。

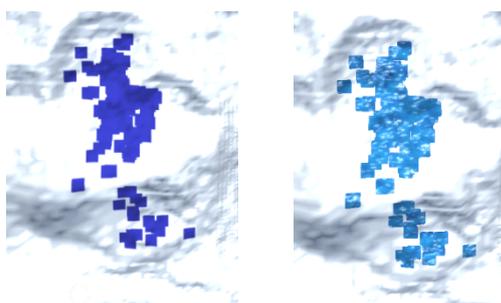
由辅助相机产生的贴图对象, 其纹理由相机看到的内容控制。将贴图对象经过高斯模糊, 使内部和边缘都产生模糊效果, 模拟出成片的流体效果。

3.5.3 流体贴图模拟

如图 3 所示, 离散粒子经过高斯处理后, 贴图纹理呈现成片流体的效果。根据像素点的位置和颜色, 在有粒子经过的像素点上, 附加随时间的变化而滚动的流体贴图。

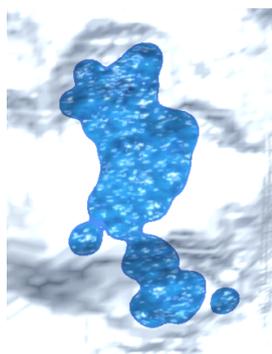
设定纵横两个方向上分别与时间的正弦值和余弦值相关的两个参数, 控制材料上应用贴图的像素位置, 可以制造出流体表面左右漂移的视觉效果。

再结合贴图颗粒, 制造出受风力和运动影响产生的波浪效果。



(a) 粒子系统模拟

(b) 粒子重新着色



(c) 粒子经过高斯模糊和重新着色

图 3 流体模拟

Fig. 3 Fluid simulation

经过上述处理后的处理后的纹理发送到一个新的贴图, 附加到地形上, 制造出符合物理特性

的流体效果。

3.6 火山口检测

火山顶部发生岩浆喷发时, 岩浆从山顶的一个洞口喷涌而出。火山口的地形特征表现为山峰顶部的一个低洼洞口。

分析地形数据, 找出海拔高于一定值, 且处在山顶凹陷处的点, 符合上述特征的即可判定为火山口。将其设定为火山喷发的洞口, 定时模拟火山喷发。

火山口是处在山顶的正中央, 比周围的点都要低的点, 是曲面上的一个极小值点。极小值点的偏导数等于零, 法线方向为正上方。取地形中法线方向指向正上方的点, 由于极大值点的法线方向同样为竖直向上, 根据曲面上极大值与极小值的特征的不同, 进一步区分这两种点。

如图 4 所示为地形中一个点 G_{ij} 的周围 8 个点, n 为两点之间的平面距离。

H_{ij} 为网格点 G_{ij} 处的高程值, 当网格中 G_{ij} 周围 8 个点的高程值都大于 H_{ij} 时, 则可判断 G_{ij} 为一个低洼点。

G_{i-nj+n}	G_{i+nj}	G_{i+nj+n}
G_{ij-n}	G_{ij}	G_{ij+n}
G_{i-nj-n}	G_{i-nj}	G_{i+nj-n}

图 4 邻域栅格

Fig. 4 Neighborhood grid

由于地形图精度较大, 相邻两点的高程值可能总不相同。即使在平地上, 也可能检测到邻域栅格中周围 8 个点的值都小于中间点的高程值的情况。因此, 设定一个阈值 h , 当两点的差距大于该值时, 才判定为一点低于另一点。

如果 h 值选择过小, 地图中的斜坡甚至地上的轻微凹陷就可能被检测为火山口, 即火山口应该足够深。如果 h 值选择过大, 通过改变地形

制造火山口的难度就会加大。

另外，邻域栅格中两点间的距离 n 的大小可能影响对地形数据的判断。 n 的大小决定了检测到的火山口的宽度。如果 n 值选择过小，检测到的火山口可能只是一个很小的洼地。如果 n 值选择过大，可能把略过当前山峰，在邻域较大范围内检测到满足下式的邻域点后，判断出错误的火山口。

山谷中的极小值具备 2 个特点：一是其高度值比周围点小；二是其高度值与山坡上某一个环形圈的高度值相同。

如图 5 所示，纵向取一个火山截面，对于火山口 A ，在山坡上总能找到另外两个点 B 和 C 的高度值与其相同。

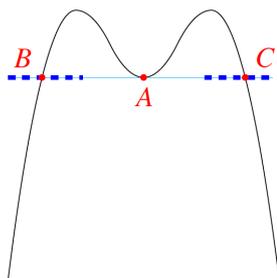


图 5 火山口特征示意图
Fig. 5 Crater features

结合前述邻域法，在一个点周围的八个方向上发送射线，检测一定长度范围内是否有山坡上的交点，若八个方向上的线段范围内都能找到交点，则判定该点为火山口。

需要注意的是，火山口处的点可能处在一个相对平缓的局部平面上，即周围不止有一个点，满足法线向上的条件。将射线的检测范围的起点设定为离 A 点有一定距离的点，防止检测到其较小邻域范围存在的点，将其误认为山坡点。

3.7 手势检测

当用户在沙盘上方展示张开的五指等手势时，从 Kinect 数据流获取到的高度信息中，可以识别到某一块区域高度明显较大。通过提取识别

该区域的形状特征，判定手势类型，进而触发对应场景。

对手势高度数据分别作图像的膨胀和腐蚀处理，得到手型区域。计算手型的中心位置，计算作用点，得到触发功能的三维坐标位置。

4 系统实现

4.1 场景实现

根据 HSV 模型到 RGB 模型的色彩转换规则编写 Shader，从低到高的位置依次附加从蓝色渐变到红色的颜色，渲染从湖底到山峰的地形。在此基础上，在 Shader 中添加绘制等高线的算法。渲染出来的基本场景如图 6 所示。

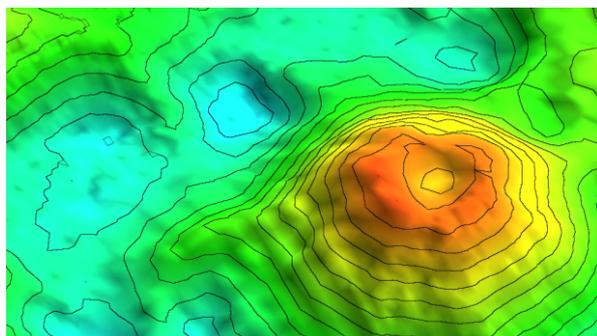


图 6 地形渲染
Fig. 6 Terrain rendering

除此之外，使用手势或键盘输入交互可触发另外 4 个场景，分别是投影校正、季节切换、天气特效和灾害模拟。

4.1.1 投影校正

投影校正一般用于安装整套仪器的过程，除了手动调整投影仪和传感器的位置，还需要调整投影到沙盘上的画面的视角。

从透视相机中获得的图像再投影到平面上，就和绘画效果一样，呈现近大远小的图像效果，这个效果更加符合人眼看真实世界的习惯。

安装投影仪后，投影仪投出的图像的中心与实体沙盘平面的中心的连线不是竖直的。所以，应该调整投影出的影像角度，使之透过投影仪投

影到沙盘表面时, 呈现与投影角度相同的视角和画面。

在该场景中, 使用投影矩阵变换的功能, 将相机的投影矩阵与微调后的新矩阵合并计算得到新的相机视角。或者改变相机镜头的位置, 相机视角和位置的变换都将影响投影效果。

从投出来的屏幕信息上可看到当前相机的视场和尺寸大小等参数。调整到合适的视角后, 将这些参数写入项目中, 之后重新启动时将维持该视角。

4.1.2 季节切换

地球自转轴与公转轨道平面之间存在一个夹角, 这就带来了季节的更迭。在同一时间, 由于不同地区的日照面积不同, 冷空气的增加或减少带来了季节变换。如表 1 所示为南北半球在不同季节所对应的月份。

表 1 南北半球季节与月份对应关系

Tab. 1 Correspondence between season and month in the northern and southern hemisphere

纬度位置	春季月 份/月	夏季月 份/月	秋季月 份/月	冬季月 份/月
北半球	3-5	6-8	9-11	12-2
南半球	9-11	12-2	3-5	6-8

在季节切换场景下, 根据二十四节气中太阳日照角的变换规律, 使用地形背景替换和对直射光游戏对象的控制变换功能, 渲染对应季节的纹理和对应气候的光照情况。在当前场景下, 可依据用户选择, 保留或隐藏等高线渲染的功能。

在场景中调整光源的位置和角度到合适的位置作为初始位置, 此时光源与平面形成一定夹角, 与沙盘最低平面的交点将作为光源围绕旋转的中心点。光源的位置在初始位置默认在偏北的位置由东向西发生变化, 随着时间的改变, 光源绕着中心点发生一定距离的旋转。

随着日照角的改变, 获取日照角当前的转变方向和位置, 根据对应的季节切换地形贴图。根据角度变化的步长大小和变化速度的不同, 可让场景呈现连续或离散的视觉变换效果。

光源只在沙盘的上方发生改变, 即日照角变化过程中只展示白天的日照模拟, 所以当光源即将低于沙盘最低平面时, 调转光源的旋转方向, 改为由西向东旋转。

将直射光对象属性设置为 **Baked**, 表示仅仅用于烘焙, 烘焙完之后, 可以取消灯光。改变光照的变换角度后, 需要重新启动光照组件, 引擎重新计算光线后, 烘焙渲染场景中的光线效果, 以此呈现日照角发生变化的效果。

不同的季节对应的场景差异在于: 阳光直射角的变化; 地形植被的外貌, 此处表现为地形模型的贴图样式的不同; 地形中虚拟物体的外观, 此处以树叶颜色为代表。

4.1.3 天气特效

使用流体模拟功能, 模拟下雨、下雪等天气效果。模拟出的流体粒子与场景中的其它游戏对象将产生相互作用, 利用脚本控制流体粒子在发生碰撞的情况下对其它游戏对象的作用力效果。

对于下雨天气场景的模拟, 其粒子系统选用方盒发射体, 在初始化时从方盒的中心向下发射流体粒子。

4.1.4 灾害模拟

当雨水达到一定规模时, 转换为泥石流, 流体粒子对场景中的游戏对象的破坏力达到峰值。流体粒子与游戏对象接触的一瞬间, 触发游戏对象的删除操作, 同时新建被摧毁后组件被冲散的游戏对象。每个子组件再分别与流体粒子产生冲击力作用, 呈现出整体在洪流中被冲散的视觉效果。

在火山口检测的功能被触发时, 新建能产生岩浆的粒子系统用作模拟火山喷发的过程。该发射系统选用底面朝上的锥形发射体, 以火山口为发射点, 在初始化时向正上方发射, 粒子从锥体中发散开后顺势落下, 产生岩浆从火山口喷发后顺着山坡滑下的视觉效果。岩浆粒子与场景中的其它游戏对象接触同样会产生冲散和破坏效果。

4.2 交互操作设计与实现

4.2.1 事件响应机制

响应事件包括计算作用点，新建或删除游戏对象，游戏对象的控制变换，地形数据操纵等。

4.2.2 交互界面设计

投射到沙盘表面的软件界面以仿真地形为背景，界面中的提示信息包括引导窗格和文字提示信息。

在系统启动时和切换到投影模式时，将分别出现 2 个引导界面。也可用 U 键在相应模式下显示或隐藏该引导界面。

文字提示信息在初始状态下是隐藏的，只有在出现参数调整变化时会弹出显示变化后的参数，如投影矩阵、雨势大小等。

4.2.3 实体键盘按键交互

功能键切换出投影校正、添加游戏对象、季节切换、天气特效和灾害模拟等场景，触发增加邮箱对象、制造流体、切换地形背景、变换投影矩阵和改变日照角等功能。

切换场景后，设定场景状态标志，部分按键的功能随之切换。另外，设定功能键用于开启或关闭火山口检测功能。

4.2.4 手势交互

表 2 为手势动作对应的含义。当检测到用户张开五指覆盖在沙盘上方的手势时，实时根据手掌心的位置计算地形上的作用点位置，在相应的作用点位置触发场景特效。当检测到用户比出胜利手势时，切换季节场景。当检测到用户握拳手势时，停止下雨。

表 2 手势功能定义

Tab. 2 Gesture function definition

手势编号	手势动作	手势含义	图像
G1	五指	定点下雨	
G2	食指+中指	切换季节	
G3	握拳	停止下雨	

5 系统运行结果

本文使用微软第一代的 Kinect 体感设备，计算机配置了 16G 内存、64 位 Windows 操作系统、英伟达 GeForce GTX 1080 Ti 显卡。

实验效果如图 7~9 所示。

图 7 为季节切换场景，随着日照角的变化，地形上的贴图和光照效果会发生变化。



图 7 季节切换场景
Fig. 7 Season switching scene

图 8 为局部雨水转换为泥石流后的灾害模拟效果，坡面上的房屋被洪水撞击，沿着水流方向冲散到各个角落。

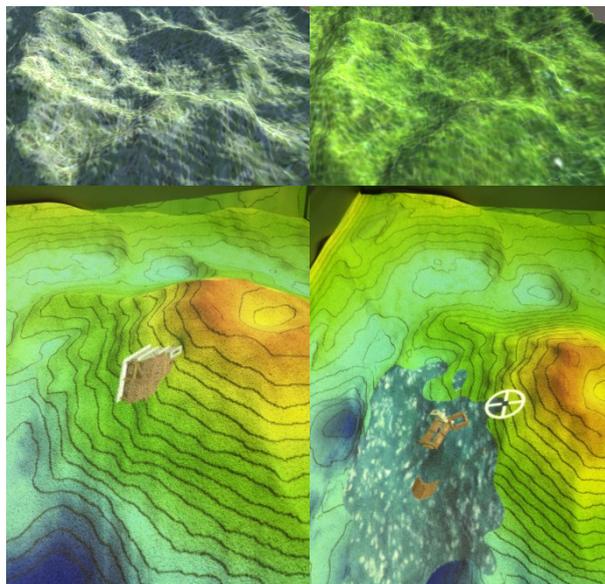


图 8 洪水冲击房屋前后对比
Fig. 8 The house before and after flood impacting

图 9 为开启火山口检测功能后，系统检测到火山口，模拟出火山喷发时的岩浆外流效果。

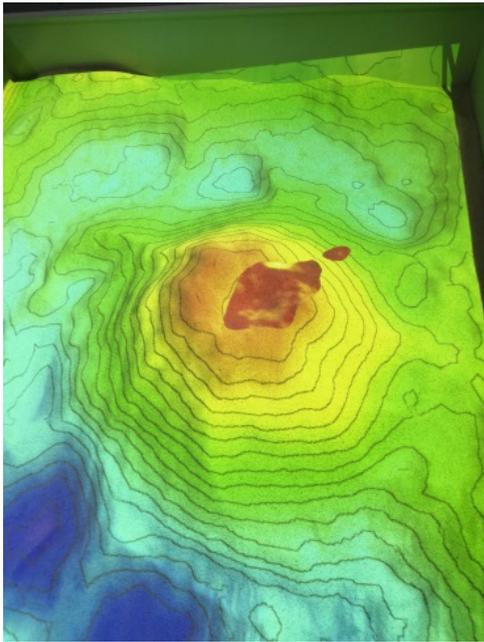


图 9 岩浆喷发
Fig. 9 Magma eruption

6 结论

本文分析了地理学科教学场景的交互需求, 从传统课堂教学的缺陷与不足出发, 与增强现实技术结合, 设计并实现了地理教学沙盘演示系统, 方便用户在与实体沙盘的自然交互中, 提升学习兴趣, 进而提高地理学科的教学质量。

系统开发过程中, 运用了增强现实、深度传感、三维重建、碰撞检测、数字图像处理和人机交互等关键技术, 选择了 Unity3D 作为开发引擎。实现了投影矩阵变换、地形数据控制、游戏对象控制、作用点计算、流体模拟、火山口检测和手势检测等功能, 在此基础上开发实现了地形基本渲染、投影校正、季节切换、天气特效和灾害模拟的应用场景。

下一步工作将重点围绕沉浸性提升、渲染质量提升、交互效果完善等方面展开。

在流体模拟方面, 结合光滑粒子流体动力学, 利用该理论实现更加逼真的流体运动模拟。

在交互方面进一步完善手势检测算法, 提高手势交互的准确性和用户体验, 增加可识别的手势种类和功能。

在界面方面, 将开发多客户端显示和操作的功能, 实现在平板等移动设备上看到沙盘上的影像的功能。

在屏幕投影方面, 将结合异形投影技术, 尝试解决较大影像投到不平整沙面上产生的变形问题。

参考文献:

- [1] 魏小东. 面向教育应用的增强现实系统关键问题研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
Wei Xiaodong. Study on Key Problems of Augmented Reality System for Education[D]. Beijing: School of Science and Technology, 2015.
- [2] Azuma R T. A Survey of Augmented Reality[J]. Presence: Teleoperators & Virtual Environments (S1054-7460), 1997, 6(4): 355-385.
- [3] 许梦幻, 李小平. 正式教育中增强现实应用现状研究[J]. 中国教育信息化, 2018(4): 72-79, 85.
Xu Menghuan, Li Xiaoping. Research on the Application of Augmented Reality in Formal Education[J]. The Chinese Journal of ICT in Education, 2018(4): 72-79, 85.
- [4] 全希. 增强现实技术(AR)在地理教学中的应用探究——以中图版“多民族的国家”为例[J]. 地理教育, 2016(12): 55-56.
Quan Xi. Research on the Application of Augmented Reality (AR) in Geography Teaching Based the “Multi-ethnic Country” published by ZTDL[J]. Education of Geography, 2016(12): 55-56.
- [5] 陈实. 我国中学生现代地理实践素养培养研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2014.
Chen Shi. Study on Culturing Modern Geographic Practice Literary in Chinese High School[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2014.
- [6] Van K. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations[J]. International Journal of Virtual Reality (S1081-1451), 2010, 9: 1-20.
- [7] Zhang Z. Microsoft kinect sensor and its effect[J]. IEEE multimedia (S1070-986X), 2012, 19(2): 4-10.
- [8] Nguyen C V, Izadi S, Lovell D. Modeling kinect sensor noise for improved 3d reconstruction and tracking[C]// 2012 second international conference on 3D imaging, modeling, processing, visualization & transmission. Piscataway, NJ: IEEE, 2012: 524-530.
- [9] Steinbrücker F, Sturm J, Cremers D. Volumetric 3D mapping in real-time on a CPU[C]// 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Piscataway, NJ: IEEE, 2014: 2021-2028.

- [10] Mat R C, Shariff A R M, Zulkifli A N, et al. Using game engine for 3D terrain visualisation of GIS data: A review[C]// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Kuala Lumpur, Malaysia: IOP Publishing, 2014, 20(1): 012037.
- [11] Redon S, Lin M C, Manocha D, et al. Fast continuous collision detection for articulated models[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering (S1944-7078), 2005, 5(2): 126-137.
- [12] 沈学利, 吴琼. 基于包围盒和空间分割的混合碰撞检测算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(6): 256-258.
Shen Xueli, Wu Qiong. Hybrid Collision Detection Algorithm Based on Bounding Box and Spatial Decomposition[J]. Computer Engineering, 2012, 38(6): 256-258.
- [13] 丁怡心, 廖勇毅. 高斯模糊算法优化及实现[J]. 现代计算机(专业版), 2010(8): 76-77, 100.
Ding Yixin, Liao Yongyi. Optimization and Implementation of Gaussian Blur Algorithm[J]. Modern Computer, 2010(8): 76-77, 100.
- [14] Haralick R M, Sternberg S R, Zhuang X. Image analysis using mathematical morphology[J]. IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S1939-3539), 1987(4): 532-550.
- [15] Zhou F, Duh H B L, Billinghurst M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR[C]// Proceedings of the 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality. Cambridge, UK: IEEE Computer Society, 2008: 193-202.
- [16] Shen Y, Ong S K, Nee A Y C. Vision-based hand interaction in augmented reality environment[J]. Intl. Journal of Human-Computer Interaction (S1044-7318), 2011, 27(6): 523-544.
- [17] Chernov V, Alander J, Bochko V. Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces[J]. Computers & Electrical Engineering (S0045-7906), 2015(46): 328-337.
- [18] 冯乐乐. Unity Shader 入门精要[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
Feng Lele. Unity Shader Getting Started Essentials[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunication Press, 2016.