

6-16-2022

Multi-person Interactive Globe System Based on AR Technology

Yiling Sun

1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; sunyilingjiayou@126.com

Yi Chen

1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; chenyi@th.btbu.edu.cn

Guihua Shan

2. Computer Network Information Center, Beijing, Chinese academy of sciences, Beijing 100190, China;

Xiaoxing Li

2. Computer Network Information Center, Beijing, Chinese academy of sciences, Beijing 100190, 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.

Multi-person Interactive Globe System Based on AR Technology

Abstract

Abstract: The characteristic of multi-source, high-dimensional, time-varying and massive of the Earth big data is difficult to be understood and analyzed. Aiming at this problem and for the science popularization needs, an AR-based multi-person interactive globe system is proposed and implemented. *A system architecture integrating AR technology is proposed to realize the seamless overlay combination effect of the virtual information and the physical globe. A data visualization display scheme is designed to realize the visualization of the Earth big data in three-dimensional space. A lightweight multi-person multi-terminal collaboration mechanism is proposed to improve the practicality and interestingness of the system.* The system provides a new way to explore the mysteries of the Earth and to educate the public about science, to understand the Earth from multiple perspectives, and to interpret the Earth big data.

Keywords

augmented reality, data visualization, multi-terminal cooperation, Earth big data, popularization of science

Recommended Citation

Yiling Sun, Yi Chen, Guihua Shan, Xiaoxing Li. Multi-person Interactive Globe System Based on AR Technology[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(6): 1367-1374.

基于AR技术的多人互动地球仪系统

孙一铃¹, 陈谊^{1*}, 单桂华², 李晓兴²

(1. 北京工商大学 食品安全大数据技术北京市重点实验室, 北京 100048; 2. 中国科学院 计算机网络信息中心, 北京 100190)

摘要: 为解决地球大数据因具有多源、高维、时变和海量等特征而难于理解和分析的问题, 提出一个基于AR的多人互动地球仪系统。融合AR技术的系统架构, 实现虚拟信息与实物地球仪无缝叠加的虚实结合效果; 设计了数据可视化展示方案, 实现对地球大数据在三维立体空间中的可视化展示; 提出了一种轻量级的多人多终端协同机制, 提高系统的实用性和趣味性。该系统不仅为探索地球奥秘提供了新手段, 也为向公众进行科普教育、从多个角度认识地球、解读地球大数据提供了新方式。

关键词: 增强现实; 数据可视化; 多终端协同; 地球大数据; 科普

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X(2022)06-1367-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0960

Multi-person Interactive Globe System Based on AR Technology

Sun Yiling¹, Chen Yi^{1*}, Shan Guihua², Li Xiaoxing²

(1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Computer Network Information Center, Beijing, Chinese academy of sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The characteristic of multi-source, high-dimensional, time-varying and massive of the Earth big data is difficult to be understood and analyzed. Aiming at this problem and for the science popularization needs, an AR-based multi-person interactive globe system is proposed and implemented. A system architecture integrating AR technology is proposed to realize the seamless overlay combination effect of the virtual information and the physical globe. A data visualization display scheme is designed to realize the visualization of the Earth big data in three-dimensional space. A lightweight multi-person multi-terminal collaboration mechanism is proposed to improve the practicality and interestingness of the system. The system provides a new way to explore the mysteries of the Earth and to educate the public about science, to understand the Earth from multiple perspectives, and to interpret the Earth big data.

Keywords: augmented reality; data visualization; multi-terminal cooperation; Earth big data; popularization of science

引言

地球大数据正成为地球科学中一个新的研究热点和前沿领域, 为人类认识地球提供了丰富的

信息资源。然而, 地球大数据具有规模大、来源广、形式多、维度高等特点^[1], 给数据挖掘和展示带来了极大挑战。此外, 在科普教育领域, 如何将地球大数据生动形象地展示给公众, 让数据

收稿日期: 2020-12-03

修回日期: 2021-02-02

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61972010); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA19000000); 国家重点研发计划(2018YFC1603602)

第一作者: 孙一铃(1996-), 女, 满族, 硕士生, 研究方向为信息可视化与机器学习。E-mail: sunyilingjiayou@126.com

通讯作者: 陈谊(1963-), 女, 博士, 教授, 研究方向为信息可视化与可视分析。E-mail: chenyi@th.btbu.edu.cn

“活起来”、“动起来”也是一个很难解决的问题。

增强现实技术的快速发展和广泛应用，为解决科普教育难题提供了新方案^[2]。AR 技术可以通过摄像显示设备将虚拟信息叠加到真实场景中，给人超现实的视觉体验。通过 AR 技术将科学知识简化并趣味性展示，可以提高学习兴趣、增强理解程度、改善学习效果^[3-4]。然而 AR 技术在科普领域的应用还不够成熟，方式较单一，使用较多的是以图片为识别目标，在其上叠加动画模型这种简单的方式，如立体图书、智能地图等。对地球大数据的科普展示方式大多是实物地球仪、视频、动画模型等，交互较少，信息展示的深度和广度都存在局限性。

在人类逐步进入泛在网络时代的背景下，智能终端能够通过各种方式进行互联，实现多终端之间的协作，动态地适应用户需求和网络环境变化，达到资源最大化^[5]。多终端协同技术可以结合不同终端的优势，为用户提供更加优质便捷的业务^[6]。现有的多种多终端协同方案多集中在定义、特点和应用场景的拓展方面，具体实现方法较少，且大多规模庞大，不适于简单应用开发。

针对上述问题，本文提出一个基于 AR 的多人互动地球仪系统。该系统将 AR 技术与可视化技术结合，根据不同种类地球数据特征，设计新型的 3D 可视化展示方案，在三维立体空间中对地球大数据进行全方位展示，丰富用户体验，提高趣味性。为了突破终端种类限制，丰富交互方式，还提出了一种轻量级的多人多终端的协同机制，保证协同效果的同时还具有应用简单的特点。

1 系统架构

本系统采用客户端/服务器架构，由交互、数据通信、可视化算法、可视化场景、增强现实和多人多终端协同服务 6 个模块组成，如图 1 所示。

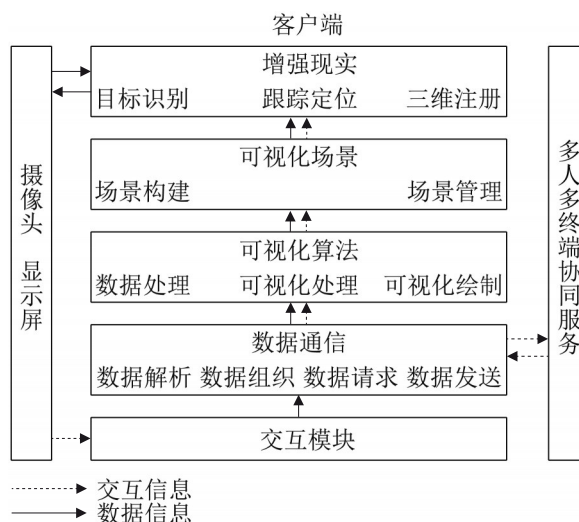


图 1 系统架构图
Fig. 1 System architecture

交互模块接收来自显示屏的用户操作信息，如点击、滑动、拖动等，根据解析规则将其转换为交互信息，发送给数据通信模块，同时根据交互信息来控制系统内的数据传输，进而控制系统功能的切换。

数据通信模块作为关键的数据处理和通信模块，通过数据解析、数据组织、数据请求、数据发送这 4 个子模块的协调调度。一方面实现客户端各模块之间、客户端与服务器之间的数据传输，根据交互信息筛选、提取存储在本地或者从网上实时获取的数据，进行数据解析与数据组织，与处理后的交互信息一起发送给可视化算法模块；另一方面，数据通信模块与协同服务模块进行交互信息的交换，实现与其他系统间的信息交互。它作为系统的“关键枢纽”保障系统功能正常运行。

可视化算法模块接收数据通信模块提供的数据和交互信息，对数据进行初步处理，随后通过点绘制、面绘制等基础可视化算法对数据进行可视化处理，将处理结果与交互信息一起发送给可视化场景模块。

可视化场景模块根据交互信息，识别相应命令，接收可视化算法模块处理后的数据，对一带

一路、海洋温度、洋流等场景, 构建动态场景元素进行可视化, 与交互信息一起发送给增强现实模块。

增强现实模块集成了AR技术的关键部分, 包括目标识别、跟踪定位和三维注册。该模块与摄像头结合, 在系统运行期间采用基于视觉的跟踪定位技术, 识别目标和实时定位。在接收到可视化场景模块发来的虚拟场景素材后, 根据交互信息传达的命令, 运用三维注册技术与现实场景进行虚实叠加, 最终呈现在外部设备的显示屏上, 实现增强现实的效果。

多人多终端协同服务模块, 一方面扮演数据服务器的角色, 根据数据通信模块传来的交互信息传回相应数据; 另一方面作为实现多人多终端协同机制的关键模块, 接收交互信息, 对其进行解析并根据需求向其他终端系统和本系统其他模块发送交互信息, 做到能够与同一局域网中的其他AR地球仪系统保持操作状态的一致, 达到协同的效果。

2 基于AR技术的虚实融合

AR技术能够将用户和三维环境连接起来, 具备虚实结合、实时交互、三维配准等特性, 为可视化方案的设计带来新思路。本系统的AR功能在增强现实模块中实现。

本系统中的显示设备可以是具有内置摄像头的手机或平板电脑。用户通过显示设备的摄像头拍摄地球仪, 系统的增强现实模块根据摄像头捕获的视频流识别出目标物体, 根据用户的交互指令生成对应功能模块的虚拟场景, 然后通过三维注册技术根据真实场景确定虚拟场景与摄像机位置和方向关系, 应用图像渲染技术将虚拟场景映射到真实场景中, 即在真实的地球仪模型之上叠加本系统生成的虚拟场景, 比如一带一路路线、动物动画模型等, 实现虚实融合、增强现实的效果。比起普通地球仪, 增强后的地球仪能够展示

更多信息, 承载更多的功能^[7]。

本文通过Unity开发引擎和Vuforia AR SDK结合的方式实现虚拟场景与真实地球仪的虚实融合。首先需要提供识别模型一直径25 cm地球仪模型, 使用Vuforia官方工具Vuforia Object Scanner扫描地球仪模型, 输出对象数据文件(*.OD), 它包含了在Target Manager中定义一个对象所需要的源数据。系统采用了3D Object识别技术, 其核心是基于计算机视觉的图像识别技术。为了提高目标特征的识别效率, 本系统选择了表面图案清晰、对比度较高、特征图案较多的地球仪模型进行扫描建模。并将其上传Vuforia平台数据库, 然后导入Unity进行绑定。

实现AR效果还需要进行各种坐标之间的转换, 在展示具有空间特性数据时, 需要将其位置的经纬度坐标转换为世界坐标。如图2所示, 转换后的世界坐标作为Unity平台程序的输入数据, 然后借助平台转换为可以显示在屏幕上的二维坐标。

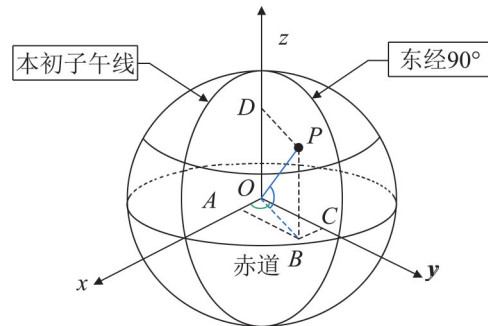


图2 地球世界坐标系
Fig. 2 Earth world coordinate system

P 点为目标点, $\angle POB$ 是纬度, $\angle AOB$ 是经度, OP 是半径。由此可知点 P 的世界坐标为

$$z = OD = OP \sin \angle POB$$

$$OB = OP \cos \angle POB$$

$$x = OA = OB \cos \angle AOB$$

$$y = OC = OB \sin \angle AOB$$

3 地球数据可视化方案设计

可视化技术是借助计算机图形学和图像处理

技术,将数据转化成图形或图像在屏幕上显示出来,并提供人与机器交互方式的技术^[8]。在这个数据爆炸的时代中,利用可视化技术,可以通过更为直观的视觉呈现,观察到复杂数据内在属性、蕴涵特性^[9-10]。

本文综合可视化技术和AR技术的优势,设计了特色可视化方案。对于种类繁多的地球数据,在预处理和梳理数据特征后,根据数据特征设计了2种可视化方案:

(1) 2D可视化方案:传统2D平面可视化方式与新型AR可视化方式结合的方案。

针对空气质量数据,数据形式为每个城市对应空气质量指数(AQI),和主要污染物PM₁₀、PM_{2.5}、CO等信息。数据特征为一个城市实体对应多个特征信息,既有宏观特征值,也有微观私有的特征值。针对这种类型的数据,从2种角度对其进行展示。

宏观角度,即所有城市总AQI排名。如图3(c)所示,用条形图来展示所有城市的宏观特征值AQI,并进行排名,用户可以自行切换查看正序或倒序前10。利用条形图清晰直观地展示排名情况,同时还可以简单展示当前整体空气质量情况。

微观角度,即每个城市独有的主要污染物信息和AQI。对于主要污染物PM₁₀、PM_{2.5}等数据信息,如图3(a)所示,本系统采用雷达图进行展示。作为一种多维对比可视化方法,雷达图分析法比起其他可视化方法来说,善于处理少量方案在多维指标下的比较,能够更加直观地看到多个指标或属性值的对比,更加便于对评价对象做出整体评估^[11]。如图3(b)所示,用仪表盘来对AQI进行强调展示,指针根据相应指数动态旋转至具体区间,这种可视化方法能够很直观地展示当前城市的空气质量,且具有较强的趣味性、动态性。

(2) 立体可视化方案:在三维立体空间内对数据进行全方位展示的AR立体可视化方案。

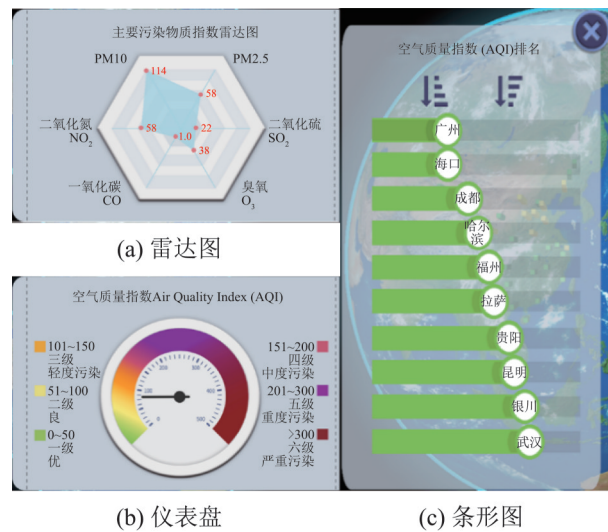


图3 空气质量模块平面展示图

Fig. 3 Air quality module plane display

针对多维数据,特别是包含时空属性的数据,立体可视化方案能够有更好的展示效果。需要提前处理数据,借助上文所述坐标转换方法将经纬度转换为世界坐标。

1) 空气质量数据,添加了城市经纬度坐标信息。

在AR技术的帮助下,采用“立体柱状图”的方式,展示31个城市的空气质量数据(中国大陆数据,港澳台没有相关数据)。每一个城市的数据用一个柱体展示,通过高度和颜色表示当前城市的AQI,柱体分布在地球仪上对应城市的位置,立体地展示当前中国城市的空气质量分布情况,如图4所示。相比于平面地图,这种可以从各个角度,不同距离观察可视化结果的方式,更加生动清晰,且与现实融合,能够带给用户真实感。

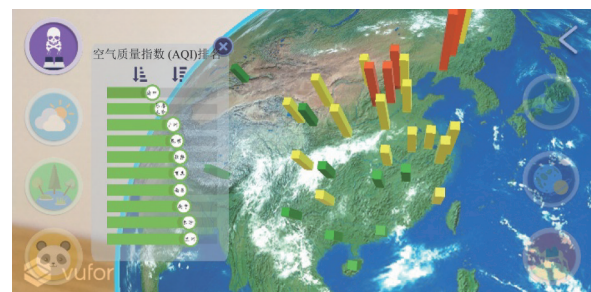


图4 空气质量模块“立体柱状图”

Fig. 4 Air quality module "solid column chart"

2) 一带一路路线数据, 包含途经城市信息和路线经纬度坐标信息。

区别于简单的平面图、网页展示方式^[12], 或者基于平面图的AR展示方式^[13], 在三维空间动态绘制路线进行展示。如图5所示, 结合AR技术, 在地球模型上根据实际路线数据动态绘制出一带一路路线, 还可以点击路线上的关键点城市, 查看城市详情信息和风景图片。跳出简单文字描述, 让数据动起来, 在观看路线绘制的同时了解到一带一路的走向、途经点、分布等, 看到更多信息, 还可以增强互动性和趣味性, 有更丰富的体验。



图5 一带一路路线
Fig. 5 The Belt and Road

3) 海洋洋流和海洋温度时空动态变化数据。

这类数据既有时间的变化, 也有空间的分布特征, 所以传统的图片法和视频法效果都不理想。根据数据的时空特征, 采用动态加载可视化结果的方式, 结合地球仪的特性, 让数据动起来。根据2017年1月全球海洋洋流和温度数据, 通过中国科学院计算机网络信息中心的专利技术, 即地球海洋洋流模拟算法和地球海洋温度模拟算法生成可视化结果, 动态加载到系统中, 叠加在地球模型上, 做到可以展示全球海洋洋流和温度在1个月内的动态变化。区别于简单的视频缩放展示, 叠加地球模型, 可以让使用者在全球的角度宏观观测海洋的动态变化, 结合地理位置、时间等因素, 能够展示出更多信息。

4 多人多终端协同机制

本文设计并引入了多人多终端协同机制, 此机制基于web服务器和系统通信, 通过发送和接收消息, 即包含交互信息的字符串, 可以实现多种交互模式, 具体实现方式如图6所示。

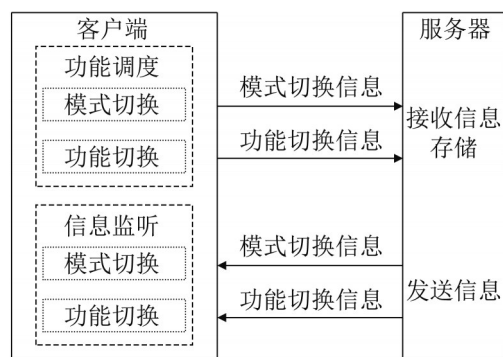


图6 多人多终端协同机制

Fig. 6 Multi-person multi-terminal collaboration mechanism

整个系统分为客户端和服务端, 本文设计的多人多终端协同机制主要涉及到图1中的协同服务模块和数据通信模块。为了实现多人多终端协同功能, 区别于上述系统架构, 客户端划分出了2个模块, 即功能调度模块和信息监听模块。

功能调度模块控制管理整个系统所有的功能调度。分为2个部分: 模式切换和功能切换。在此模块设计中, 将程序代码中每个普通功能方法改写为3个: 普通方法、信息方法和调度方法。普通方法单纯的控制系统功能切换; 信息方法为普通方法+向服务器发送信息功能; 调度方法根据传入的字符串自动选择调用普通方法或信息方法。

信息监听模块监听服务器发来的信息并进行解析, 根据解析后的信息变更交互模式或调用相应的功能方法。分为2个部分: 模式切换和功能切换信息监听。前者接收服务器发送的模式切换信息, 解析后的命令控制各个模式之间的动态切换, 处理模式之间的逻辑关系; 后者监听功能切换信息, 解析并调用相应的功能方法, 实现协同控制。

本系统根据上述多人多终端协同机制设计并

实现了4种交互模式：主讲模式、听者模式、互动模式、单人模式。图7为4种模式之间的逻辑关系，表1为4种模式的实现方式。

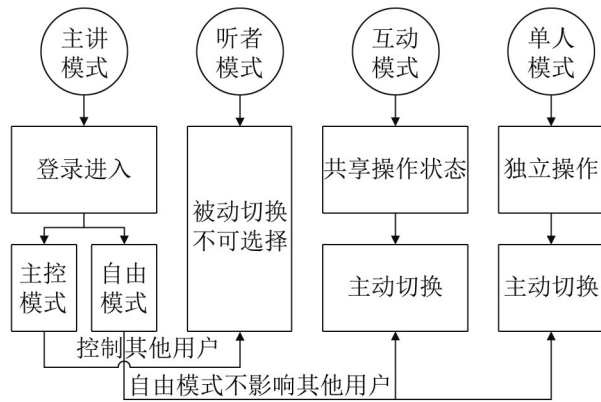


图7 4种交互模式关系

Fig. 7 Four interaction pattern relationships

表1 多人多终端协同机制与4个模式对应关系

Table 1 Coordination mechanism of multi-person and multi-terminal corresponds to four modes

| 模式 | 功能调度模块 方法选择 | 监听模块 模式切换 | 监听模块 功能切换 |
|----|----------------|--------------|--------------|
| 主讲 | 信息方法 | × | × |
| 听者 | × | √ | √ |
| 互动 | 信息方法 | √ | √ |
| 单人 | 普通方法 | √ | × |

注：“√”和“×”分别代表对应模式“是”或“否”采用某一行对应的方法

主讲模式：同一局域网内，用户登录后可选自由模式或主控模式。自由模式操作不影响其他用户；主控模式其他用户全部被动进入听者模式，即主讲者操控听者的系统。功能调度模块选择信息方法，可以通过向服务器发送信息来控制其他终端功能切换，不需要监听来自服务器的协同信息。

听者模式：被动进入，无法主动切换系统功能，只能观看主讲者演示操作。功能调度方法失效，同时监听模式切换和功能切换信息，以及时改变交互模式和跟随主讲者切换功能，保持状态一致。

互动模式：同一局域网内，2个或更多用户进入互动模式，此时用户对系统所做的任何操作都会同步到其他互动模式的系统内，便于进行互动交流。选择信息方法，分享操作状态，需要监听

服务器的模式切换和功能切换信息。

单人模式：用户只操控自己的系统，同时不受其他系统状态影响。不需要互动，选择普通方法，不需要共享操作状态，只需要监听模式切换信息，如果有人进入主讲模式中的主控模式，要随之进入听者模式。

5 系统实现

本文结合上述AR技术、可视化方案以及多人多终端协同机制，实现了基于AR的多人互动地球仪系统。

系统主要包括7个展示模块：全球海洋数据可视化、天文信息可视化、一带一路路线可视化、中国空气质量数据可视化、全球重要城市天气可视化、全国生态信息可视化、全球特征动物分布可视化，如图8所示。

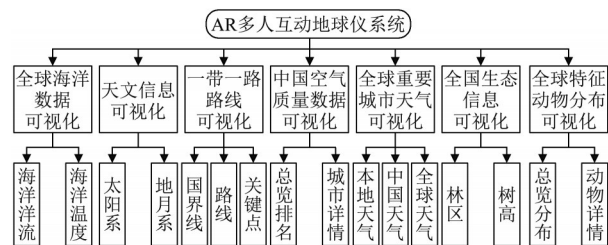


图8 AR多人互动地球仪系统功能模块

Fig. 8 AR multi-person interactive globe system function module

除前文介绍的全球海洋数据可视化模块、一带一路路线可视化模块、中国空气质量数据可视化模块之外，其他模块功能如下：

(1) **天文信息可视化：**通过AR识别技术准确定位地球仪，同时做到点对点识别，将中间地球模型替换为太阳模型，以此为基础对太阳系和地月系进行设计展示；

(2) **全球重要城市天气可视化：**主要包括展示本地、中国城市、全球城市天气3个功能。获取本地定位，实时展示当前天气，以及实时获取中国和全球部分城市的天气信息，对天气、温度、风速等天气要素进行展示，同时可以预测未来2天的天气情况；

(3) 全国生态信息可视化: 如图9所示, 添加了2个互动问题, 用户可以猜测中国最高的树所在的林区, 同时可以对中国的东北、西南、南方林区进行科普学习; 还可以猜测最高的树多高, 拓宽知识面, 提高互动性和趣味性;



(a) 一带一路路线可视化模块



(b) 全球特征动物分布可视化模块



(c) 全国生态信息可视化—中国林区科普



(d) 全国生态信息可视化—中国最高树科普

图9 AR多人互动地球仪系统部分模块展示

Fig. 9 AR Multi-person interactive globe system part of the module display

(4) 全球特征动物分布可视化: 如图9所示, 本模块根据全球的特征动物分布将动物模型放置在地球的相应位置上, 不同于只是叠加图片在地图上。本系统可以通过摄像头进行全方位立体地观看, 转动地球仪, 模型也随地球仪一起移动, 用户能够在三维立体空间内观测动物的形态、动作和分布情况。

根据本系统的整体设计, 用户可以通过手机摄像头扫描识别到地球仪(直径25 cm), 并准确定位到地球仪相应特征位置, 保证系统中的模型与现实状态一致。用户可以绕模型随意走动, 在约1.5 m内都可以用手机或平板电脑准确识别, 同时还可以根据观测需要拨动地球仪, 系统内模型也会对应变动, 实现虚实结合, 达到对现实效果的增强, 如图10所示。



图10 AR多人互动地球仪系统现场效果图

Fig. 10 AR multi-person interactive globe system display renderings

6 结论

本文基于地球大数据, 如全球海洋、天文、生态、大气、空气质量等数据, 面向科普需求, 提出并实现了一个基于AR技术的多人互动地球仪系统。针对地球数据, 实现了对地球大数据进行交互式、全方位、多维度、立体式的沉浸展示。本文的贡献如下:

(1) 提出了融合AR技术的系统架构, 实现了虚拟信息和实物地球仪无缝叠加的虚实结合, 以及用户与系统的实时交互;

(2) 根据不同的数据特征设计了多种可视化方

案,为相关地球知识科普提供了新的展示思路;

(3)提出了一种轻量级多人多终端协同机制,并基于此实现了4种交互模式,提高了系统的趣味性、实用性和互动性。且此机制简单易用,可迁移性和扩展性较强。

本系统目前在功能上还有一些可以改进的地方,如生态功能稍显单薄,天文模块可以再加入一些天文知识扩充等。

参考文献:

- [1] 郭华东. 地球大数据科学工程[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(8): 818-824.
Guo Huadong. Earth Big Data Science Project[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(8): 818-824.
- [2] 纪显俐, 丁宇龙, 杨双华. 智能沙盘地理教学演示系统[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(12): 2816-2828.
Ji Xianli, Ding Yulong, Yang Shuanghua. Intelligent Sandbox for Geography Teaching [J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(12): 2816-2828.
- [3] Ardiny H, Khanmirza E. The Role of AR and VR Technologies in Education Developments: Opportunities and Challenges[C]// 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM). Tehran, Iran: 2018: 482-487.
- [4] 张帅, 伍传敏. 基于移动增强现实的交互式游戏应用研究[J]. 中国教育信息化, 2018(21): 7-11.
Zhang Shuai, Wu Chuanmin. Research on Interactive Game Application Based on Mobile Augmented Reality[J]. The Chinese Journal of ICT in Education, 2018(21): 7-11.
- [5] 田辉, 胡铮, 张平. 基于多终端协同的业务流控制[J]. 中兴通讯技术, 2012, 18(3): 16-19, 27.
Tian Hui, Hu Zheng, Zhang Ping. Service-Flow Control Based on Multiterminal Cooperation [J]. ZTE Technology Journal, 2012, 18(3): 16-19, 27.
- [6] 吕冬冬. 多终端协同同步技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.
Lü Dongdong. Research on Synchronization of Multi-Terminal Cooperation [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [7] 汪星荷. 基于Android终端的移动增强现实技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
Wang Xinghe. Research on Android Terminal-Based Mobile Augmented Reality[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [8] 陈谊, 王嘉良, 侯堃. 基于GIS的信息可视化方法及应用研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9): 1877-1881.
Chen Yi, Wang Jialiang, Hou Kun. Information Visualization Techniques Based on GIS and Their Application in Pesticide Residues Data Set [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(9): 1877-1881.
- [9] 毕硕本, 贡毓成, 路明月, 等. 基于数字地球平台的热带气旋可视化研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(3): 472-481.
Bi Shuoben, Gong Yucheng, Lu Mingyue, et al. Visualization of Tropical Cyclones Based on Digital Earth [J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(3): 472-481.
- [10] 王铭军, 潘巧明, 左伍衡, 等. 科学教育中的可视化研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(9): 1597-1604.
Wang Mingjun, Pan Qiaoming, Zuo Wuheng, et al. Visualization Study in Science Education [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(9): 1597-1604.
- [11] 丁剑飞, 司光亚, 石亚峰, 等. 基于融合流形学习的体系多维效能指标可视化[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(10): 2373-2383.
Ding Jianfei, Si Guangya, Shi Yafeng, et al. Visualization of Multi-Dimensional Effectiveness Indicator of Weapon System of Systems Based on Fusion Manifold Learning[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(10): 2373-2383.
- [12] 阚文生. 基于数字地球平台的"一带一路"信息管理与可视化[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
Kan Wensheng. Managing and Visualizing Information of the Belt and Road Based on the Digital Earth Platform [D]. Shanghai: East China Normal University, 2017.
- [13] 陈秉乾, 罗琪斯, 王向飞, 等. 增强现实技术在《海上丝绸之路》地图扩展中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(8): 185-188.
Chen Bingqian, Luo Qisi, Wang Xiangfei, et al. Application of Augmented Reality Technology on the Expansions of Maritime Silk Road Map[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2020, 43(8): 185-188.