

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.06.05

基于智能手持设备的光照度计虚拟实验程序的设计与实践

唐玲¹, 孙如月², 刘磊³, 金璐¹

(1. 中国人民解放军 92957 部队, 浙江 舟山 316000; 2. 中国人民解放军 92292 部队, 山东 青岛 266000;
3. 中国人民解放军 91980 部队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为了降低传统桌面虚拟实验系统对场地、设备的需求, 克服光照度计计量教学资源短缺的现状, 设计并实现了基于智能手持设备的光照度计计量虚拟实验程序以满足光照度计计量教学的需要。以智能手持设备为载体, 采用 Multi Gen Creator 软件进行实时场景建模, 依托 Unity 3D 软件为开发平台, 采用 C# 脚本语言来完成已建立的 3D 模型和场景的交互与编辑, 通过 Vuforia 软件实现了增强现实功能。实验证明: 该程序优化了教学资源, 能够很好地满足光照度计计量教学的需要。

关键词: 光照度计计量; 虚拟实验; 增强现实

中图分类号: TB9; G43; TP317

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2019)06-0025-06

The Design and Practice of Illumination Meter Virtual Experiment Program Based on Intelligent Handheld Device

TANG Ling¹, SUN Ruyue², LIU Lei³, JIN Lu¹

(1. PLA Units No. 92957, Zhoushan 316000, China; 2. PLA Units No. 92292, Qingdao 266000, China;
3. PLA Units No. 91980, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to reduce the demand of traditional desktop virtual experiment system for the site and equipment, and solve the shortage of the illumination meter metrology training resources, a illumination meter virtual experiment program based on Smart Handheld Devices (SHD) was designed and implemented to meet the teaching needs. This program took SHD as the carrier and adopted Multi Gen Creator software for real-time scene modeling. The program which had completed interaction and edit of the established 3D model and scene by C# scripting language, was developed on Unity 3D platform. Finally, it has realized the augmented reality function by Vuforia software. The experiment has shown that the program can optimize the digital resources and meet the needs of illumination meter metrology teaching.

Key words: illumination meter metrology; virtual experiment; augmented reality

0 引言

光学计量是围绕光学物理量的测量技术和量值传递开展计量工作, 是光学产业的重要支撑^[1], 在国防工业的研究和应用方面发挥着重要作用。但是由于光学设备价格昂贵, 对实验室环境要求高, 导致光学实验设备资源有限, 不利于光学教学的开展。使用桌面虚拟实验系统开展光学计量教学是一种有效的补充方式, 但要求人员在实验室开展自主性学习, 便利性稍显不足。随着智能手持设备的快速普及, 通过采用手持式虚拟实验教学系统的方式, 可以降低传统桌面系统对场地和设备的需求。本文针对智能手持设备的软

硬件特点, 研究实现光照度计计量虚拟实验的关键技术, 通过编写光照度计计量演示验证程序来评估技术的可行性, 同时为后续开展光照度计实验场地教学起到一定的论证作用。

1 总体思路

1.1 JJG245-2005《光照度计检定规程》分析

分析规程可知, 光照度计计量虚拟实验程序(以下简称虚拟实验程序)需具备以下功能: ①复现检定仪器、实验场地, 以三维方式重现光照度计计量场景; ②对涉及到的仪器的使用方法进行仿真; ③计算机控制操作步骤、检定流程进行复现; ④在增强现实的基础上,

实现手持式终端上的场景漫游及虚拟操作。

1.2 软件开发平台

虚拟实验程序软件部分首先使用 MultiGen Creator 来进行实时场景建模,以满足实时渲染的要求,然后基于 Unity 3D 软件平台,使用 C#脚本语言来完成已建立的 3D 模型和场景的交互与编辑^[2],最后使用 Vuforia 软件开发增强现实功能^[3],达到在真实场景中叠加虚拟景象的目的。

1.3 虚拟实验程序硬件设计

1.3.1 识别图选取

为了实现增强现实功能,选取识别图如图 1 所示,从图 1 中可以看出:①图片特征点数量大于 7000 个,细节表现充分;②图案非对称,无重复内容;③图像拥有鲜明的对比度;④为 JPG 格式,大小不超过 2M。

综上,图 1 图像级别可以评为五星,完全满足基于自然特征的增强现实对识别图像的要求^[4]。



图 1 虚拟实验识别图

1.3.2 Unity/Vuforia 对硬件的要求

Unity 对智能终端硬件的最低要求为^[5]:①支持 OpenGL 渲染图形库,必须为 OpenGL ES 2.0 版本;②其处理器必须采用 ARMv7 以上版本的架构。Vuforia 对 Android 系统的要求为:①至少为 Android 4.3 版本;②在渲染方面,支持动态整合(Dynamic Batching)和静态整合(Static Batching)两种方式,便于优化场景图形数据;③设备摄像头的分辨率应大于 200 万像素。

当前阶段的基于 Android 的平板电脑和智能手机均为 Android 4.4 以上版本,摄像头分辨率大于 300 万像素,支持 OpenGL ES 2.0 版本,处理器大多采用 ARMv7 以上版本的架构,完全符合 Unity/Vuforia 对硬件的要求。因此,本文最终选取了 Vido M82 这一款平板电脑,其性价比高,屏幕也较大,能在较低成本条件下实现增强现实。

1.4 虚拟实验程序软件设计

按照模块化设计方式对软件进行设计,整个虚拟实验程序软件包括几何模型、视景显示与驱动、虚拟操作、AR 解算模块和光照度计计量数据库等模块,结构如图 2 所示。

1.4.1 几何模型

在满足规程对检定仪器要求的基础上,根据建模对

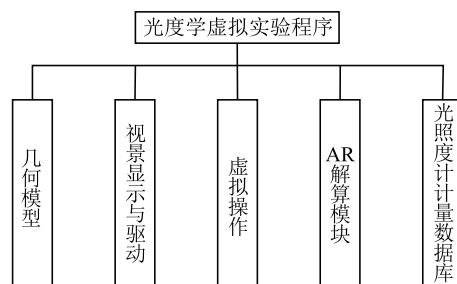


图 2 虚拟实验程序软件结构示意图

象的特点将模型分为 4 组:①房间、桌子、光轨;② N5770 直流稳压电源、照度计;③发光强度标准灯组、电缆、光度头;④灯架、光阑、光度头固定用滑车。

1.4.2 视景显示与驱动

由于光照度计计量的场景很大,摄像机的视野范围不能对整个场景进行覆盖,故本程序将三维场景渲染成二维图像并显示的工作用渲染流水线来完成,即:设置视锥,根据视锥计算出能够显示出的模型数量、模型的前后遮挡关系;由视点控制、距离控制来决定场景中的可见三角形;由帧循环来对摄像机视图进行裁剪(Cull,即只对在摄像机视野范围内的物体进行处理)、渲染和绘图。

1.4.3 虚拟操作

虚拟实验程序场景模型按照动画实现方式可以分为:①移动模型;②旋转模型;③缩放模型;④显示/隐藏模型,包括:预先设置隐藏的模型和运行过程中隐藏隐藏的模型。

1.4.4 AR 解算模块

除了完成图像特征点的提取、特征点描述符的生成、图像描述符的生成、摄像机位置姿态计算及追踪等内容之外,本程序对实际场景中的视点切换采用模型移动的方法来实现,即通过改变模型的位置信息实现视点的变化。

1.4.5 光照度计计量数据库

光照度计计量数据库用于控制流程数据,包括:单步操作模型动作脚本库 Scripts 和光照度计计量检定流程控制数据库。

2 虚拟实验程序的设计与实现

2.1 模型建立

2.1.1 几何模型建立

①创建模型外观,设置材质、纹理;②模型汇总,构建光照度计量的场景模型;③优化场景模型^[6]。

2.1.2 模型建立结果

Creator 创建的模型包括：单个几何模型及其组合构建的场景模型。部分模型如图 3、图 4、图 5 所示。其中，本系统设置光轨的长度为 10 m (>6 m)，平直性良好，误差不超过 ±1 mm；测距米尺 1 m 内的总误差 不大于 0.2 mm；选取安捷伦 N5770 直流稳压电源，它输出电压连续可调，量程范围为 (0 ~ 150) V/(0 ~ 10) A，10 min 内输出电压变化不大于 0.02%；电测仪表和发光强度标准灯组的参数分别如表 1 和表 2 所示。分析规程可知，上述仪表的参数设置满足计量检定标准要求。

表 1 电测仪表准确度等级要求	
被检照度计级别	电测仪表
标准	0.01 级
一级、二级	0.02 级

表 2 发光强度标准灯要求	
被检照度计级别	发光强度标准灯
标准	2856K 工作基准灯组
一级、二级	2856K 一级或二级标准灯组

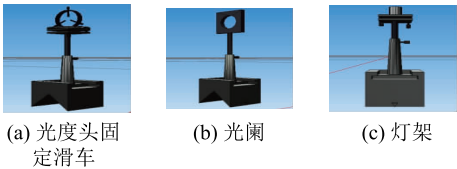


图 3 光尺附件

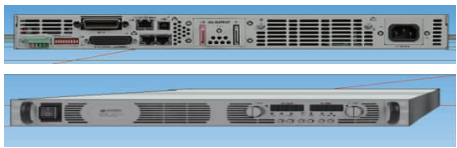


图 4 N5770 直流稳压电压源

2.1.3 仪表显示

在场景中，仪器仪表的显示都是动态的。图 6 为在 Unity 中制作的 N5770 直流稳压电压源显示器，通过编程就可以方便地对电压或电流的显示内容进行修改，从而实现对实际检定仪表动态显示效果的模拟。

2.2 虚拟交互仿真

由于自然漫游的方式容易导致视点不能移动到最



图 5 显示器



图 6 N5770 直流稳压电压源显示器

佳操作视点位置，故本程序通过在 UI 界面中添加视点切换按钮来实现视点的快速切换。

2.3 实现增强现实

①选取识别图进行样本训练，然后导入虚拟实验程序的 Unity 工程中；②在场景中添加 ARCamera 和 ImageTarget，删掉 main Camera；③将需要显示的图片、文字、模型等变成 ImageTarget 的子对象，调节 AR-Camera 的位置；④将程序编译为 .apk 格式的标准 Android 执行程序，移植到 Android 平台，就完成了虚拟实验程序的开发。

2.4 虚拟实验程序运行结果

2.4.1 操作过程仿真效果

光照度计计量虚拟实验程序在 Unity 中的场景层级结构如图 7 所示。因为 Unity 对场景编译的过程中需要不断调整模型间的层级结构，从而保持场景逻辑合理、减少不必要的脚本组件。如图 7 所示的场景结构鲜明、层次良好，可以很方便地实现不同模型间的层次调整。

运行过程中的初始界面如图 8 所示，通过左上角四个界面按钮可以方便地进行视点转换，实现对各个检定仪器状态的观察、参数的读取，达到对检定全局的整体把握。

操作步骤验证(非首次检定)：
请具备相关检定证书的计量检定员按照虚拟实验

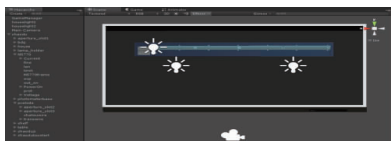


图 7 虚拟实验程序场景层级结构

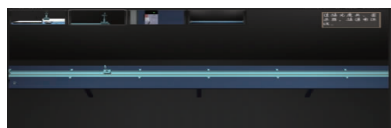


图 8 初始界面

程序的操作步骤进行检定实验,并验证操作流程是否符合 JJG245-2005《光照度计检定规程》的要求。

1)连接电缆。单击光度头,连接照度计与光度头的电缆出现,如图 9 所示。单击灯架上的接线处,连接 N5770 直流稳压电压源与灯架的电缆出现,如图 10 所示。



图 9 连接照度计与光度头的电缆



图 10 连接电压源与灯架的电缆

2)开启电源预热。单击电源按钮,按钮旋转,N5770 直流稳压电压源显示器显示,如图 11 所示。



图 11 开启电源预热

3)放置 BDQ-6。单击 BDQ-6,灯架上出现 BDQ-6,如图 12 所示。



图 12 放置 BDQ-6

4)放置光度头。单击光度头,光度头固定滑车上出现光度头,如图 13 所示。



图 13 放置光度头

5)调整 BDQ-6。分别单击灯架上左右两个螺丝,BDQ-6 调整到水平姿态,如图 14、图 15 所示。



图 14 调整灯架左螺丝



图 15 调整灯架右螺丝

6)调整光度头。分别单击光度头固定滑车上左右两个螺丝,光度头调整到水平姿态,如图 16、图 17 所示。



图 16 调整固定滑车左螺丝

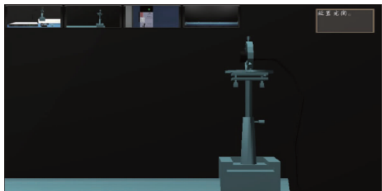


图 17 调整固定滑车右螺丝

7)放置光阑。单击光轨上的光阑，光轨上出现另外两个光阑，如图 18 所示。

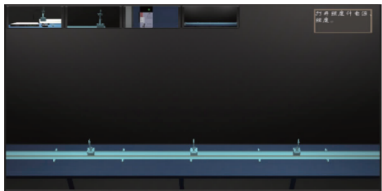


图 18 放置光阑

8)打开照度计电源、照度计显示器。单击电源按钮，按钮移动，照度计显示器显示“0”，如图 19 所示。单击照度按钮，按钮移动，如图 20 所示。



图 19 照度计显示器



图 20 移动按钮

9)选择“X1”档位。单击“X1”按钮，按钮移动，照度计显示“0.000”，如图 21 所示。



图 21 照度计显示

10)调节 N5770 直流稳压电压源的输出电压为 27

V，输出电流为 5.2 A。单击电压(流)调节旋钮左侧，电压(流)值降低；单击旋钮右侧，电压(流)值升高。单击输出按钮，当输出值满足要求时，BDQ-6 发光；不满足要求时，界面出现“请按操作要求执行”提示，如图 22 所示，单击提示按钮，继续操作。



图 22 显示输出值满足要求

11)打开光度头遮盖。单击光度头固定滑车上的光度头遮盖，遮盖消失，如图 23 所示。照度计出现示数，如图 24 所示。



图 23 打开光度头遮盖



图 24 照度计示数

12)移动光度头固定滑车，进行读数。依次单击光度头固定滑车，其移动距离为 0.3 m，在照度计上读出示数。

从上述操作步骤可知，虚拟实验程序的操作流程与检定规程的规定完全一致，符合法制计量的相关要求。增强现实技术，更使得虚拟实验更贴近实景教学，可以在实验室资源短缺的情况下以最小的成本完成教学任务。

对软件运行结果与实际光照度计计量检定数据进行对比分析，选用一级发光强度标准灯 BDQ8/1220cd 及一级照度计进行虚拟实验，照度计量程为 0 ~ 2000 lx，则依据规程要求，照度计的相对示值误差不得超过 ± 4%。现实检定选用器具和虚拟实验程序一致。实验数据如表 3 所示。

表 3 实验数据

标准值 E/lx	距离 l/m	虚拟实验测量值 $\bar{E}/\text{lx}$	现实实验测量值 $\bar{E}/\text{lx}$
50	4.9800	50.90	51.00
80	3.9370	80.91	80.93
00	3.5214	101.0	101.0
120	3.2146	121.1	121.5
150	2.8752	150.8	151.0
180	2.6247	180.9	180.7
200	2.4900	201.0	201.2
500	1.5748	502.0	502.3
800	1.2450	803.1	803.5
1000	1.1136	1004	1005
1200	1.0165	1204	1205
1500	0.9092	1505	1506
1800	0.8300	1805	1804
2000	0.7874	1998	1997

对表 3 中的数据进行对比分析可知, 虚拟实验测量值与现实测量值 $\bar{E}$ 之间的最大误差为 $\pm 1 \text{ lx}$ 。将现实实验所得的测量值看做每一检定点的标准值, 定义虚拟与现实两组实验之间的相对误差值 $= (|\text{虚拟测量值} - \text{现实测量值}| / \text{现实测量值})$, 则对表 3 中的数据进行计算可知, 在距离为 3.2146 时, 相对误差值最大, 约为 0.3292%, 远远小于一级光照度计的相对示值误差 $\pm 4\%$, 基本可以忽略不计。综上说明虚拟实验所测数据与现实测量基本符合, 完全可以满足光照度计计量检定的教学要求。

2.4.2 Android 平台上增强现实程序

在手持式终端上安装光照度计计量虚拟实验室 .apk, 运行。其效果如图 25 所示。从图 25 中可以看出, 程序实现了从电脑到平板的移植, 使得教学成本更低, 操作更方便快捷, 同时增强现实功能的设计可以使得程序场景更贴近实际, 更符合实景教学的理念。

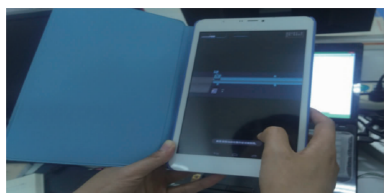


图 25 Android 平台上虚拟实验程序运行效果

3 结论

为了降低传统桌面虚拟实验系统对场地、设备的需求, 优化教学资源, 以基于智能手持设备的光照度计计量虚拟实验程序的设计与实践为题目, 完成了光照度计计量虚拟实验程序的设计与实现。实验室试用结果表明, 该程序基于检定规程进行设计, 仪器参数设置、计量检定流程以及程序运行数据与现实检定完全一致, 真正实现了贴合实际, 解决了在无资源条件下光照度计计量教学与实物训练受限的难题。增强现实功能的设计更是实现了虚拟场景与实景的结合, 强化了用户的感官认知, 使用户对真实光照度计计量检定体会更深入。基于此虚拟程序开展光照度计计量教学具有非常好的效果, 值得推广使用。

参考文献

- [1] 沙定国, 曹根瑞, 苏大图. 光学测试的现状与展望[C]// 第九届全国光学测试学术讨论会论文(摘要集). 2001.
- [2] 金玺曾. Unity 手机游戏开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 李书阳, 沈乔楠, 安雪晖, 等. 基于增强现实的混凝土坍落扩展度测量[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012(6): 809-813.
- [4] Unity Technologies. Unity 4. X 从入门到精通[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013: 512-514.
- [5] 王超明. 基于 Unity3D 引擎的赛车手机游戏的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [6] 王乘, 周均清, 李利军. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.

收稿日期: 2019-06-03; 修回日期: 2019-08-27

作者简介



唐玲(1995-), 女, 2016年毕业于海军航空大学, 获工科学士学位; 现就职于中国人民解放军 92957 部队, 主要研究方向为军事计量。