

基于 Moodle 环境的在线物理实验 教学平台的设计与实现

田 伟, 刘懿芳, 孙 玥

(上海理工大学 理学院, 上海 200093)

摘要: 提出了一个解决方案用于实现在线物理虚拟实验, 该方案基于 NI ELVIS 硬件平台, NI LabVIEW 软件和 Moodle 电子学习平台. 设计了基于 Moodle 环境的在线物理实验教学平台. 为了验证所设计平台的可行性, 遴选了 3 个大学物理实验进行了理论与虚拟实验的对比研究, 最后又对该平台使用效果进行了分析和验证. 结果表明在所设计的实验平台上进行虚拟实验所得结果与理论结果几乎一致, 且精确度高于手工操作实验.

关键词: Moodle; LabVIEW; 物理实验教学平台; 对比研究

中图分类号: O 59

文献标志码: A

Design and Implementation of an Online Physics-Experiment Teaching Platform Based on the Moodle Environment

TIAN Wei, LIU Yifang, SUN Yue

(College of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A solution for implementing online physical virtual experiments was proposed, based on the NI ELVIS hardware platform, NI LabVIEW software and Moodle e-learning platform. An online physics-experiment teaching platform based on the Moodle environment was designed and in order to verify the feasibility of the designed platform, a comparative study on the theoretical results and virtual experiments results was conducted utilizing three college physics experiments as examples. Moreover, the utility of the platform was further analyzed and verified. The results show that the results of the virtual experiments carried out on the experimental platform are almost identical with the theoretical results, and the accuracy is higher than manual operation experiments.

Keywords: Moodle; LabVIEW; physics-experiment teaching platform; comparative study

Moodle (modular object-oriented dynamic learning environment), 即模块化面向对象的动态

学习环境, 是一个用来建设基于 Internet 的课程网站的软件包. Moodle 作为一个 LMS (学习管理系

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10874118)

第一作者: 田 伟(1977-), 男, 讲师. 研究方向: 理论物理. E-mail: tianwei@usst.edu.cn

统, learning management system) 平台, 用于在研究项目中共享有用的信息、文档和知识管理, 给研究人员提供了有益的帮助^[1]. 从商业 LMS 到开源系统 (如 Moodle) 的转变是一个日益增长的趋势. 这些在线技术已经在教师层面上得到了广泛的传播, 例如旧金山州立大学 (SFSU) 70% 的课程都在使用在线技术^[2]. Moodle 技术正在不断发展, 越来越多地被用来提高学生的认知模式, 帮助他们建构自己的知识, 促进学生积极地与同伴进行讨论和合作^[3-4].

计算机在物理上的应用始于 20 世纪 70 年代^[5]. 从那时起, 有许多研究分析了新技术应用于教授物理的有效性^[6]. 一些学者甚至认为使用互联网教授物理学是一个比使用传统方法教授物理学更有效的途径^[7]. 本文基于 Moodle 技术, 设计了一个在线物理实验教学平台, 并遴选了 3 个大学物理实验进行了理论与虚拟实验的对比研究, 最后对该平台的使用效果进行了效用验证.

1 基于 Moodle 环境的在线物理实验教学平台 (PTP) 的设计

本文设计的基于 Moodle 环境的在线物理实验教学平台简称为 PTP (physics-experiment teaching platform).

1.1 PTP 的结构

如何让使用者高效、快乐地使用本文介绍的平台是设计过程所面临的一个主要问题, 包括如何进行用户界面设计, 如何在 Web 上发布以及如何将其集成到学习管理系统中等. 很多学者都曾讨论过这些问题^[8-10], 本文拟在前人的基础上进一步提出一个可有效实施的 PTP 解决方案.

本文设计的 PTP 是基于将如下 3 个主要部分进行衔接而考虑的:

- a. Moodle 平台——用于学习内容管理;
- b. NI ELVIS 平台——美国国家仪器 NI 公司的教学实验室虚拟仪器套件, 用于硬件支持;
- c. NI LabVIEW 软件——(一种程序开发环境, 由美国国家仪器 NI 公司研制开发) 作为硬件控制应用程序的环境, 也作为用户界面 Web 发布者.

本文提出的 PTP 的结构如图 1 所示. 它由主服务器、应用服务器和客户端构成.

主服务器由 Moodle 平台、MySQL 数据库服务器和 LabVIEW 软件组成. Moodle 是一个开源的课程管理系统, 可以用来创建在线学习网站, 已被大家

广泛接受. 而且它是开放源代码, 可以用于开发新的模块, 比如实验室的在线预订系统等. 主服务器上的 LabVIEW 为在线发布提供支持, 通过 LabVIEW 客户端可以发送命令并从物理实验教学平台接收结果. MySQL 数据库服务器既服务于 Moodle 平台, 也服务于主服务器与应用服务器之间的通信.

应用服务器可以有多个 (根据客户端需求), 它的作用是通过很多协议来为应用程序提供商业逻辑 (business logic), 每个应用服务器也都配有 LabVIEW. 应用程序服务器可以放在任何地方, 只需有数据库连接到主服务器上即可.

客户端配有 LabVIEW, 客户通过在线用户界面应用程序 (online user interface application, UIA) 链接到所设计的 PTP 平台上, UIA 与数据库服务器进行通信, 通过 LabVIEW 的远程面板中的 Web 发布工具进行在线发布.

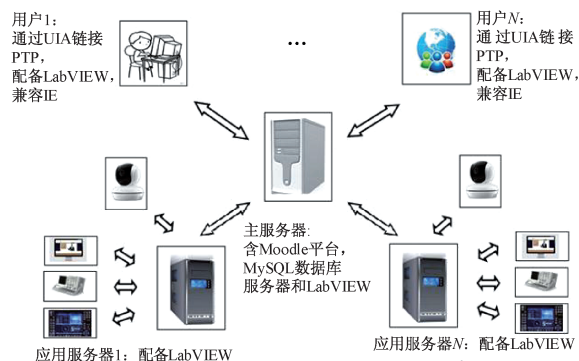


图 1 PTP 结构

Fig.1 Structure of PTP

1.2 Moodle 平台

a. Moodle 环境.

本文设计的 PTP 的 Moodle 环境总体配置为: Windows10 + 32GRAM + Apache + MySQL + PHP. 在这个环境下的 PTP 平台可以同时支持 1 500 个在线用户.

b. 基于 Moodle 环境的 PTP 平台.

基于 Moodle 环境的 PTP 平台主要由实验教学模块、实验设计模块和实验管理模块组成. 整个 PTP 平台的功能结构如图 2 所示 (见下页).

c. 基于 Moodle 环境的 PTP 平台的教师监控——对学生学习动态的了解.

PTP 提供了许多关于学生使用平台的信息以及他们的表现. 这一信息可以被某个人、某个群体, 甚至全球的学生所获得. 在个人的基础上, 教师可以了解单个学生在平台上进行的所有活动: 访问次数、完成每项任务所花费的时间、分数等. 访客对 PTP

进行访问的次数,根据访客浏览器和网站服务器之间的互动情况判定,以下 3 种情况会记为新的访问:访客关闭浏览器后重新进入网站;访客不关闭浏览器,但是在网站上不活动超过 30 min,30 min 后访客再次点击网站上的链接;访客任何时候从其他网站到达该网站.这些信息可以通过数字或图形方式进行检索,如图 3 所示.

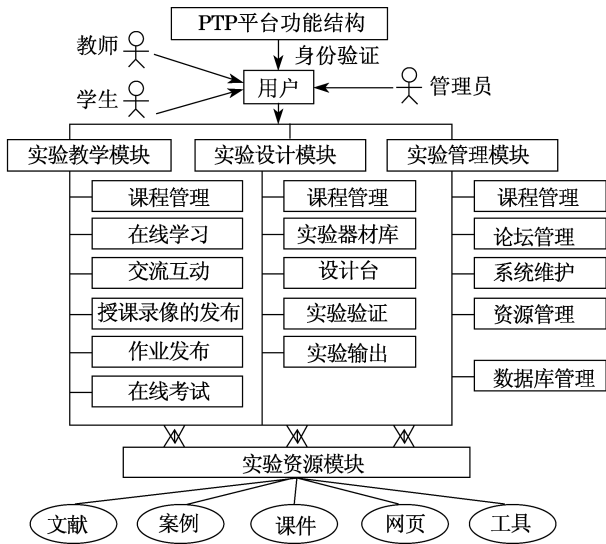


图 2 PTP 平台的功能结构图

Fig.2 Functional structure diagram of PTP platform

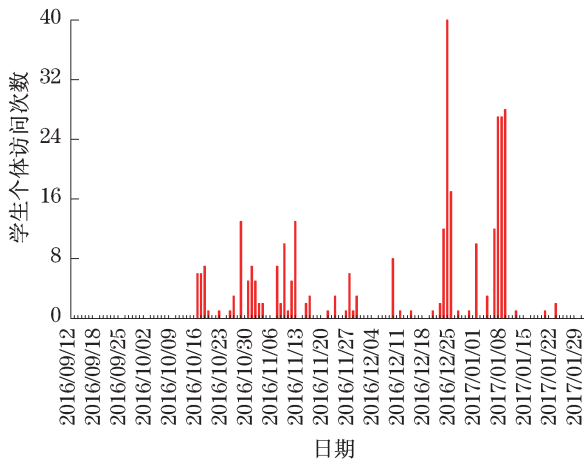


图 3 单个学生访问次数统计

Fig.3 Statistics of the number of visits for one single student

同时,教师还可以从宏观上了解全部学生每天访问物理在线实验课程的总次数(频率),参见图 4.用蓝色箭头标记的高峰表示考试前几天的访问次数.

数字信息既可以在平台本身中检索,也可以下载到适合与电子表格一起使用的文件中应用.此功能允许教师提取有关课程的有用信息.例如,可以为不同类型的数据生成直方图,如学生在特定测验中

获得的分数,参见图 5.

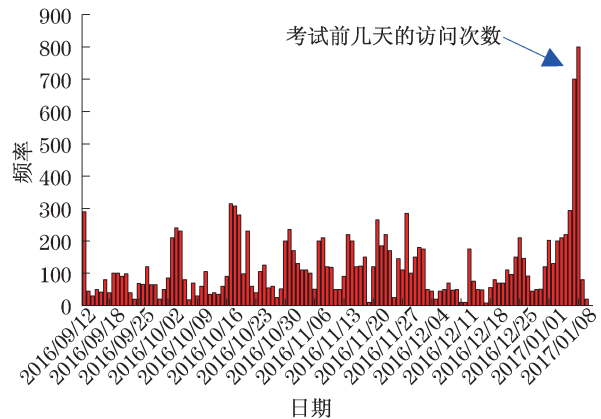


图 4 访问 PTP 频率统计

Fig.4 Frequency statistics for accessing PTP

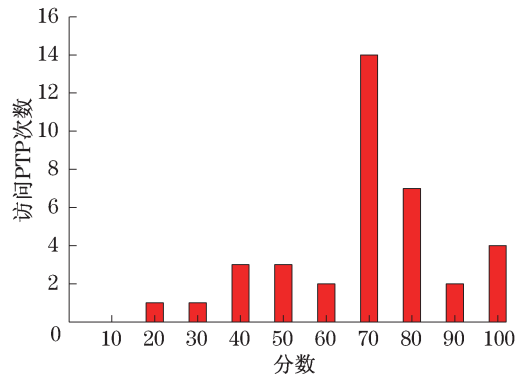


图 5 学生考试分数与访问 PTP 次数关系图

Fig.5 Histogram of students' test scores to the number of PTP accesses

PTP 也会自动计算出一些指标,以了解不同活动的情况.这些指标之一是所谓的“难度指数”,定义为用户在一次测验的特定项目中获得的平均分数除以一个学生获得的最高分.这些信息可以用来提高 PTP 实施不同活动的质量.

1.3 PTP 的硬件

从硬件角度来看,本文使用 NI ELVIS(美国国家仪器 NI 公司的教学实验室虚拟仪器套件)平台来实现物理实验教学平台工作.NI ELVIS 平台提供所有需要的物理实验教学平台设备,如:函数发生器、数字万用表、示波器、双极可变电源、阻抗分析仪和频谱分析仪等.选择 NI ELVIS 的另一个原因是可以使用 LabVIEW 开发的应用程序进行控制,使应用程序的在线发布变得更加容易.

1.4 PTP 的用户页面

基于 Moodle 环境的 PTP 用户页面如图 6 所示.

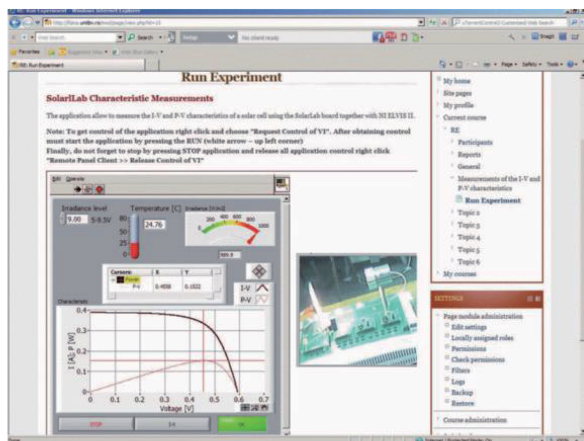


图6 PTP的用户页面

Fig.6 User interface of PTP

2 基于 Moodle 环境的在线物理实验教学平台(PTP)的实现

实验遴选了3个大学物理实验进行研究,这3个实验工作分别选自机械振动、气体动理论和热学,具有一定的涵盖性.这3个实验为:

- 两个垂直振动的合成—李萨如图形;
- 玻尔兹曼分布;
- 温度对电阻率的影响.

2.1 两个垂直振动的合成—李萨如图形

2.1.1 理论阐述

两个同频率的相互垂直的分运动位移表达式为

$$x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_{10}) \quad (1)$$

$$y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_{20}) \quad (2)$$

式中: x, y 为两个分运动的位移; ω 为两个分运动的角频率; A_1, A_2 为两个分运动的振幅; $\varphi_{10}, \varphi_{20}$ 为两个分运动的初相.消时间参数,得

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2 \frac{x}{A_1} \frac{y}{A_2} \cos(\varphi_{20} - \varphi_{10}) = \sin^2(\varphi_{20} - \varphi_{10}) \quad (3)$$

合运动一般是在 $2A_1$ (x 方向)、 $2A_2$ (y 方向) 范围内的一个椭圆.椭圆的性质(方位、长短轴、左右旋)在 A_1, A_2 确定之后,主要决定于

$$\Delta\varphi = \varphi_{20} - \varphi_{10} \quad (4)$$

对于方向垂直的不同频率的简谐振动的合成,两分振动频率差 $(\omega_2 - \omega_1)$ 很小.

$$\Delta\varphi = (\omega_2 - \omega_1)t \quad (5)$$

可看作两频率相等,而 $\Delta\varphi$ 随 t 缓慢变化,如果两振动的频率成整数比,则其轨迹称为李萨如图形.如, $\omega_x : \omega_y = 3 : 2$, $\varphi_{20} = \pi/4$, $\varphi_{10} = 0$, 此时的李萨如图形见图7.

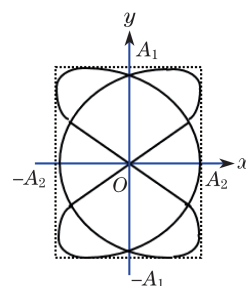


图7 李萨如图形

Fig.7 Lissajous curves

2.1.2 虚拟实验的实现

这项工作致力于研究两个垂直方向的振荡的合成.通过搭建的在线实验平台,成功获得了李萨如图形.垂直方向上的两个振荡通过连接到主电网(PNT)的变压器和由 NI ELVIS 平台(NI ELVISFG)提供的函数发生器获得,如图8所示.已知一个振荡的频率(由 NI ELVIS FG 生成的振荡频率),另一个振荡的频率可以根据式(6)计算得到.

$$\nu_y = \frac{n_x}{n_y} \nu_x \quad (6)$$

式中: n_x 和 n_y 为图形与坐标轴 x 和 y 的交点; ν_x 和 ν_y 为两个振动的频率.此应用程序的 Moodle 页面如图9所示.在线实验获得的李萨如图形和理论计算结果完全一致.

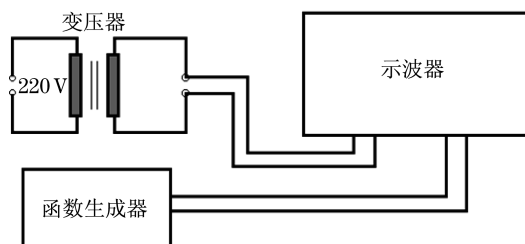


图8 垂直方向上振荡的合成示意图

Fig.8 Composite diagram of the oscillation in vertical direction



图9 李萨如应用程序的 PTP 页面

Fig.9 PTP page for Lissajous application

2.2 玻尔兹曼分布的研究

2.2.1 理论阐述

早在 1859 年,麦克斯韦应用统计概念和力学原理导出在平衡态下气体分子速率分布函数的具体形式为

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} v^2 \quad (7)$$

式中: $f(v)$ 为气体分子速率分布函数; k 为玻尔兹曼常数; T 为温度; m_0 为气体分子质量; v 为气体分子速率.该式被称为麦克斯韦速率分布函数.

玻耳兹曼把麦克斯韦速率分布律推广到气体分子在任意力场中运动的情形.当气体处于平衡状态时,在一定温度下,在速度分布间隔 $v_x \sim v_x + \Delta v_x$, $v_y \sim v_y + \Delta v_y$, $v_z \sim v_z + \Delta v_z$ 和坐标分布间隔 $x \sim x + \Delta x$, $y \sim y + \Delta y$, $z \sim z + \Delta z$ 内的分子数为

$$\Delta N' = n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-(E_k + E_p)/kT} \cdot$$

$$\Delta v_x \Delta v_y \Delta v_z \Delta x \Delta y \Delta z \quad (8)$$

式中: E_k 代表动能; E_p 代表势能; n_0 代表在 $E_p = 0$ 处单位体积内具有各种速度值的总分子数.该式被称为麦克斯韦-玻耳兹曼分布律.

将上式对速度积分,并考虑到分布函数的归一化,则玻尔兹曼分布率也可以写成如下形式为

$$\Delta N_B = n_0 e^{-E_p/kT} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (9)$$

2.2.2 虚拟实验的实现

这项物理实验教学平台工作致力于根据势能研究气体分子的分布.本文研究的是分子数密度,该分布由式(10)给出:

$$N = N_0 e^{-E_p/kT} \quad (10)$$

式中, N 为分子总数.

为了简单起见,本文的研究对象是在真空二极管(VTD)中获得的电子气体.在这种情况下,玻尔兹曼分布可以写成为

$$N = N_0 e^{-\frac{eU}{kT}} \quad (11)$$

式中: U 为制动电压; e 为电子带电量.

在 VTD 中获得电子气体过程如下:使电流通过二极管的灯丝,这会使阴极变热,从而通过热电子发射产生电子气体.

由于热电子发射产生的阳极电流强度很小,因此采用了基于仪器放大器的放大电路.为了研究电子的分布,在阳极和阴极之间施加了制动电压.

阳极电流的强度由势能高于制动能量 eU 的电子数量给出.

实验在基于 Moodle 的 NI ELVIS 平台上进行.

该应用程序的 Moodle 页面如图 10 所示.在线实验获得的玻尔兹曼分布曲线和理论计算结果完全一致.

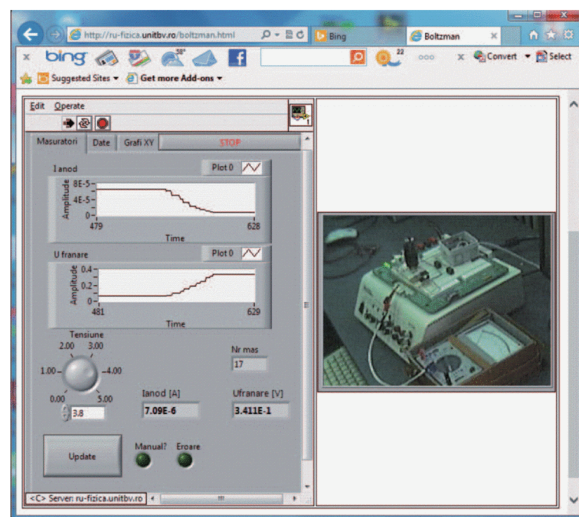


图 10 玻尔兹曼分布的 PTP 页面

Fig.10 PTP page for Boltzman distribution

2.3 温度对电阻率的影响

2.3.1 理论阐述

在温度变化范围不大时,纯金属的电阻率随温度线性增大,如式(12)所示.

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (12)$$

式中: ρ , ρ_0 分别为 t °C 和 0 °C 时的电阻率; α 称为电阻的温度系数(材料的热系数),多数金属的 $\alpha \approx 0.4\%$.

2.3.2 虚拟实验的实现

该应用致力于研究温度对铜线电阻率的影响.电阻率取决于热混沌运动,也取决于与杂质原子电子相关的波的传播.在物理实验教学平台可实现的温度范围内,电阻率与温度成线性关系,同式(12).

电阻率通过使用数字万用表测量导线电阻 R 来决定,如式(13)所示.

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (13)$$

式中: L 是长度; S 是铜导线的横截面积.

被研究的电阻是具有以下几何尺寸的铜线,长度为 3.5 m,直径为 0.24 mm.为了提高铜线的温度,将铜线缠绕在功率电阻上,利用功率电阻作为加热器.该系统封装,以便获得一个较小的温度梯度.

利用与铜线相连的温度传感器 LM35 来测量线的温度,用硅膏进行接触连接.采用 PID 算法对温度进行调节,从而获得预期的温度.

该应用程序的 Moodle 页面如图 11 所示.在线

实验获得的温度与电阻率关系的曲线和理论计算结果完全一致。

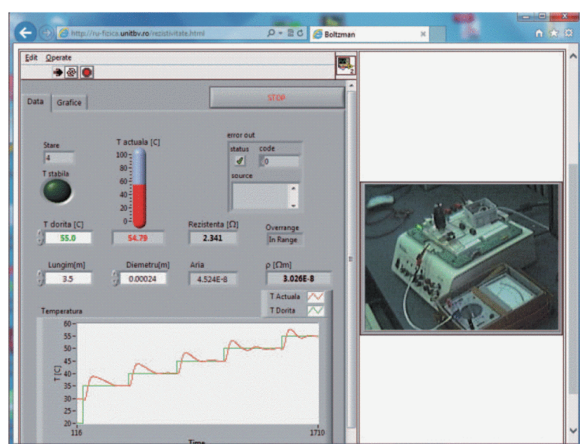


图 11 温度对电阻率影响的 PTP 页面

Fig.11 PTP page for the effect of temperature on the resistivity

3 在线物理实验教学平台使用效果的验证研究

为了验证 PTP 平台的使用效果,实验邀请了 56 名学生(志愿者)参加这项研究,4 人由于技术问题和身体原因被排除在外,实际参与者为 52 人。

3.1 相关统计

a. 访问 PTP 人次数。

图 12 为某学期每日访问 PTP 的人次数统计,这些人次数变化的数据为教师有效实施监控提供了依据。图中黄色横线为每日访问总次数的平均值,即 38 ± 3 。该图表明占全部实验者 $73\% \pm 5.8\%$ 的人每日都会访问本文所设计的 PTP 平台。

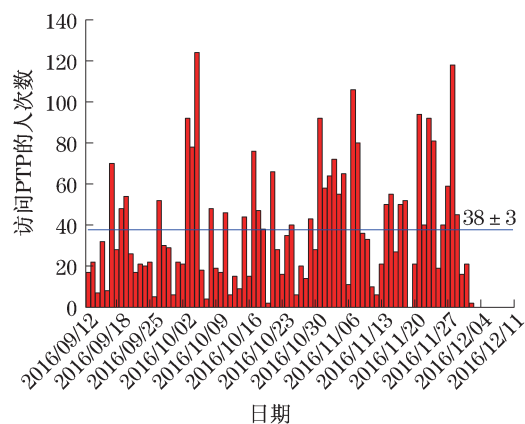


图 12 每日访问 PTP 的人次数统计

Fig.12 Daily visits to PTP

b. 访问 PTP 人次数的移动平均值。

图 13 为以周为单位的访问人次数统计,从图可看出,访问人次数呈总体上升趋势。为了更清晰地体现这一趋势,本文绘制了以周为单位的移动平均值曲线,见图 13 中的黄色曲线。

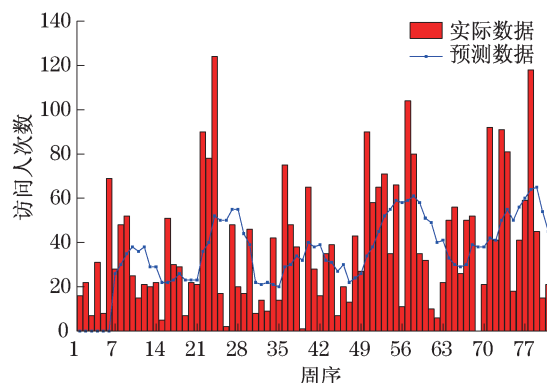


图 13 访问人次数的移动平均值(以周为单位)

Fig.13 Moving average (for one-week periods) of the total number of visits

c. 讲义下载统计。

图 14 为讲义下载统计图,从图可看出讲义下载量随时间的变化情况。最值得关注的是,在某些日期有一些峰值。这些峰值与上传到 PTP 平台的讲义的日期有关。由于教师在哪个时间上传什么部分的物理知识是有记载的,故通过图 14 教师可以了解到学生喜欢的和不喜欢的章节。另一方面,通过图 14 教师可以了解到哪个时间段学生最喜欢下载讲义,比如在学期开学和临近期中考试时。图 14 还表明了理论知识和实验操作的讲义下载量随时间的变化情况,如学期开学学生下载理论知识的讲义多,而期中附近学生下载的实验操作讲义多。统计表明,课堂讲义是在线课程中访问最多的资源。

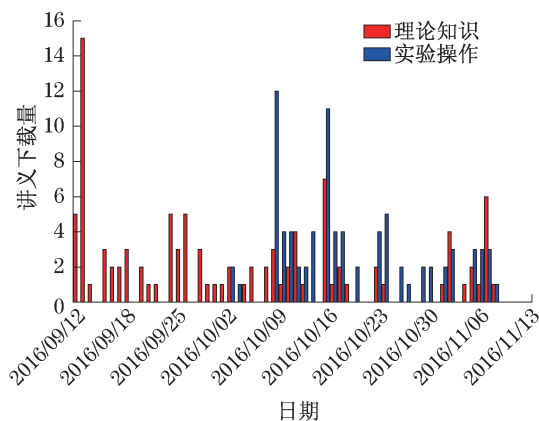


图 14 讲义下载统计

Fig.14 Downloads of the lecture notes as a function of time

3.2 验证

参与实验的 52 名学生均参加了期末测试. 考试由两部分组成: 第一个是理论部分, 包括一些概念问题, 这通常是学生感到最难的部分. 第二部分由 3 个实验操作组成.

本文分析了两组 PTP 的访问次数: 通过考试的小组 1 和没有通过考试的小组 2. 表 1 总结了所得结果.

表 1 所有参加考试学生的分数和访问 PTP 的人次数
Tab.1 Scores and number of visits to PTP for all the students attending the semester exam

通过考试		未通过考试	
分数 ≥ 60	26 人	分数 < 60	26 人
PTP 用户	24 人	PTP 用户	12 人
平均访问人次数	107 ± 20	平均访问人次数	68 ± 24

从表 1 可以看出, 参加考试的学生人数为 52 人, 其中通过考试的人数为 26 人, 未通过考试的人数也为 26 人. 值得关注的是, 通过考试的 26 人中 24 人是 PTP 用户, 而未通过考试的 26 人中只有 12 人(不到该小组人数的一半)是 PTP 用户. 另外, 对于平均访问量, 第 1 组也明显高于第 2 组. PTP 的使用和考试成绩间的关系是明显的: PTP 用户在考试获得了更高的分数.

本实验观察到的一个显著事实是, 跟随 PTP 的学生(即那些做了理论知识测验和实验操作练习的学生)在考试的理论部分比前几年获得了更高的分数. 虽然这些学生将来不一定会成为最好的专业人士, 但至少可以说, 他们已经很好地掌握了相应的学习工具.

很难判断对于心理因素的“承认效应”是否会影响本文的测试结果. 换句话说, 当学生知道他们的老师在任何时候都可以在线支持他们, 从而有助于他们的分数提高时, 他们可能倾向于更努力地学习.

4 结 论

本文提出了一个基于 Moodle 软件平台和 NI ELVIS 硬件平台实现在线物理实验教学平台工作的解决方案, 其中的 Moodle 平台被用作内容管理系统.

在线发布的用户界面基于 NI LabVIEW 提供的网络发布工具. 因此, 没有必要具有网络编程知识.

所有应用程序是在同一个 NI ELVIS 平台上开发的, 减少了所用设备的空间和成本. 所采用的解决方案为非网络编程专家提供了一个实现在线物理实验教学的有效方法.

本文所设计的 PTP 平台使用多媒体工具来创造有吸引力的活动, 使学生的学习过程更加愉悦, 增加了学生对物理研究的兴趣. 可以注意到, 随着时间的推移, 访问该平台的次数不断增加, 这表明学生对这种电子学习技术很感兴趣.

作为一个学习型社区, PTP 平台使教师与学生的互动更加容易, 也可以使平台使用双方更方便地相互提出建议并进行改善.

本文评估了利用这一电子学习平台所取得的学习效果. 经常使用平台的学生获得的分数比不使用平台的学生高. 学生传达的普遍感受是平台帮助他们提高了他们的能力和知识.

参考文献:

- [1] URIBE-TIRADO A, MELGAR-ESTRADA L M, BORNACELLY-CASTRO J A. Utilización de Moodle en la gestión de información, documental y del conocimiento en grupos de investigación [J]. El Profesional de la Información, 2007, 16(5): 468 - 474.
- [2] BEATTY B, ULASEWICZ C. Faculty perspectives on moving from blackboard to the Moodle learning management system [J]. TechTrends, 2006, 50(4): 36 - 45.
- [3] BERGGREN A, BURGOS D, FONTANA J M, et al. Practical and pedagogical issues for teacher adoption of IMS learning design standards in Moodle LMS [J]. Journal of Interactive Media in Education, 2005(1): 165 - 184.
- [4] DEMIRCI N. University students' perceptions of web-based vs. paper-based homework in a general physics course [J]. Science & Technology Education, 2007, 3(1): 29 - 34.
- [5] CHONACKY N. Has computing changed physics courses [J]. Computing in Science & Engineering, 2006, 8(5): 4 - 5.
- [6] KENNY R, BULLEN M, LOFTUS J. A pilot study of problem formulation and resolution in an online problem-based learning course [J]. International Review of Research in Open and Distance Learning, 2006, 7(3): 1268 - 1275.

(下转第 102 页)

移可靠度随时间的增加逐渐增加,最终达到位移可靠度约束 0.9 的理想效果,进一步说明该方法得到的 TMD 参数具有良好的减震效果.

本文所提出的思路与方法为计算随机激励下的结构-TMD 系统可靠度提供了新的途径,实现了概率密度演化方法在随机激励下 TMD 建筑结构优化设计中的成功应用,为随机载荷下多塔结构控制优化设计提供了很好的技术支持.

参考文献:

- [1] FANG T, WANG Z N. Complex modal analysis of random vibrations[J]. AIAA Journal, 1986, 24(2): 342-344.
- [2] LUTES L D, SARKANI S. Random vibrations; analysis of structural and mechanical systems[M]. Amsterdam: Elsevier, 2004.
- [3] 陈建兵, 李杰. 非线性随机地震响应的概率密度演化分析[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(9): 6-10.
- [4] 陈建兵, 张圣涵. 非均布随机参数结果非线性响应的概率密度演化[J]. 力学学报, 2014, 46(1): 136-144.
- [5] 谭平, 卜国雄, 刘红军, 等. 带 TMD 结构的随机地震响应分析的新方法[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(4): 390-394.
- [6] 卜国雄. 高耸结构基于性能的 TMD/AMD 设计及其动力可靠度分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [7] 王磊, 谭平, 赵卿卿, 等. 随机结构-TMD 优化设计与概率密度演化研究[J]. 振动工程学报, 2015(2): 285-290.
- [8] 陈建兵, 刘章军, 李杰. 非线性随机动力系统的概率密度演化分析[J]. 计算力学学报, 2009, 26(3): 312-317.
- [9] 李涛, 张洵安. 基于概率密度演化方法的随机 MSCSS 构造研究[J]. 应用力学学报, 2011, 28(6): 576-582.
- [10] 陈建兵, 李杰. 结构随机响应概率密度演化分析的数论选点法[J]. 力学学报, 2006, 38(1): 134-140.
- [11] 陈建兵, 李杰. 非线性随机结构动力可靠度的密度演化方法[J]. 力学学报, 2004, 36(2): 196-201.
- [12] 唐文艳. 结构优化中的遗传算法研究和应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.

(编辑: 石 瑛)

(上接第 90 页)

- [7] LANDAU R. Computational physics: a better model for physics education? [J]. Computing in Science & Engineering, 2006, 8(5): 22-30.
- [8] GUSTAVSSON I, ZACKRISSON J, HÅKANSSON L, et al. The VISIR project-an open source software initiative for distributed online laboratories [R]. REV, 2007.
- [9] GUSTAVSSON I, ZACKRISSON J, NILSSON K, et al. A flexible electronics laboratory with local and remote workbenches in a grid[J]. International Journal of Online Engineering, 2008, 4(2): 12-16.
- [10] SALZMANN C, GILLET D. Remote labs and social media: agile aggregation and exploitation in higher engineering education [C] // Proceedings of 2011 Global Engineering Education Conference. Amman, Jordan: IEEE, 2011: 307-311.

(编辑: 丁红艺)