

# 基于云存储的在线实验教学平台设计与实现

蔡增玉,冯春明,李朋蓉,钱慎一,冯媛,江楠

(郑州轻工业大学 计算机与通信工程学院,河南 郑州 450002)

**摘要:**为提高在线实验教学平台应用的便捷性和实验考核的智能性,构建基于云存储的在线实验教学平台。该平台基于MVVM架构开发,分为视图层、通信层、业务层、数据持久化层以及数据库层,应用HTTPS协议、CDN云存储、RBAC访问控制等技术,很好地实现了在线实验教学平台的核心功能。试用结果表明,系统能够有效地支撑实验教学活动的线上开展,提高了实验教学效率,具有很好的应用推广价值。

**关键词:**在线实验;云存储;架构设计;实验教学平台

**DOI:**10.11907/rjdk.231967

**中图分类号:**TP311

**文献标识码:**A

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**

**文章编号:**1672-7800(2024)008-0275-06



## Design and Implementation of Online Experimental Teaching Platform Based on Cloud Storage

CAI Zenyu, FENG Chunming, LI Pengrong, QIAN Shenyi, FENG Yuan, JIANG Nan

(School of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to improve the convenience of the online experimental teaching platform and the intelligence of the experimental assessment, an online experimental teaching platform based on cloud storage is constructed. The platform is developed based on MVVM architecture, divided into view layer, communication layer, business layer, data persistence layer and database layer, and applies HTTPS protocol, CDN cloud storage, RBAC access control and other technologies to achieve the core features of the online experimental teaching platform. The trial results show that the system can effectively support the online development of experimental teaching activities, improving experimental teaching efficiency, and has good application and promotion value.

**Key Words:** online experiment; cloud storage; architecture design; experimental teaching platform

### 0 引言

实验教学是培养学生能力的重要载体,是提升学生实践技能、工程能力和创造性思维能力的重要环节,在高等教育中一直扮演着相当重要的角色。然而,传统的线下实验教学需要实验场所及实验设备的支持,实验过程也存在材料消耗、设备损坏等问题,这些弊端限制了实验的参与

人数和效率<sup>[1-2]</sup>。随着信息科技的不断创新与普及,教育行业信息化迎来了新机遇,融合了“智能+”与“互联网+”技术的在线教学已成为中国和世界高等教育的重要发展方向<sup>[3]</sup>。特别是随着新冠病毒疫情给全国乃至世界范围内的教育行业带来新挑战,在线教育成为重要的教学手段,线上实验教学模式也逐渐被更多师生接受<sup>[4]</sup>。教育部印发《疫情防控期间做好高校在线教学组织与管理工作指导意见》等文件,要求各高校积极开展线上授课和线上学习

收稿日期:2023-09-07

扫描二维码阅读全文:



**基金项目:**国家自然科学基金项目(62072416);河南省重点研发专项(221111210500);河南省虚拟仿真实验教学项目(教高[2020]502号)

**作者简介:**蔡增玉(1979-),男,CCF会员,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院副教授,研究方向为计算机网络与网络安全;冯春明(1999-),男,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院学生,研究方向为软件开发;李朋蓉(1999-),女,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院硕士研究生,研究方向为网络安全;钱慎一(1975-),男,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院教授,研究方向为人工智能;冯媛(1978-),女,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院副教授,研究方向为网络安全;江楠(1981-),男,郑州轻工业大学计算机与通信工程学院高级工程师,研究方向为计算机网络与网络安全。本文通讯作者:蔡增玉。

等在线教学活动<sup>[5-6]</sup>。

在各种社会因素与政策支持的推动下,越来越多人认识到更加智能和便捷的线上实验教学平台在科研及实验教学应用中的重要性,许多高校与机构开始积极推进实验的线上化。在线实验教学平台构建逐渐成为实验教学的研究热点之一,并取得了系列成果<sup>[7-15]</sup>。比较典型的有北京航空航天大学基于云计算的在线实验教学平台<sup>[10]</sup>、基于3D可视化的嵌入式系统Web在线仿真实验平台<sup>[11]</sup>、东南大学的电工电子远程在线实物实验平台<sup>[12]</sup>、北京理工大学的大规模在线虚拟实验教学平台<sup>[13]</sup>、吉林大学基于大数据分析的高校实验教学平台<sup>[14]</sup>、同济大学基于微信平台的在线实验平台<sup>[15]</sup>等。随着这些在线实验教学平台的应用和推广,逐渐实现了实验教学活动的“线上化”,一定程度上保障了疫情防控期间的实验教学活动开展。但已有的在线实验平台多侧重于实验资源共享、实验操作虚拟化呈现等功能的实现,且多是针对某个特定领域,缺少实验考核、实验讨论等特色功能以及针对平台普适性、可扩展性以及安全性的设计。

本文以提高在线实验教学平台应用的便捷性和实验考核的智能性为导向,应用MVVM(Model-View-ViewModel)架构、云存储、RBAC(Role-Based Access Control)模型等技术,设计并实现了适用于多种课程实验、基于云存储的在线实验教学平台。其中,MVVM架构主要解决了以往系统架构耦合性较强的问题,提高了系统的可扩展性和可维护性;云存储主要解决了静态资源存储的访问速率瓶颈以及单点故障问题,提升了用户的文件访问体验;RBAC模型用于构建系统的鉴权服务,可有效提高系统的可靠性和安全性。

## 1 基于云存储的在线实验教学平台需求分析

### 1.1 功能需求分析

本系统功能模块的划分主要是基于用户角色,如教师登录后显示的是教师子系统界面,只能做教师权限内的事情。所以在对本系统进行需求分析时,也是在对每个角色用例进行分析。本系统的用户分为管理员、教师和学生3个角色。

(1) 管理员。具有人事管理、组织管理、课程实验管理、用户反馈信息查看及回复、系统参数配置、全局信息配置、系统数据统计信息查看等权限。

(2) 教师。具有课程管理、实验结果审阅、新实验发布、讨论、私信聊天、通知查看、系统反馈、课程公告发布等权限。

(3) 学生。具有实验说明书阅读、实验报告撰写、笔记阅读、讨论、私信聊天、通知查看、问题反馈等权限。

### 1.2 非功能需求分析

(1) 性能需求。业务平均响应时长应当尽可能短,至

少应在2 s内给出响应;在进行数据批量导入时,平均数据处理时长不应超过10 s;支持系统并发访问。

(2) 安全性需求。对不同用户,根据其角色的不同赋予其不同的权限列;系统对每次请求进行鉴权处理,驳回不具备相关权限的用户请求;在系统和用户之间传输的一些敏感数据加密,如用户登录密码、鉴权参数等。

(3) 易用性需求。系统界面设计应尽量简洁,一目了然,不能出现误导性质的界面;操作简单,降低用户的学习使用成本。

(4) 可维护性需求。在系统开发过程中保持一致的代码风格,作好注释;写出完备的接口文档与其他设计开发文档,以备后期维护之用。

## 2 平台设计

### 2.1 架构设计

基于云存储的在线实验教学平台的层级包括视图层、通信层、业务层、数据持久化层以及实际存储数据的数据库层。平台架构如图1所示。

(1) 视图层。用来渲染展示数据并与用户进行交互,用户通过在该层级的操作可以向服务端发送请求。该部分主要使用Vue框架及Uni-app框架实现。

(2) 通信层。客户端和服务端的通信采用HTTPS协议,该协议可以有效防止重放攻击、中间人攻击等网络攻击,以保障系统通信数据的安全性。

(3) 业务层。在服务端收到客户端发送的请求后,系统会调用Redis缓存中间件、云对象存储服务、消息队列服务以及数据持久化服务等,在业务层进行相应的业务处理。此外,也会进行相关操作的日志记录。

(4) 持久层。主要由Mybatis框架承担系统分数据的DDL操作,同时管理数据缓存。所采用的数据库连接池是Alibaba的Druid,相较于传统的C3P0数据库连接池和DB-CP数据库连接池,其拥有更好的性能,也更加轻量。

(5) 数据库层。数据库主要由MongoDB、MySQL及Redis组成,其中MongoDB主要用来存储数据量较大的消息数据,MySQL主要用来存储系统中的普通业务数据及权限信息等,Redis主要用来进行业务数据缓存及用户鉴权字段存储。

### 2.2 功能设计

系统根据用户所对应的角色不同,划分为3个子系统:学生子系统、教师子系统及管理员子系统。其中,学生子系统的功能包括个人信息管理、实验报告提交、消息管理等;教师子系统的功能包括个人信息管理、课程基本信息编辑、报告审阅、实验发布等;管理员子系统的功能包括人事管理、课程管理、全局信息设置及回复反馈等。系统主要功能模块如图2所示。

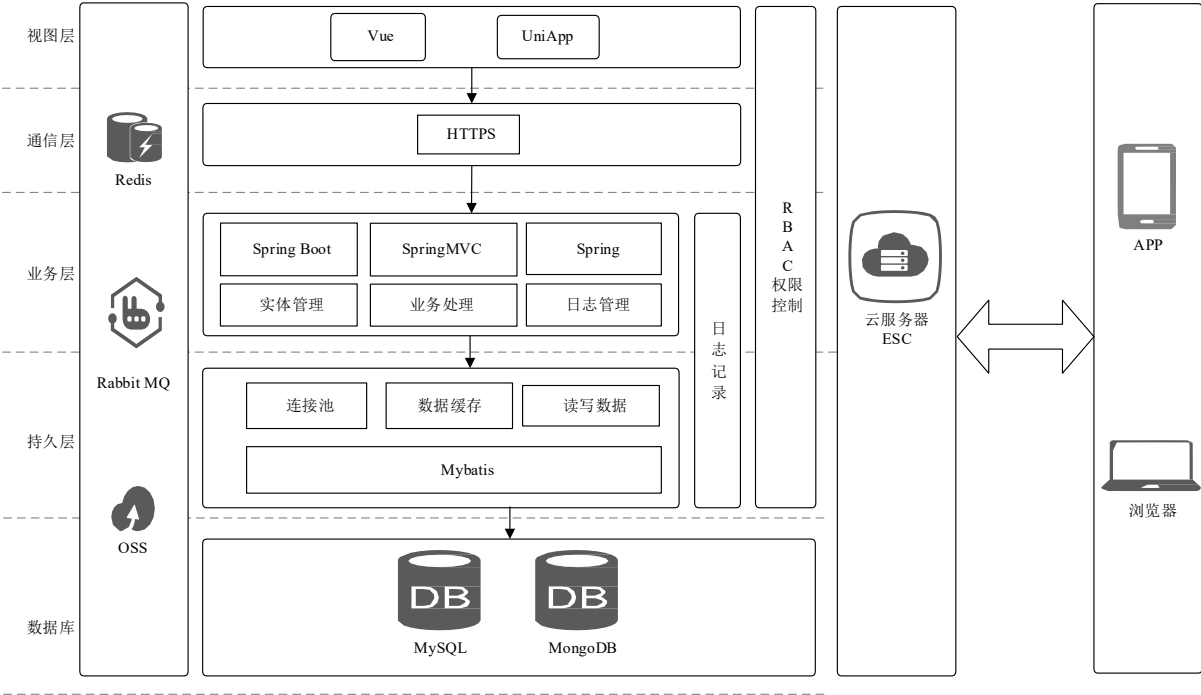


Fig. 1 Architecture of online experimental teaching platform based on cloud storage

图 1 基于云存储的在线实验教学平台架构

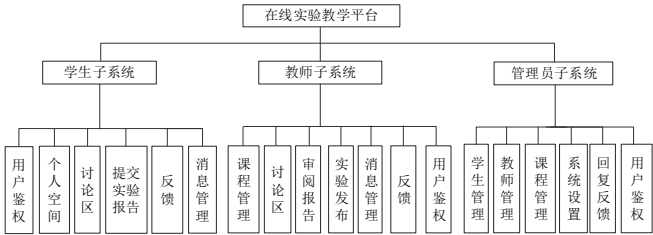


Fig. 2 Functional module of online experimental teaching platform based on cloud storage

图 2 基于云存储的在线实验教学平台功能模块

2.3 数据库设计

数据库的合理设计是系统稳定运行的基石。本文主要采用MySQL数据库来存储系统所产生的业务数据及权限信息等,以满足数据库实体的完整性以及各个实体关联关系的完备性。系统E-R图如图3所示。所创建的数据表包括用户表、角色表、权限表、课程表、实验表、实验报告表、实验说明书表、讨论表、班级表、反馈表、系统设置表、学生快照表、教师课程关联表、课程班级关联表等。

3 平台实现关键技术

3.1 系统登录

为了保证系统用户信息的安全性以及系统多设备登录的稳定性,登录模块作为系统建设的基石显得至关重要。本系统的登录方式主要分为两种:

(1) 账号口令登录。为了防止口令泄露,系统采用RSA非对称加密算法对传输的口令进行加密。用户在每次登录前,客户端先向服务器获取公钥,然后将使用公钥

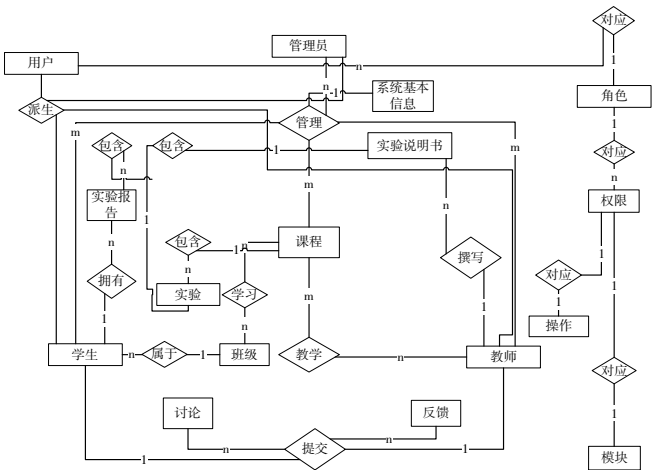


Fig. 3 E-R diagram of online experimental teaching platform based on cloud storage

图 3 基于云存储的在线实验教学平台 E-R 图

加密后的密文传输回服务端;服务端收到账号密码后,先对其进行RSA解密,再运行MD5消息摘要算法,之后查询数据库中对应的账号密码,并将其与运算得到的MD5哈希值进行比对。如果比对成功,会向客户端返回用户基本信息及鉴权信息集。其中,鉴权信息集中的token是指在服务端使用Jwt技术生成的用户唯一标识,random是指用来鉴别当前用户密码是否被修改的字段。

(2) 二维码扫码登录。当用户需要在Web端登录时可以使用移动端进行扫码登录。扫码登录基于WebSocket实现,且使用了安全性较高的WSS协议,以保证数据传输

安全。在扫码登录流程中,Web端和服务端保持了一个WebSocket长连接,该连接使用的标识是根据连接时的时间戳和随机数生成的。服务端接收到请求后会使用WebSocket向Web端发送用户相关信息及鉴权信息集,鉴权验证通过后登录成功,并且进行页面跳转。

### 3.2 系统鉴权

本系统的认证鉴权模块采用基于角色的访问控制模型(RBAC),该模型主要由用户、角色和权限3部分组成。本系统基于MVVM前后端分离的架构模型,采用Shiro框架进行权限认证,并采用Jwt技术生成用户的唯一标识。用户每次向服务端发送请求时,都会在请求头中携带唯一标识token。系统鉴权机制会在用户请求到达业务方法之前进行拦截,判断当前token是否有效,并查询当前token所对应用户的权限列表,以判断当前用户是否有权限访问目标业务方法。同时,本系统会使用redis对token进行二重鉴权,在判断token是否有效前,先判断redis是否存在对应的token。如不存在,则会直接拒绝访问。redis中的token会在登录时放置,退出登录或token过期时将其删除。

另外,登录成功后还会返回一个鉴权字段random,设置random字段是为了更好地支持多端登录。如果用户向服务端发送请求时服务端发现用户提供的random字段不正确,则认为当前访问用户密码失效,拒绝访问并通知客户端重新进行登录。认证鉴权活动图如图4所示。

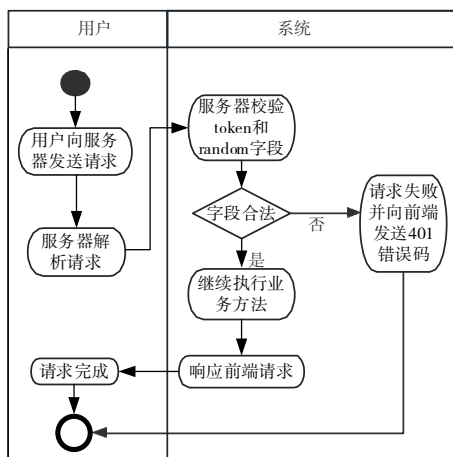


Fig. 4 Certification authentication activity diagram

图4 认证鉴权活动图

### 3.3 实验报告提交

实验报告的提交是整个实验流程中的重要组成部分,本模块的实现中使用云存储来保存上传的附件和实验报告撰写过程中上传的图片、文件等。实验报告提交页面首先获取当前访问用户所对应班级的所有课程及实验,并递归作树形呈现。用户可以选择树形目录中某一门课的某个实验进行实验报告编辑,本系统使用开源项目WangEditor作为富文本编辑器。学生在撰写实验报告过程中,如果进行图片或附件上传操作,上传内容在经过服务端处理后会上传到云端。

### 3.4 实验考核

教师需要对学生提交的实验报告进行审阅与评价,完成实验考核。这是师生之间交互的一个重要组成部分,也是评判学生实验成果的一个重要标准。本系统采用级联选择器对课程、实验及班级等基础数据进行树形展示,然后教师会对课程、实验及班级进行选择,之后向后台调取该班级的学生名单,并根据返回数据中的学生是否完成实验并提交了实验报告作区分处理。完成实验的学生位于列表上部,未完成实验的位于列表下部,且未提交实验报告的学生会被标红,处理方法是使用链表的尾插法和头插法。当教师点击某个已完成实验的用户,会向后台请求该用户的实验报告,教师审阅完成后可以提交实验报告的评语及评分。后台校验数据合法后会将其保存并对用户进行成功响应。实验审阅模块运行截图如图5所示。

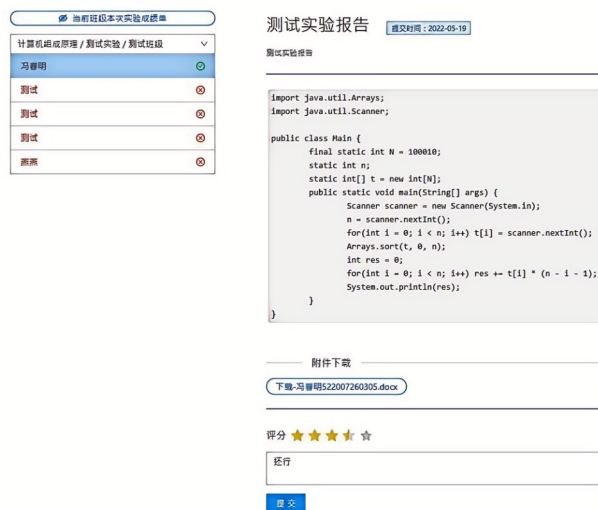


Fig. 5 Screenshot of the operation of experimental review module

图5 实验审阅模块运行截图

### 3.5 实验讨论

在本系统的某一门课程下,登录用户可以针对该课程发起一个新的讨论话题,也可以参与别的用户发起的话题。该机制可以促进教师与学生、学生与学生之间的交流。由于讨论数据一般都是嵌套递归的,所以本模块采用了懒加载的数据加载模式,以减轻服务器以及数据库的压力。

### 3.6 用户私信

本系统引入支持即时通信的私信模块,以提高用户之间交流的便利度。私信的实现主要基于WebSocket、RabbitMQ以及MongoDB。WebSocket用来保持客户端与服务端之间长连接的稳定性,以保证私信聊天的实时性;RabbitMQ用来减轻消息高峰期服务端的压力;MongoDB则用来实现消息的持久化。

### 3.7 系统优化

结合本系统架构实际,对系统所作优化包括前端界面优化、数据库优化、后端优化及Web容器优化等。

(1) 前端页面优化。将静态资源放置在云对象存储

服务器上,Vue 的项目组件采用 CDN 的方式引入,以缩小前端项目包大小,降低系统服务端的请求流量。

(2) 数据库优化。采用反规范化的设计,减少表与表之间的关联关系,增加了冗余数据,从而提高数据库查询效率;对查询操作较多的表建立索引,提高数据库检索速度;使用 Redis 作为二级缓存,对热点数据进行缓存。

(3) 后端优化。对于不存在线程安全问题的对象,使用单例模式创建,以避免系统资源浪费;JVM 虚拟机设定适合系统环境的参数,从而使系统更好地发挥功能。

(4) Web 容器优化。对 Tomcat 进行系列优化,主要包括调整线程池、连接器、IO 模式等。

4 系统测试

4.1 测试环境

本系统测试工具 Jmeter 和 Web 系统部署在同一台机器上,机器软硬件配置如下:内存为 16 GB,CPU 为 Intel Core-i7 2.8GHz,Web 服务器为 Nginx 1.20.2、Tomcat8.05,操作系统为 Centos7,数据库为 MongoDB 4.4.6、Redis 6.2.6 和 MySQL 8.0.24,消息队列为 RabbitMQ 3.8.9,Java 运行环境为 JDK 8。

4.2 性能测试

通过使用 Jmeter 对本系统中访问频率较高的模块进行测试,以评估系统在业务高发期的抗压能力。通过开启 500 个线程模拟 500 个用户,分别采集优化前系统和优化后系统的响应时间、吞吐量、数据接收率等性能参数,具体测试结果如表 1 所示。

Table 1 System performance test results

表 1 系统性能测试结果

| 测试项目       | 优化前   | 优化后   |
|------------|-------|-------|
| 平均响应时间/s   | 3.858 | 2.965 |
| 中位响应时间/s   | 3.632 | 2.899 |
| 最小响应时间/s   | 1.198 | 0.811 |
| 最大响应时间/s   | 8.326 | 6.505 |
| 吞吐量(请求数/s) | 52.17 | 66.12 |

从表 1 可以看出,系统优化前,系统响应时间最短为 1.198 s,最长为 8.326 s,平均访问时间为 3.858 s,中位响应时间为 3.632 s,吞吐量为 52.17;系统优化后,系统响应时间最短为 0.811 s,最长为 6.505 s,平均访问时间为 2.965 s,中位响应时间为 2.899 s,吞吐量为 66.12。通过对比发现,系统的响应时间、吞吐量等性能指标都得到了明显提升。

4.3 功能测试

本平台的主要功能模块包括登录、个人信息管理、讨论区、反馈和消息管理等公共模块,以及实验报告提交、实验报告审阅、实验发布等角色特有的功能模块。功能测试部分设计了详细的测试用例,依从各个功能模块的执行流程对平台进行了黑盒测试,并使用 Postman 接口测试工具对系统的各个功能接口进行了测试。系统主要功能模块

顺利通过了相关测试,具体结果如表 2 所示。

Table 2 System main module function test results

表 2 系统主要模块功能测试结果

| 模块            | 测试内容                         | 测试结论 |
|---------------|------------------------------|------|
| 登录            | 账号密码登录、扫码登录                  | 实现   |
| 个人信息管理        | 相关数据统计、个人信息、通知显示;个人信息修改      | 实现   |
| 讨论区           | 查看讨论列表、发布新话题及参与讨论            | 实现   |
| 反馈            | 查看及回复反馈                      | 实现   |
| 消息管理          | 查看系统消息、私信聊天                  | 实现   |
| 实验报告提交        | 获取实验说明书,提交实验报告及上传附件          | 实现   |
| 实验报告审阅        | 实验报告评分、提交评语                  | 实现   |
| 实验发布          | 选择某一课程,编写实验基本信息及实验说明书        | 实现   |
| 学生、教师、课程及班级管理 | 学生信息、教师信息、课程信息及班级信息的添加/删除/修改 | 实现   |
| 系统设置          | 系统通用信息设置                     | 实现   |

4.4 试用分析

在本系统的试运行阶段,邀请了笔者所在学院的 400 余名师生进行了试用。在 3 个月的试用过程中,该系统总计被访问 32 261 次,共计存放了 1 426 篇实验结果和相关实验资料,且未出现数据异常、系统宕机等问题。通过线上调查问卷以及线下访谈的方式对系统使用情况进行分析发现,师生对该系统的评价很高,对系统具有的数据可追溯性特点以及标准化、高效流程表示赞赏。线上调查问卷共有 386 人参与,表 3 为问卷调查部分字段数据统计结果。

Table 3 System trial questionnaire survey results

表 3 系统试用问卷调查结果

| 问题           | 赞同比(赞同人数/总人数)/% |
|--------------|-----------------|
| 工作效率提高       | 89              |
| 数据可追溯性提高     | 95              |
| 实验流程标准化程度提高  | 97              |
| 效率不如原纸质化实验流程 | 2               |

5 结语

针对现有在线实验教学平台的不足,构建了基于云存储的在线实验教学平台。通过本系统,实验平台管理人员可以对人员、课程及实验等进行管理;学生用户可以阅读实验说明书、提交实验报告以及与其他用户讨论实验问题;教师用户可以进行课程管理、实验发布以及问题答疑。此外,为了提升学生用户阅读实验报告及交流的便捷性,系统也提供了移动版。笔者所在单位对该系统进行了试用,试用者认为本系统能够有效地支撑实验教学活动的线上开展,提高了实验教学效率,具有很好的应用推广价值。

## 参考文献:

- [1] SHI L Y, LI Y. Exploration and practice of online open experiments for network security based on MOOE [J]. Journal of Laboratory Research and Exploration, 2018, 37 (9): 215-219.  
石乐义, 李阳. 网络安全在线开放实验实践探索[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(9): 215-219.
- [2] HE Y Z, WANG W, LI L. Construction of information security experimental teaching platform based on cloud computing [J]. Computer Education, 2014(1): 39-42.  
何永忠, 王伟, 黎琳. 基于云计算的信息安全实验教学平台建设[J]. 计算机教育, 2014(1): 39-42.
- [3] SUN C J, LIU G L. A preliminary study on online practical teaching of computer communication and network experiment course [J]. Chinese Journal of Multimedia and Network Teaching (first issue), 2021(7): 57-59.  
孙翠娟, 刘桂丽. 计算机通信与网络实验课程线上实践教学初探[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2021(7): 57-59.
- [4] ZHENG L, HU R J, DU G L, et al. Research and exploration of new technology in remote online experiment platform [J]. Laboratory Research and Exploration, 2021, 40 (5): 163-169.  
郑磊, 胡仁杰, 堵国樑, 等. 新技术在线上实物实验平台的研究与探索[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(5): 163-169.
- [5] Ministry of Education of the People's Republic of China. Guiding opinion of the office of the leading group for the response to the novel coronavirus infection of pneumonia epidemic of the Ministry of Education on doing a good job in the organization and management of online teaching in ordinary colleges and universities during the epidemic prevention and control period [EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205\\_418138.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205_418138.html).  
中华人民共和国教育部. 教育部应对新型冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组办公室关于在疫情防控期间做好普通高等学校在线教学组织与管理工作的指导意见 [EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205\\_418138.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205_418138.html).
- [6] Ministry of Education of the People's Republic of China. Notice of the office of the leading group of the Ministry of Education for the response to the novel coronavirus infection of pneumonia epidemic on supporting education and teaching work with informatization during the epidemic prevention and control period [EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202002/t20200214\\_421005.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202002/t20200214_421005.html).  
中华人民共和国教育部. 教育部应对新型冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组办公室关于疫情防控期间以信息化支持教育教学工作的通知 [EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202002/t20200214\\_421005.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202002/t20200214_421005.html).
- [7] ZHOU J. Deep learning-driven distributed communication systems for cluster online educational platform considering human-computer interaction [J]. International Journal of Communication Systems, 2022, 35(1): e5009.
- [8] BAO Y, ZHENG H, ZHAO Q. Development and practice of mobile internet experimental platform system [J]. Journal of Internet Technology, 2022, 23(2): 407-414.
- [9] CHUNG H, SARKER S, LONG S, et al. A comparative study of online and face-to-face embedded systems learning course [J]. ACM International Conference Proceeding Series, 2018(18): 63-72.
- [10] XING Z, YAO N, LU X. Design and construction of virtual simulation experiment platform based on cloud computing [C]//Guangzhou: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.
- [11] LI H Y, NIU J W, DOU Y B, et al. Design and implementation of embedded system Web online simulation experiment platform based on 3D visualization [J]. Experimental Technique and Management, 2021, 38 (9): 256-261.  
李辉勇, 牛建伟, 豆渊博, 等. 基于3D可视的嵌入式系统Web在线仿真实验平台设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(9): 256-261.
- [12] TANG X J, ZHENG L, HU R J, et al. Construction and practice of remote online physical experiment platform for electrics and electronics [J]. Laboratory Research and Exploration, 2021, 40(12): 148-153.  
汤雪娇, 郑磊, 胡仁杰, 等. 电工电子远程在线实物实验平台的建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(12): 148-153.
- [13] LI L, CHEN Y F, LI Z J, et al. Construction and practice of large-scale online virtual experiment teaching platform [J]. Experimental Technology and Management, 2018, 35(7): 144-147.  
李林, 陈宇峰, 李仲君, 等. 大规模在线虚拟实验教学平台的建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(7): 144-147.
- [14] MA J, HE Y, LI X, et al. Design of college experimental teaching platform based on big data analysis [J]. Modern Electronic Technology, 2022, 45(13): 159-164.  
马健, 贺媛, 李昕, 等. 基于大数据分析的高校实验教学平台设计[J]. 现代电子技术, 2022, 45(13): 159-164.
- [15] LIU Y, ZHU R X. Construction of CADD online experiment based on WeChat platform [J]. Laboratory Science, 2021, 24(4): 133-136.  
刘艳, 朱瑞新. 基于微信平台构建CADD在线实验[J]. 实验室科学, 2021, 24(4): 133-136.

(责任编辑: 黄健)