

广东工业大学硕士学位论文

(工程硕士)

面向智慧校园的虚拟实验平台
研究与实现

黄教强

二〇一八年五月

分类号:

学校代号:11845

UDC:

密级:

学号:2111503039

广东工业大学硕士学位论文

(工程硕士)

面向智慧校园的虚拟实验平台 研究与实现

黄教强

校内导师姓名、职称: 刘东峰教授

学科(专业)或领域名称: 电子与通信工程

学 生 所 属 学 院: 信息工程学院

论 文 答 辩 日 期: 2018 年 5 月

A Dissertation Submitted to Guangdong University of Technology for
the Degree of Master
(Master of Engineering)

Research and implementation of virtual experiment
platform for Smart Campus

Candidate: Jiaoqiang Huang

Supervisor: Prof.Dongfeng Liu

May 2018
School of Information Engineering
Guangdong University of Technology
Guangzhou, Guangdong, P. R. China, 510006

摘要

智慧校园是一种借助于物联网、虚拟化和云计算等前沿科技来改变师生和校园资源交互方式的信息服务平台。它采用应用服务软件作为载体，与学校的教学资源进行整合，目前已成为校园信息化建设的热点。虚拟实验平台是智慧校园的应用成果之一，它是一种通过网络技术构建的仿真教学系统。学校采用虚拟教学既可以提高学生的学习热情，又可以为学校提供新的教学模式。本文首先对国内某高校的虚拟实验管理系统进行分析，总结网络虚拟实验平台的功能，并分析其目前存在的问题。通过研究发现，在实验指导模块，该虚拟实验平台提供在线实验指导书，学生在做虚拟实验的过程中遇到问题时可对其进行翻阅，但是此功能的特点是查阅效率低，不能即时解决学生的疑问；而且该平台的实验报告设置成让学生填空的方式，其优点是系统可以自动识别答案，提高了评阅效率，其缺点是实验报告功能单一，无法准确判断学生对实验的掌握程度。

针对上述问题，本文主要围绕虚拟实验平台的设计与实现进行需求分析、总体设计以及程序开发实现。在需求分析阶段，本文得出了虚拟实验平台的虚拟实验、用户管理、网络聊天室和虚拟实验管理四个详细的功能模型以及学生、老师、管理员三个用户角色模型。在总体设计阶段，首先，本文通过对 **Client/Server** 和 **Browser/Server** 两种结构进行分析和比较，基于可拓展性和可维护性，选用 **Browser/Server** 结构来进行本文的虚拟实验平台开发；然后，本文从实际需求出发选择 **MySQL** 数据库和 **E-R** 模型图完成了系统数据库表的设计；此外，本文在对 **Http** 和 **WebSocket** 两种网络通信协议的特点进行分析和比较后，选用 **WebSocket** 网络通信协议为平台内置的网络聊天室带来稳定高效的传输效果。在开发实现阶段，本文借助 **SSM** 框架和 **MVC** 的设计模式对平台进行分层开发，有效的保障了软件的扩展性；针对虚拟实验操作，本文采用 **Unity3D** 的 **WebGL** 技术进行开发，保证学生借助浏览器即可操作虚拟仪器进行实验；针对实验图片上传问题，本文采用 **Nginx** 和 **Ftp** 搭建图片服务器，解决了集群环境下用户访问图片的问题；出于对平台安全性的考虑，本文采用 **Shiro** 安全框架实现了用户的认证与授权。

综上所述，本文设计并实现了虚拟实验平台内置的网络聊天室以供师生交流，提高了答疑解惑的效率，取代了在线实验指导书，改进了实验指导方式。聊天室具有群

聊和私聊两个模式，既方便多人讨论问题，又便于用户私底下对问题进行深入的探讨。本文在实验报告的功能模块中，设计了图文并茂的模式，不仅能够填写文字信息，还能够上传实验结果图片，使得老师能够更加深入全面地了解学生对实验的掌握程度。本文研究的虚拟实验平台不仅给学生提供了一个学习实践的场所，给老师提供了一种辅助教学的模式，还给学校节约了真实实验场景中需要用到的实验仪器和材料，因此本文研究的虚拟实验平台具有非常高的现实意义。

关键词：虚拟实验平台；WebSocket 通信协议；SSM 框架；WebGL 技术

Abstract

The Smart Campus is an information service platform that uses frontier technologies such as the Internet of Things, virtualization and cloud computing to change the interactive way of teachers, students and campus resources. It uses the application service software as a carrier, be integrated with the school's teaching resources, now has become a hot spot in campus information construction. The virtual experiment platform is one of the application results of the smart campus. It is a simulation teaching system constructed by means of the Internet. The use of virtual teaching in schools not only improves students' enthusiasm for learning but also provides new teaching modes. This paper first analyzes the virtual experiment management system of a certain university in China, summarizes the function of the network virtual experiment platform, and analyzes its current problems. Through research, it is found that in the experimental guidance module, the virtual experimental platform provides on-line experimental instructions, and students can read it when they encounter problems in the process of doing virtual experiments. However, this function is characterized by low efficiency of reference and students' questions cannot be resolved immediately. Moreover, the experimental report of the platform is set to allow students to fill in the blanks. The advantage of this platform is that the system can automatically identify the answers and improve the review efficiency. The disadvantage is that the experimental report has a single function and cannot accurately determine students' mastery of experiments.

In order to solve the above problems, this paper mainly focuses on the design and implementation of the virtual experimental platform to conduct requirements analysis, overall design and program development. In the demand analysis phase, this paper has drawn four detailed functional models of virtual experiment platform virtual experiment, user management, network chat room and virtual experiment management, and three user role models of students, teachers and administrators. In the overall design stage, first of all, this paper analyzes and compares the Client/Server and Browser/Server structures. Based on scalability and maintainability, the Browser/Server structure is selected to implement the virtual experimental platform development. Then, this article selects the MySQL database

and ER model diagram from the actual needs to complete the design of the system database table; In addition, this article analyzes and compares the characteristics of the two network communication protocols of Http and WebSocket, and then selects the WebSocket network communication protocol ,brings the platform built-in Internet chat room stable and efficient transmission. In the stage of development and implementation, this paper uses the SSM framework and MVC design pattern to develop the platform hierarchically, which effectively guarantees the scalability of the software. For the virtual experiment operation, this article adopts Unity3D's WebGL technology for development, ensuring that students can use the browser to operate the virtual instrument to experiment; For the problem of uploading experimental pictures, this paper uses Nginx and Ftp to build a picture server, which solves the problem of users accessing pictures in a cluster environment. For the consideration of platform security, this paper adopts Shiro security framework to implement user authentication and authorization.

In summary, this paper designed and implemented a virtual experiment platform built-in network chat room for teacher-student exchange, improved the efficiency of answering doubts, replaced the online experiment instruction book, and improved the experimental guidance method. The chat room has two modes of group chat and private chat, which are convenient for groups to discuss the issue and facilitate the user to discuss the issue in private. In the function module of the experiment report, this article designs a pattern including pictures and texts, not only can fill in the text information, but also can upload the image of experimental result, so that the teacher can know the students' mastery of the experiment more thoroughly and comprehensively. The virtual experiment platform studied in this paper not only provides students with a place for learning and practice and provides teachers with a mode of assisted teaching, but also saves the the experimental instruments and materials needed in real experimental scenarios for schools. Therefore, the virtual experiment platform studied in this paper has a very high practical significance.

Keywords: Virtual experiment platform; WebSocket communication protocol; SSM frame; WebGL technology

目录

摘要	I
Abstract	III
目录	V
Contents	VIII
第一章 绪论	1
1.1 课题研究的背景及意义	1
1.2 虚拟实验室的发展现状	2
1.2.1 国内研究发展现状	2
1.2.2 国外研究发展现状	3
1.3 论文的主要内容与总体结构	4
1.4 本章小结	5
第二章 虚拟实验室案例分析及基本原则	6
2.1 虚拟实验室案例分析	6
2.1.1 虚拟实验室案例介绍	6
2.1.2 虚拟实验室优缺点分析	8
2.2 构建虚拟实验室的基本原则	9
2.3 本章小结	10
第三章 三维虚拟实验平台的需求分析	11
3.1 平台的功能分析	11
3.1.1 虚拟实验模块功能	11
3.1.2 用户管理模块功能	12
3.1.3 网络聊天室模块功能	13
3.1.4 虚拟实验管理模块功能	14
3.2 平台角色用例分析	15
3.3 本章小结	18
第四章 三维虚拟实验平台的总体设计	19

4.1 平台的体系结构设计	19
4.1.1 Client/Server 体系架构	19
4.1.2 Browser/Server 体系架构	19
4.1.3 本平台的体系解决方案	20
4.2 平台的数据库设计	21
4.2.1 数据库的设计原则	21
4.2.2 平台的 E-R 模型	22
4.2.3 虚拟实验及实验管理数据库表设计	24
4.3 平台的网络聊天室设计	27
4.3.1 网络通信协议的基础知识	27
4.3.2 传统 Web 实时通信方案	29
4.3.3 现代的 Web 实时通信方案	30
4.4 本章小结	31
第五章 三维虚拟实验平台的开发实现	32
5.1 开发技术	32
5.1.1 JavaEE 应用技术	32
5.1.2 SSM 框架	33
5.1.3 Unity3D 技术	35
5.1.4 Shiro 框架	36
5.2 用户管理模块功能实现	37
5.2.1 用户注册功能实现	37
5.2.2 用户登录功能实现	39
5.2.3 用户注销功能实现	41
5.2.4 用户权限配置功能实现	42
5.3 虚拟实验模块功能实现	46
5.4 网络聊天室功能实现	50
5.4.1 实现流程	50
5.4.2 聊天室实现	51
5.5 虚拟实验管理模块功能实现	53

5.6 本章小结	56
总结与展望	58
参考文献	60
学位论文独创性声明	64
学位论文版权使用授权声明	64
致谢	65

Contents

Abstract	III
Contents.....	VIII
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and significance of research.....	1
1.2 Research status of virtual laboratory	2
1.2.1 Domestic status.....	2
1.2.2 Foreign status	3
1.3 Main content and structure in the paper	4
1.4 Chapter brief summary	5
Chapter 2 Case analysis and basic principles of virtual laboratory	6
2.1 Case analysis of virtual laboratory	6
2.1.1 Case introduction.....	6
2.1.2 Advantages and disadvantages of virtual laboratory	8
2.2 Basic principles of virtual laboratory	9
2.3 Chapter brief summary	10
Chapter 3 Requirement analysis of 3D virtual experiment platform.....	11
3.1 Functional analysis of the platform	11
3.1.1 Virtual experiment module	11
3.1.2 User management module.....	12
3.1.3 Network chat room module	13
3.1.4 Experimental management module.....	14
3.2 Analysis role use case of platform.....	15
3.3 Chapter brief summary	18
Chapter 4 Overall design of 3D virtual experiment platform	19
4.1 Architecture design of platform.....	19
4.1.1 Client/Server architecture.....	19
4.1.2 Browser/Server architecture	19

4.1.3 System scheme of this platform	20
4.2 Database design of platform.....	21
4.2.1 Design principles of database.....	21
4.2.2 E-R model of platform	22
4.2.3 Design of database table for virtual experiment and management	24
4.3 Design of platform network chat room	27
4.3.1 Basic knowledge of network communication protocol.....	27
4.3.2 Traditional Web real-time communication scheme.....	29
4.3.3 Modern Web real-time communication scheme.....	30
4.4 Chapter brief summary	31
Chapter 5 Development and Realization of 3D virtual experiment platform	32
5.1 Development technology.....	32
5.1.1 JavaEE technology	32
5.1.2 SSM frame.....	33
5.1.3 Unity3D technology	35
5.1.4 Shiro frame	36
5.2 Function realization of user management module	37
5.2.1 Realization of user registration function	37
5.2.2 Realization of user login function	39
5.2.3 Realization of user logout function	41
5.2.4 Realization of user permission configuration function	42
5.3 Function realization of virtual experiment module	46
5.4 Function realization of network chat room	50
5.4.1 Realization process.....	50
5.4.2 Chat room implementation.....	51
5.5 Function realization of virtual experiment management module.....	53
5.6 Chapter brief summary	56
Summary and Forecast	58
Reference	60

Original statement of paper.....	64
Authorization statement for the use of paper copyright.....	64
Acknowledgement	65

第一章 绪论

1.1 课题研究的背景及意义

近年来, 智慧校园^[1]成为未来校园信息化建设的重要影响因素。校园信息化^[2]建设要求学校可以采纳前沿技术, 达到建立数字化学校的目的, 从而可以增强科学水平, 提升学校的服务质量。所谓智慧校园, 指的是提供一个宏观感知的环境、网络无缝的对接、大量数据信息的支持、开放友好的学习环境以及面向个性化的师生服务^[3]。智慧校园是采用以物联网作为根本, 提供一个学习、工作和生活的智能化校园环境, 这个环境是使用应用服务软件作为媒介, 将科研、管理、教学和生活进行充沛的交融^[4]。

借助于信息技术的不断进行, 智慧校园的应用也是丰富多彩的。比如环境监测作为智慧校园的一部分, 主要是描述周围环境的质量并监测环境中任何活动变化的应用程序^[5]。环境监测应用程序通常是利用传感器监测空气、水和土壤的质量, 目的是用来评估可能对人类和环境造成的风险因素。基于地理技术的智能校园平台功能分为两类: 一类是基本功能, 第二类是业务功能^[6]。基本功能主要是基于三维地理信息平台的界面, 包含了 3D 基本操作实现、漫游、定位、数据加载、显示和空间分析等。可以使用基本的地理信息模型构建校园三维虚拟地理环境、展示空间实体模型的三维可视化显示。业务功能主要包含人员定位查询、视频图像查询和教学设备查询等, 可实现业务数据信息的可视化。通过举例分析, 得出智慧校园主要是借助于前沿科学技术, 比如物联网、虚拟化和云计算等技术来彻底改变老师、学生和校园资源的交互方法, 采用应用服务软件与学校的科研、教学和资源进行整合, 从而提升应用软件的交互性和机动性, 达到智慧化管理的校园模式^[7]。

虚拟实现技术在智慧校园中的应用也是比较广泛的, 比如虚拟智慧课堂系统、虚拟智慧阅读系统和虚拟智能会议系统^[8]。在教育领域的研究中, 人们逐渐发现虚拟现实技术具有提供教学手段、提高教学水平、提升师生互动的效率以及优化整合教学资源等方面的优势。虚拟现实技术的成长给虚拟实验的研究带来了新的活力, 由于它采纳了多传感交互技术和 3D 数字化技术, 能够生成逼真的三维虚拟场景, 并且可以让用户与场景实时的交互, 因而可以提供更好性能与教学效果^[9]。虚拟实验室是一种通过网络

技术构建的仿真教学系统，一般包含虚拟仪器、实验台和实验管理系统构成的，虚拟实验室建立的目的在于为实验课程提供一个崭新的教学模式。虚拟实验台与现实中的实验台从功能上理解是相同的，学生可以自己动手拖动、连接、配置和调节实验仪表，老师可以操纵虚拟仪器库中器材自由组建任何典型实验或者课本中的实验案例，上课时供学生进行分析，这也是虚拟实验室跟传统实验室有区别的地方^[10]。

虚拟实验室的研究意义从以下几点考虑：第一，是现代实验室和虚拟实验室比较^[11]。虚拟实验室相比较于真实实验室，它是由计算机创造的一种仿真实验环境来模拟真实实验中的仪器与设备，并且最大化的模拟真实的实验场景，使得参与者仿佛置身其中的感触。通过这样的模拟操作，让参与者可以比较宏观的了解到各类实验仪器，熟练整个实验工艺，并且能够对实验结果分析，从而达到加深理论学习的目的。第二，是传统实验教学和虚拟实验教学的比较^[11]。传统实验课程教学都是以示教模式为主，老师怎么做，学生就怎么做，学习积极性不高，并且受仪器数目与场地大小的限定，有些学生估计连动手操作练习的机会都没有。在实验过程中学生可能无法精确使用实验仪器，而老师需要不断重复多次教授也不一定能够达到很好的效果。而在虚拟实验教学中，学习者可以通过文字、图表、视频等多方面附带教学进行实验，明确实验目的是什么、实验仪器需要哪些、实验原理是什么以及实验内容与步骤等，从而能够快速的对流程有个整体的认知，在一定程度上降低了学习的难度和提高了教学效率以及激发了学生的学习热情。因此针对虚拟实验平台的研究与实现是有积极意义的。

1.2 虚拟实验室的发展现状

1.2.1 国内研究发展现状

国内对于虚拟实验室的研究起步比国外发达国家要晚一些，因此存在一些差距是可以理解的，但成长迅速。对于虚拟实验室方面的研究，中国高校处在一种积极态度，创立虚拟仿真实验教学中心是一种大势所趋。

国内高等学校结合自身教学的特点和需求创立虚拟实验室，比较典型的有：（1）在 2003 年，第一军医大学出色的完成了国内第一例女虚拟人的信息收集任务。医生能够为虚拟病人进行模拟手术，并且能够使用网络远程在线控制机器人来实现远程手术技术^[12]。（2）浙江大学建立了虚拟化学实验室，它是一种基于 Web 架构的模式，采用

Java 语言并结合 VRML 基础开发的虚拟教学实验管理系统, 该虚拟实验室可以解决一些比较危险难操作的实验, 比如易燃易爆的化学实验^[13]。(3) NOBOOK 虚拟仿真实验室 (简称 NB 实验): NB 实验平台采用 HTML5 前沿技术, 支持跨平台访问, 比如在台式机、平板电脑等均可以访问。为在校初高中学生提供课程所需要的实验, 它们对于物理实验室的建设尤为突出, 可以随意更改实验参数, 从而使的实验过程更加的灵活和达到逼真效果, 该虚拟实验平台可以作为商业化的代表作品了^[14]。

1.2.2 国外研究发展现状

在 1989 年, 由美国的 William Wolf 教授提出了虚拟实验室的观念, 越来越受到研究人员和仪器开发者的重视^[15]。在西班牙马德里科技大学, 由于实验在使用过程中具有一定的危险性并且有些实验的操作在现实生活中是很难进行的, 基于这个原因, 它们已经开发了几个 3D 虚拟实验环境, 虚拟实验室是建立在 OpenSim 开源平台上的^[16]。实验室是工程教育中不可或缺的重要构成部分, 在印度研究先进的超大规模集成电路虚拟实验室, 这是印度虚拟实验室套件的一部分, 目的是提高印度市中小学学生的认知与学习水平^[17]。

在过去的十年里, 远程实验室的使用和成长有了伟大的增长, 在 Makerere 大学, 通过使用可伸缩的通用平台麻省理工学院 (MIT) ilabs 共享架构 (ISA), 远程实验已经成为可能^[18]。有了这个中间件基础设施, 工程、设计、艺术和技术学院的学生就能够远程访问和共享稀缺的实验室资源。1999 年在瑞典的布京理工学院做超大源的可行性研究, 目的是构建一个 (现实中的超大虚拟仪器系统) 实验室开放平台的架构, 使大学、中学、和其他组织可以远程访问实验室组件进行虚拟教学^[19]。今天, 超大虚拟实验室在七所大学以及全球成千上万的学生可以在里面做大多数的实验, 比如你可以做一个远程无任何危险的焊接面包板实验。

针对虚拟实验室的研究现状的调研, 目前虚拟实验室的建设和应用还存在如下不足: 比如, 需要进一步的加强虚拟实验的配套服务功能。实验的目标就是通过操作实验仪器、产生一些实验现象并记录该现象, 从而得到实验现象背后的自然规律, 虚拟实验也是一样的目的。目前虚拟实验室的建设对于实验配套服务环节并不足够重视。虚拟实验室需要提供相对完善的学习环境和学习环节, 对学生的实验报告的完成、交流讨论等环节给予有效的支持。除此之外, 使用单一技术构建的虚拟实验平台, 在某

些方面是有优势的，但在另一方面必然存在不足的因素。因此，将多种技术相融合开发才能优势互补，对构建一个好的虚拟实验平台也是十分重要的。

1.3 论文的主要内容与总体结构

本文主要是针对虚拟实验平台的研究与实现。其总体目标是设计促成一个基于互联网上的虚拟实验教学环境，让学生可以通过浏览器在任何时间任何地点进行网上虚拟实验，从而提高学生的实践能力。老师也可以借助于本虚拟实验平台发布实验，查看学生提交的实验报告，给出考评成绩，从而达到辅助教学的目的。管理员负责对整个平台进行系统维护工作。论文的结构安排如下：

第一章，绪论，本章从总体上介绍了智慧校园和虚拟实验室的相关概念及其在国内外的发展现状，并且阐述了虚拟实验教学是智慧校园的重要构成部分，从而引出了本文的主体。

第二章，虚拟实验室案例分析及基本原则，本章首先对国内某高校的虚拟实验管理系统进行了分析，得出虚拟实验管理系统应该包含哪些功能。然后对虚拟实验室进行优缺点分析，并提出改善意见。最后通过案例分析得出构建虚拟实验室应该涉及哪些基本原则。

第三章，三维虚拟实验平台的需求分析，本章首先对三维虚拟实验室平台进行了功能分析，包含四个模块：虚拟实验、用户管理、网络聊天室和虚拟实验管理。再对平台的角色进行用例图分析，目前本三维虚拟实验平台包含三个角色，分别是学生、老师和管理员，它们都有各自的功能权限。需求分析的目的主要是为了后续的系统设计做铺垫的。

第四章，三维虚拟实验平台的总体设计，本章首先对平台的体系结构进行了设计，通过两种体系架构的比较和优缺点分析，设计出选用 B/S 架构作为本平台的体系解决方案。其次是对底层的数据库的设计，根据数据库的设计原则和本平台的 E-R 模型图，借助于 MySQL 数据库管理系统，最终完成了对数据库表的设计。然后是对网络聊天室的设计，通过两种网络通信协议的比较和优缺点分析，最终采用 WebSocket 作为本平台的网络聊天通信协议。系统设计的目的在于为下一步的开发做铺垫。

第五章，三维虚拟实验平台的开发实现，本章首先介绍了系统开发需要用到的技术，比如采用 JavaEE 应用技术和 SSM 框架来搭建系统平台。其次是对用户管理模块

功能实现，包含注册、登录、注销和权限配置功能实现，其中在权限配置里还包含系统权限的添加、系统角色的创建以及用户角色的分配功能都已经实现了。然后是虚拟实验模块功能实现，包含实验文档的浏览、三维虚拟操作区的搭建和实验报告的填写也已经完成，报告中不仅可以填写文字信息，也可以上传实验图片。再然后是网络聊天室功能的实现，本虚拟实验平台内置的网络聊天室不仅能够实现群聊，也能够实现私聊，网络聊天室的研发目的在于提供一个师生交换信息的平台，这也是作为虚拟实验平台研究的一个重要改善。最后是虚拟实验管理模块功能实现，包括实验学科的分类展示、实验文档的管理、实验报告的管理和考评管理。

1.4 本章小结

本章首先介绍了课题研究的背景与意义，智慧校园变成目前校园信息化建设的热点。大致介绍了一下智慧校园的定义，并举例说明借助于信息技术，智慧校园在校园建设中的众多应用，而虚拟教学是智慧校园的重要组成部分。虚拟实验室则是虚拟教学的一种辅助手段，从而引出本文的核心内容虚拟实验室的建设。然后分析介绍了一下虚拟实验室在国内外的研究现状，在医学仿真、化学仿真和机电类仿真中，虚拟实验室正在大力的发展。最后介绍了一下本论文的主要内容和总体结构。

第二章 虚拟实验室案例分析及基本原则

2.1 虚拟实验室案例分析

2.1.1 虚拟实验室案例介绍

虚拟实验室的建设目前在国内外的很多高校进行发展，尽管侧重点不同，但是整体的发展方向是一致的，那就是提供一种辅助教学的环境，使学生能够学以致用。下面将以国内某高校的虚拟仿真实验室为例，简单介绍一下虚拟实验室的设计应该包含哪些功能。该高校的虚拟实验室管理平台拥有四个角色，分别是系统管理员、教务人员、老师和学生。管理员负责用户的添加以及相应角色的分配；教务人员主要负责课程规划的拟定以及科目的发布；教师和学生是这个系统的主体，参与到整个实验活动当中。之所以选择该高校的虚拟实验系统作为分析对象，是因为该系统针对目前学校教学任务与用户需要而开发的，功能也很丰富，因此适合做分析对象。



序号	实验名称	所属课程	实验类型	开始 结束时间	必做/选做	实验成绩	实验状态	操作
1	RC一阶电路的响应测试	电路分析	虚拟实验	2011-7-28 13:20:12至2011-8-31 13:20:00	必做实验	未批改	实验中	继续实验
2	RC正弦波振荡器	高频电子线路	虚拟实验	2011-7-28 13:20:30至2011-8-31 13:20:00	必做实验	未批改	实验中	继续实验
3	路由器配置实验	计算机网络	虚拟实验	2011-7-28 13:57:01至2011-8-31 13:57:00	必做实验	未批改	实验中	继续实验
4	晶体管共射极单管放大电路	模拟电路	虚拟实验	2011-7-28 14:52:31至2011-8-15 14:52:00	必做实验	81	已发布成绩	查看成绩...
5	二阶电路传输特性	信号与系统	虚拟实验	2011-7-28 15:08:28至2011-8-31 15:08:00	必做实验	未批改	实验中	继续实验
6	中规模时序集成电路——计数...	数字电路	虚拟实验	2011-7-28 16:49:54至2011-8-31 16:49:00	必做实验	未批改	实验中	继续实验
7	TTL集成逻辑门的性能参数的...	数字电路	虚拟实验	2011-7-28 18:00:53至2011-8-15 18:00:00	必做实验	100	已发布成绩	查看成绩...
8	积分与微分电路	模拟电路	虚拟实验	2011-8-10 11:43:14至2011-8-17 11:43:14	必做实验	未批改	实验中	继续实验
9	两极交流放大电路	模拟电路	虚拟实验	2011-8-15 13:42:46至2011-8-22 13:42:46	必做实验	未批改	实验中	开始实验

图 2-1 学生登录后界面

Fig.2-1 Student login interface

如上图 2-1 所示为学生登录后的界面，上方为学生信息状态栏，包含了向导、虚拟实验、个人信息和使用帮助。中间是实验列表展示，其中包含了很多个虚拟实验。每一个实验都包含了重要信息，比如实验名称、成绩、状态等等。在实验操作中学生可以选择点击开始实验、继续实验和查看成绩等不同的选项。下方是分页查询实验列表。总而言之，学生可以控制实验的进度，还可以检查实验成绩。

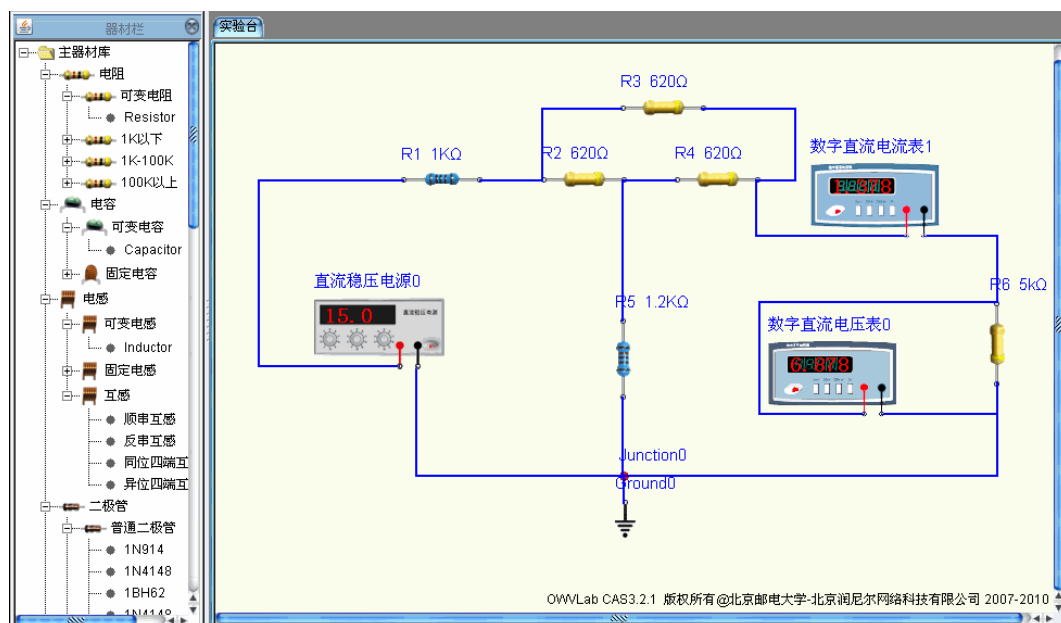


图 2-2 电路分析实验

Fig.2-2 Circuit analysis experiment

如上图 2-2 所示为电路分析虚拟实验教学，左侧为虚拟器材库，比如电阻、电容和电感等虚拟仪器，每一个实验仪器都有几种不同的参数可供选择。右侧是实验台，提供给学生搭建实验的平台，图中使用了电流表、电压表、电阻等模型搭建了一个电路分析实验。



图 2-3 老师登录后界面

Fig.2-3 Teacher login interface

如上图 2-3 所示，上方是老师的个人信息栏，左方是菜单导航栏，中间是实验信

息，右侧是实验操作，下方是分页查询实验信息。总而言之，老师的功能还是很多的，比如不仅可以增删改查实验信息，还可以批改实验给出成绩。

当然还有其他的功能，因论文篇幅有限，就不截取大量图片以文字概述。比如在教学管理中，有实验报告和成绩管理等；在实验前，查看课件学习理论知识，在实验中，对于学生提出的问题给出智能指导信息，在实验后，结果可自行批改，也就是说由系统自动给出实验分数。

2.1.2 虚拟实验室优缺点分析

通过虚拟实验室案例分析，对虚拟实验平台有了深入的了解，到此整个虚拟实验平台的功能介绍完毕了。下面将从优缺点的角度去分析：

（1）从功能角度：虚拟实验室包含的模块众多，有实验、用户、和实验管理等功能。比如在实验模块中学生可以查看实验文档，在实验台操作虚拟仪器进行实验，做完实验之后提交实验报告。用户模块中负责用户的登录、角色的分配，使得不同的用户具有不同的权限。实验管理中包含实验课程的发布、修改、删除、学生选课、老师批改实验报告等功能。因此整个平台的设计合理，无论是角色的设计还是功能的设计都是为了提升学生的实践能力。

（2）从用户的角度：学生利用虚拟实验室平台，可以在任何时间，任何地点学习，这是传统实验室无法想象的优势。而且不用忧虑把实验工具弄坏，可以放心勇敢的去尝试。对老师来说，老师可以利用虚拟实验室平台在线编辑实验内容，然后发布出去，提供了多种教学模式。并且老师根据学生提交的实验报告，可以在线批改作业，也大大的节省了时间成本。从学校的角度出发，虚拟实验室的作用也是巨大的。传统的实验室需要占用场地、需要购买实验器材，这对于学校都是不小的投入。并且在投入使用的过程中，往往由于学生的不当操作，导致实验器材的损坏，后期的保障费用也是不低的。当然随着技术的提升，有些仪器的功能已经跟不上时代的步伐，需要升级成新的仪器设备，所以建设一个传统实验室的费用是昂贵的。但是虚拟实验室不同，只需要通过电脑即可操作仪器，完成实验，不需要场地，给学校大大的节约了成本。

（3）从不足之处：在实验过程中，当学生在操作虚拟仪器进行实验时，遇到不懂的地方时，系统会提供智能指导，也就是给出指导信息。所谓智能指导就是提供实验帮助按钮，点击显示实验指导书页面，让学生根据实验指导书进行虚拟实验。或者点击

请求指导按钮，会显示出一些前期制定好的问题给予的答案。但是本文认为这样的设计仍然不能够及时的解决学生的疑问，需要花时间去查阅实验指导书。如果虚拟实验平台中能够设计出一个即时聊天的工具，那么学生在遇到不懂的地方时，可以利用聊天工具，实时的与教师进行沟通，这比慢慢的查找实验指导书要快速很多。此外实验报告设计的内容过于简洁，因为实验结果设计成自动批改，所以学生只能填写一些基本问题的填空，无法让老师通过实验报告更加深入的了解学生的实验情况，如果能够以图文并茂的形式设计实验报告，学生不仅能够填写文字信息，还能够上传实验截图的图片，这样的设计让老师更好的了解学生掌握实验的程度。当然，虽然虚拟实验室相比传统实验室能够节约成本，但是传统实验室能够提供给学生真实的环境。能够摸的着仪器，亲自去按按钮，从体验感的角度出发这比在电脑前点击鼠标要好很多，这也是虚拟实验室的不足之处。

2.2 构建虚拟实验室的基本原则

通过上面的虚拟实验室的案例分析，总结一下构建虚拟实验室需要遵循以下几点原则^[20]：

(1) 工程化原则：虚拟实验室是学校实践教学环节中的一个重要构成部分。不仅需要完成学校制定的实验大纲的基本要求，而且还需要锻炼学生的实践动手能力和创新能力。因此，虚拟实验无法和一般的多媒体课程相提并论，需要强调虚拟实验环境的工程化、实验教学方法的工程化和实验步骤与内容的工程化，使得学生老师具有很强烈的工程意识。三维虚拟实验室的工程化，就是务求所创立的虚拟仪器与设备高度的逼近真实设备的操作和使用。同时，虚拟实验的仿真过程中需要保持高度的及时性，且尽量减少不必要的延迟。与用真实的实验设备进行实验完全的一样，从而体现出整个实验的工程化。

(2) 交互性原则：交互虚拟实验是一种仿真的软件，使其在互联网的环境下运转，效仿真实实验操作的过程。学生用户可以借用它来提高自身的实践动手技能，并且虚拟实验可以给出相应的交互数据，对学生的操作给予及时的反馈。网上在线的实时交流和答疑也是一种必不可少的交互方式，学生用户可以在网上交流平台中交流学习经验，实验方法，当然也可以在固定的时间段与授课的老师进行咨询或者答疑。

(3) 易于维护的原则：虚拟实验室开发完成之后，一般是由专门的系统管理员进

行后期维护，提供一个管理界面。这样既可以节约费用，又能够实现对项目的不断更新。从软件的设计角度出发应该采用跨平台的组件原则，以便于后期的维护和方便管理。从代码的编写角度出发应该采用面向接口的开发方式，这样可以降低代码之间的耦合度，方便后期的维护。

(4) 安全性和可靠性原则：虚拟实验室平台要求全天候的工作中，学生可以在任何时间点均可以登录。学生、老师和管理员等均有各自的权限，对服务器里的数据进行访问和修改。管理员定期维护，对于重要的数据要求进行备份，以防止出现了安全的漏洞。

(5) 以实为本，虚实结合的原则：虚拟实验作为实验教学的一种次要的手段，绝对不能代替真实实验的操作。虚拟实验平台：一是起到了管理者的作用，二是起到了辅助老师的作用，但都不能够取代真实的实验操作。对于学校内部学生的实验，学生先在网络上进行实验操作，在实验操作过程中老师在线的答疑，学生遇到不懂的地方可以即时的在线咨询老师。

2.3 本章小结

本章首先以国内某高校的虚拟实验室管理平台作为案例分析的对象，基本介绍了构建一个虚拟实验室需要哪些重要的功能。介绍完功能之后，再分别从优缺点的角度出发，分析虚拟实验室的优点与不足之处。最后从案例分析并结合文献，总结了构建虚拟实验室需要遵循哪些基本原则，为下一章的需求分析做铺垫。

第三章 三维虚拟实验平台的需求分析

3.1 平台的功能分析

需求分析的目的是了解用户的需求是什么，只有先弄懂需求才能进行后续的设计与开发过程。目前本虚拟实验室平台的建设还处于初始阶段，所以不需要考虑对已存在平台的兼容、集成等问题，有利于平台的整体规划建设。根据虚拟实验室案例分析以及前期与学生、老师等人员的沟通，根据他们提出的要求。对虚拟实验室平台进行了需求分析，总结出该平台应具有如下功能：

3.1.1 虚拟实验模块功能

虚拟实验是核心内容，其中包含了各种各样的实验，将这些实验按照科目分门别类以供用户尽情的筛选。每一个实验应该包含实验文档、三维虚拟操作区和实验报告等功能。

(1) 实验文档中应含有本次实验的简介、目的、仪器、工作原理以及内容和步骤。用户需根据文档里的内容和要求操作三维虚拟仪器。实验文档可以给用户提供一个清晰的思路，让用户知道如何去做这个实验以及在阅读文档的过程中可以学到一些理论知识。

(2) 三维虚拟操作区才是真正做实验的地方，用户在这里先要选择实验器材，根据实验文档上的步骤和要求开始做实验，实验过程中要思考器材的摆放与器材之间的连线。

(3) 实验报告是当用户做完本次虚拟实验之后，需要填写关于本次虚拟实验的实验报告，实验报告中包含用户个人信息的填写和实验结果图片的上传以及实验总结与体会。个人信息包含：实验名称、专业、姓名和学号信息等。虚拟实验模块的主要功能如图 3-1 所示：

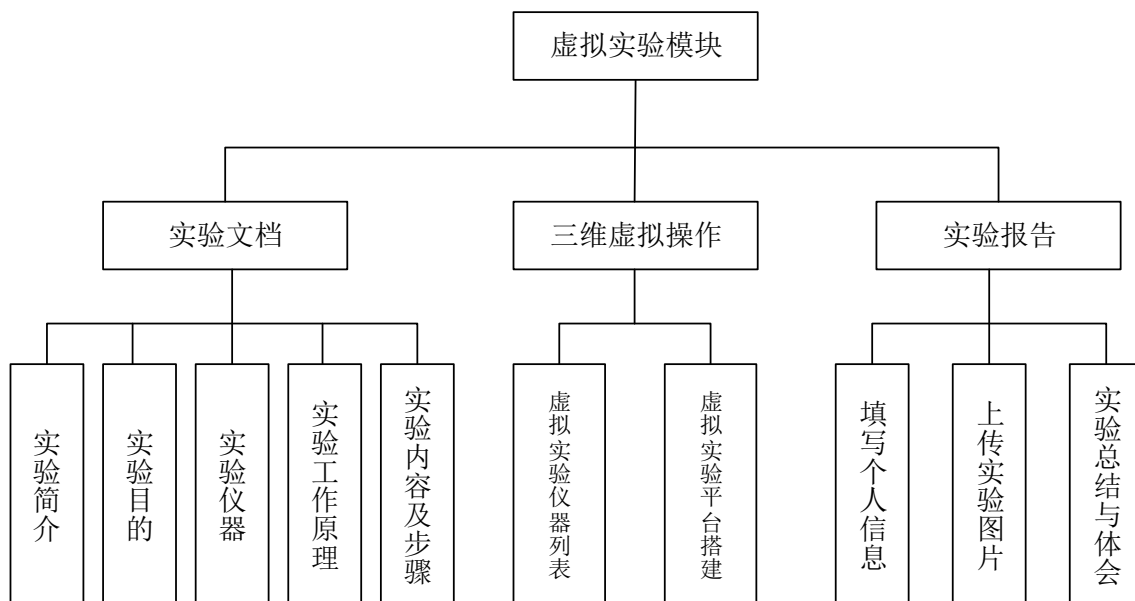


图 3-1 虚拟实验模块

Fig.3-1 Virtual experiment module

3.1.2 用户管理模块功能

任何系统只要有用户参与其中，都需要用户管理模块，因此用户管理模块主要包含以下功能：

(1) 用户注册功能：用户需要在浏览器网页的注册页面进行注册，在注册的过程中会检查录入数据正确与否。比如用户名不能重复，电话号码也不能重复。

(2) 用户登录功能：当用户注册成功后将跳转到浏览器的登录页面，用户可凭借个人账号和密码登录本平台。平台自动比对用户信息，从而验证是否为正当用户。如果成功，则进入虚拟实验平台。如果登录失败，则该用户无法访问，并在浏览器页面给予相关登录失败提示信息。

(3) 用户权限配置功能：该功能包含平台角色、资源以及操作的分配。该功能为管理员所拥有的，目的是根据实验任务的需求为不同的用户分配合适的角色。并为不用的角色分配相应的权限去操作实验平台。

(4) 用户账号信息维护功能：该功能主要是针对个人信息的查看与修改。比如用户可以修改密码，用户管理如图 3-2 所示：

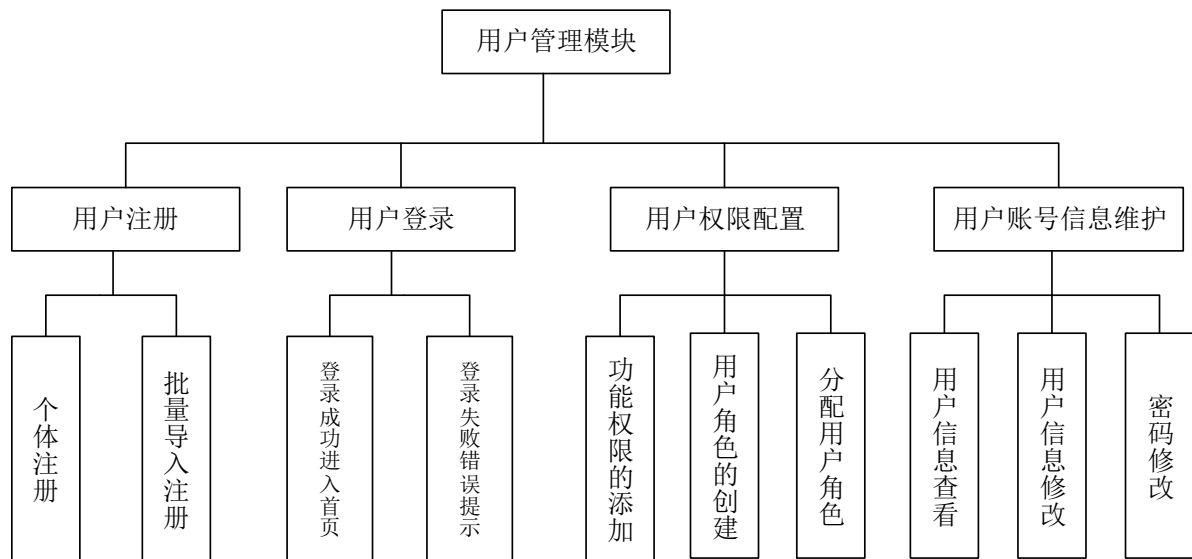


图 3-2 用户管理模块

Fig.3-2 User management module

3.1.3 网络聊天室模块功能

当学生在做虚拟实验过程中遇到问题时，设计提供在线实验指导书，虽然可以解决问题，但是效率比较低。虚拟实验室内置的网络聊天室目的就是为学生和老师提供一个交流的平台。学生用户可以通过网络在线讨论交流将实验过程中遇到的不懂问题以及自己对实验中的一些新的想法等向老师进行咨询。老师负责解答学生的疑惑并与学生讨论交流实验相关的问题。当然学生之间也可以使用该网络聊天室在线讨论，从而达到快速解决问题的目的。该聊天室分为四部分：

(1) 聊天区：聊天区分为两个窗口，一个是聊天内容的输入窗口，另外一个为聊天内容显示窗口。用户在输入窗口中输入你想说的文字信息，点击发送按钮，将想要表达的信息发送到显示窗口中，同时该显示窗口也会显示其他人的聊天内容。

(2) 功能区：包括建立聊天连接按钮、断开连接按钮、检查连接按钮、清除屏幕聊天内容按钮和发送聊天信息按钮。

(3) 名单区：该区域显示登录进虚拟实验的用户列表。

(4) 其他功能区：其他功能包含群聊、私聊和上传头像。群聊的意思就是所有人都在一起聊天，一个用户发送的消息所有人都可以看见。私聊的意思就是点对点的发送消息，除了指定的用户可以看到对方发送的信息，其他用户是看不到消息。网络聊天室的主要功能如图 3-3 所示：

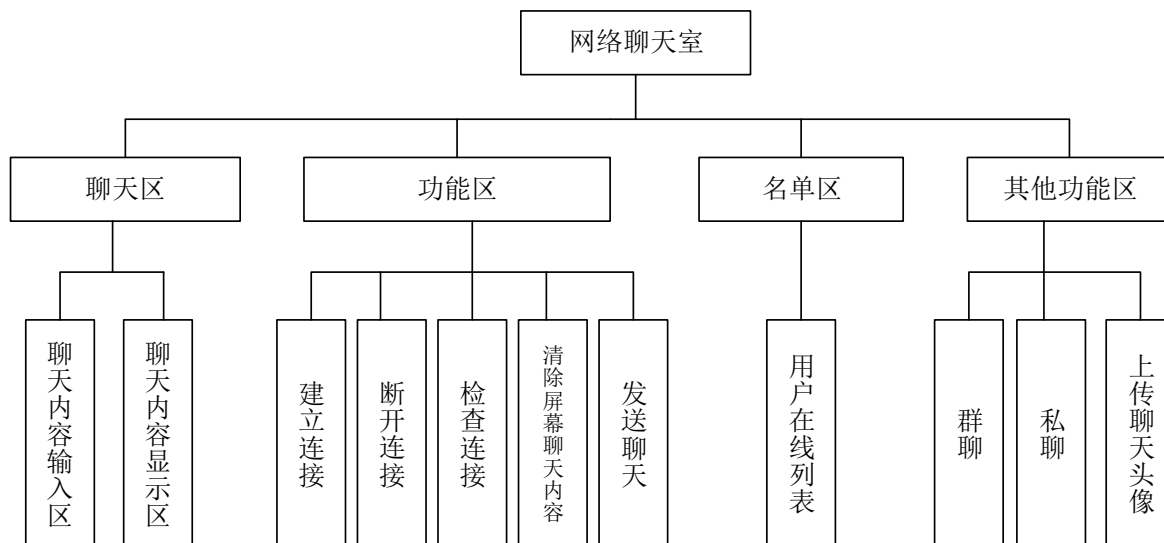


图 3-3 网络聊天室模块

Fig.3-3 Network chat room module

3.1.4 虚拟实验管理模块功能

虚拟实验室平台的开发是一个长期漫长的过程，平台中虚拟实验的种类也是逐渐丰富的。随着时间的推进和实验技术的不断迭代更新，一些以前开发的虚拟实验需要删除或者更新，所以用户可以根据自己的需求进行平台的扩展，比如进行实验的添加、删除、修改行为。

(1) 实验文档管理功能：可以新增发布一个实验文档，分页查询所有的实验文档列表。当实验文档中的内容需要更新时，也可以修改实验文档再次发布。当然随着时间的推移，该实验有过时的现象，也可以删除该实验文档。

(2) 实验报告管理功能：用户可以提交该实验报告，也可以对提交后的报告进行查询。当然提交后用户发现实验报告中的内容有错误，比如个人信息填写错误或者图片上传有问题，也可以修改实验报告的内容，再次提交。

(3) 考评管理功能：当学生提交报告后，教师可以查看报告的内容，然后给出指导评阅的成绩，填写完指导评阅意见后可以提交成绩。当然也可以修改指导意见再次提交。学生用户可以在自己的实验报告列表中查看自己本次实验得到的成绩。虚拟实验管理的主要功能如图 3-4 所示：

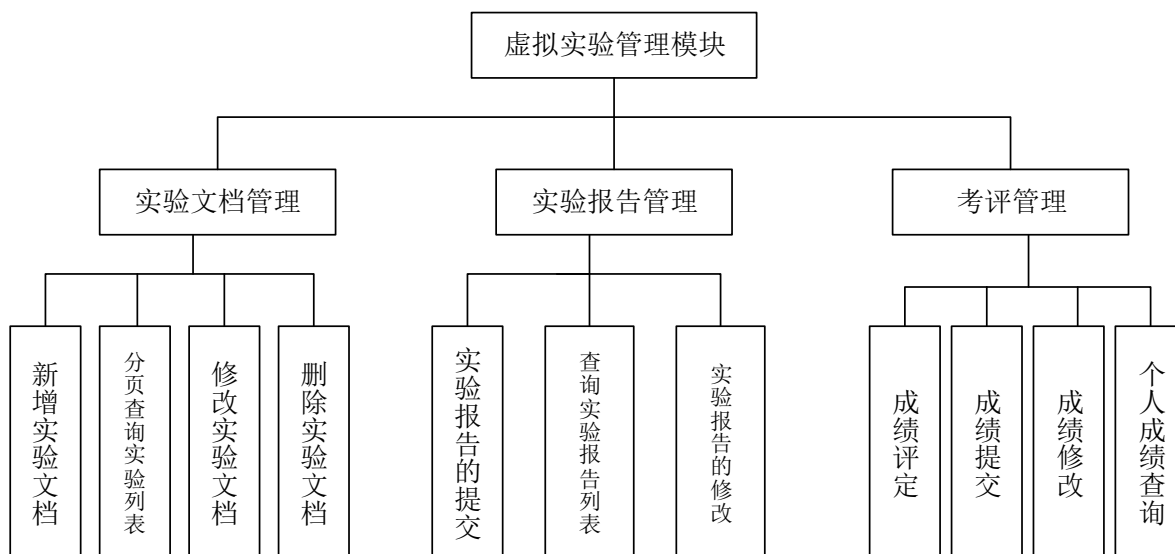


图 3-4 虚拟实验管理模块

Fig.3-4 Virtual experiment management module

3.2 平台角色用例分析

在完成了平台的功能分析以后，对用户角色情况也进行了大致的分析。目前主要可以分为三类，分别为学生、老师和管理员。

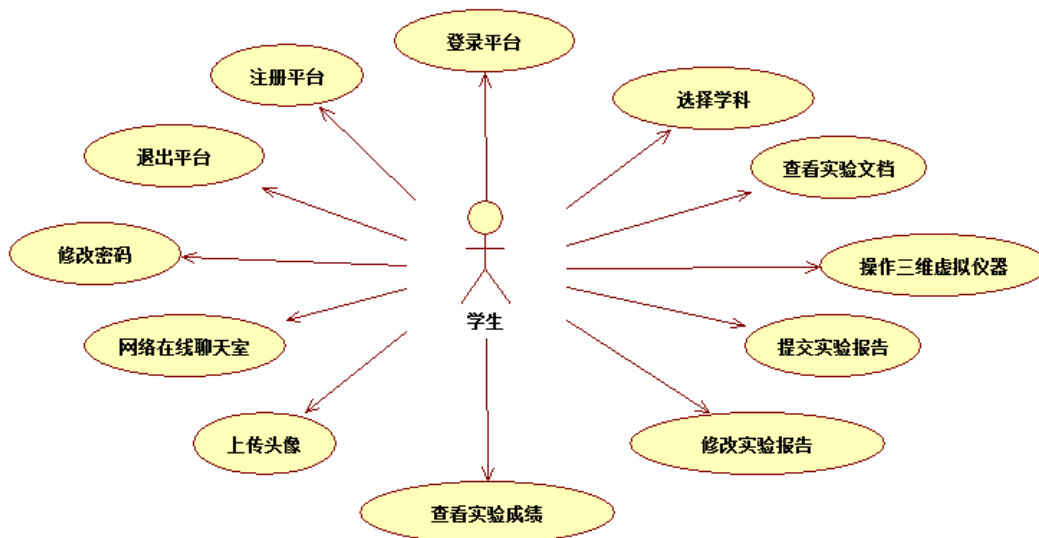


图 3-5 学生用例图

Fig.3-5 Student use case diagram

学生用例图如上图 3-5 所示：学生用户注册登录成功后，进入本平台首页。在首页中可展示不同的学科列表，比如物理、化学等。点击不同的学科即可进入该学科对应的虚拟实验列表，在虚拟实验列表中可选择该学科对应的一个虚拟实验进行操作。每一个实验都包括实验文档、三维虚拟操作区和实验报告三部分组成。学生用户首先需

要查看实验文档、并根据实验文档上的教学内容与步骤进行三维虚拟仪器的操作。实验操作完成之后，可即时填写实验报告并在该虚拟实验平台上完成提交，提交的实验报告内容不仅有文字信息，还有上传实验结果图片信息，提交的实验报告会自动存入后台的数据库当中。如果学生已经提交完实验报告但发现自己填写的实验报告内容有错误，需要进行修改，可点击修改按钮，修改实验报告后再次完成提交。当然学生也可查看自己已提交的实验报告中老师给出的评阅意见，也就是查看本次实验老师给出的实验成绩。如果学生在三维虚拟操作时，遇到实验中的难点和不懂之处，可通过虚拟实验平台的网络在线聊天室与老师和其他同学在线交流。该网络聊天室具有群聊模式和私聊模式两项功能服务。所谓群聊模式就是一种一对多模式，一个人发送的消息登录进来的所有人都能看到该消息内容。而私聊与之相反，是一种点对点的聊天模式，选择你要聊天的对象，该消息只发送给你选择的聊天对象，没有选择的聊天对象是无法看到你发的消息。最后学生用户可管理自己的个人信息，比如修改密码功能。当虚拟实验完成之后，学生用户可退出本虚拟实验室平台。

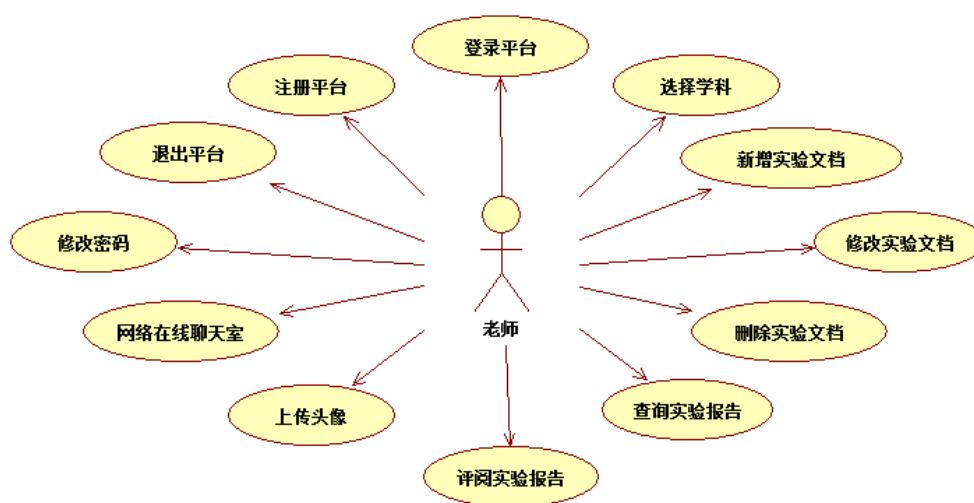


图 3-6 老师用例图

Fig.3-6 Teacher use case diagram

老师用例图如图 3-6 所示：老师注册登录成功后，即可进入本虚拟实验平台首页，在首页点击不同的学科即可进入对应的学科管理系统。在管理菜单下分为两个部分：实验管理菜单和评阅实验报告菜单。其中实验管理菜单中又包含新增实验菜单和查询文档菜单两部分组成。新增实验菜单主要是用来给老师新增发布实验文档的，老师可以在线编辑实验文档，当编辑好一个实验文档后点击发布按钮，弹出发布成功提示窗口，即一个实验文档就发布成功了。老师点击查询文档菜单可查看自己已经发布的实

验文档，如果老师在已经提交完实验文档后但发现自己填写的实验文档内容有错误，可修改实验文档再次发布。当然对于不需要的实验老师用户也可以批量删除实验文档。除此之外，在评阅实验报告菜单下显示学生已提交的实验报告，老师需要查看学生提交的实验报告，点击评阅按钮，可查看实验报告内容并给出评阅意见。当然老师用户如果觉得评阅意见不满意，可点击修改按钮再次给出评阅意见。老师也可以进入网络聊天室与学生在线沟通交流，对于学生发布的求助信息给予答复，网络聊天室对于学生和老师的功能都是一样的，都具有群聊和私聊两种模式。最后老师也可管理自己的个人信息，比如修改密码功能。当工作完成之后，老师可退出本虚拟实验室平台。

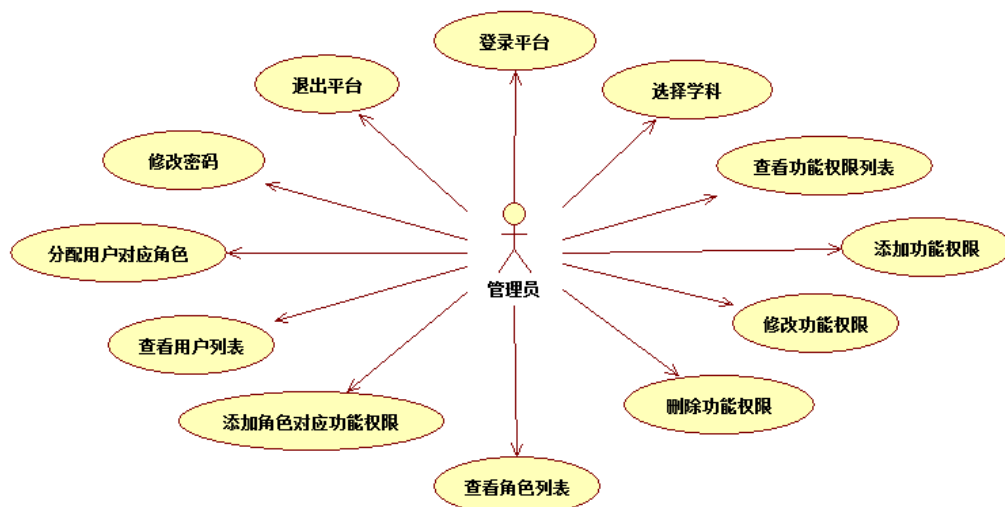


图 3-7 管理员用例图

Fig.3-7 Admin use case diagram

管理员用例图如图 3-7 所示：管理员用户登录成功后，即可进入本虚拟实验室平台首页，在首页选择学科即可进入对应的学科管理系统。在管理菜单下分成三个：权限菜单、角色菜单和用户菜单。权限管理菜单是用来添加、删除、修改和查看平台的功能权限。在添加权限时，管理员需要指定权限的分类、权限的名称、权限的访问路径、是否生成菜单、优先级、父功能点和权限描述信息。在修改权限时，管理员可以修改权限信息里的任何选项，比如修改权限的名称，点击修改保存按钮即可。管理员的职责很大一部分就是负责平台的功能权限管理。角色管理菜单是用来添加和查看系统平台的角色，在添加角色时除了需要填写角色的名称和角色的描述信息之外，还需要勾选授权信息，也就是该角色对应哪些功能权限。而最后一个用户管理菜单，管理员负责查看注册成功后的用户列表和分配给每一个用户对应的角色信息。目前本虚拟实验室平台有三个角色，分别为学生、老师和管理员。所以管理员负责为注册成功的用

户分配对应的角色，而每一个角色都指定了对应的功能权限。最后管理员也可以管理自己的个人信息，比如修改密码，当然完成工作之后，管理员也可以退出本虚拟实验室平台。

3.3 本章小结

本章主要完成了虚拟实验平台的需求分析，包括平台的功能分析和平台的角色用例分析。在平台的功能分析部分，分析得出了本虚拟实验平台在虚拟实验模块、用户管理模块、网络聊天室模块和虚拟实验管理模块这四个方面详细的功能。在平台的角色用例分析中，提供图示描述了学生、老师和管理员三个角色的用例信息。

第四章 三维虚拟实验平台的总体设计

4.1 平台的体系结构设计

4.1.1 Client/Server 体系架构

Client/Server 是一种客户机/服务器模式^[21]。需要先下载安装对应的客户端软件后才能通过客户端软件来访问服务器。C/S 架构常见的软件有：360、QQ 和迅雷等。采纳 C/S 架构的优势在于数据操作和事务处理上有强大的能力，并且能够发挥 PC 端的性能，将任务可分配给客户端处理，减轻服务器的压力。劣势在于软件升级或者后期的维护成本是非常高的，并且不能跨平台所以需要开发不同版本^[22]。C/S 软件架构图如图 4-1 所示：

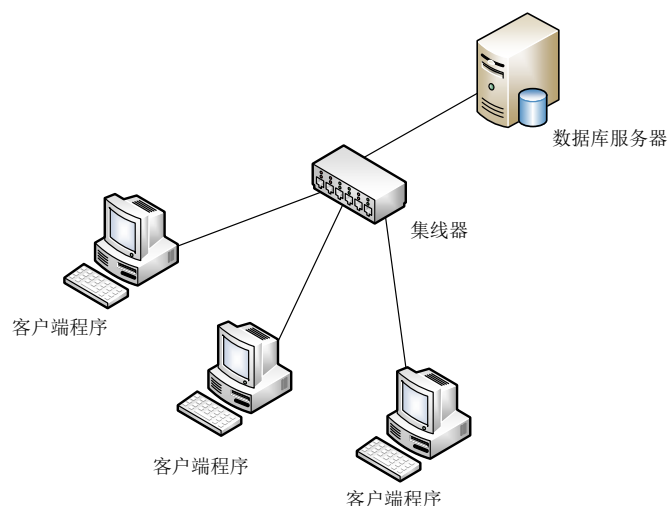


图 4-1 C/S 软件架构图

Fig.4-1 C/S software architecture diagram

4.1.2 Browser/Server 体系架构

Browser/Server 是一种浏览器/服务器模式，可以说是一种软件模式的改进^[23]。用户不在需要下载安装客户端软件了，只需要通过电脑自带的浏览器即可访问后台的服务器。B/S 架构常见的软件有：12306、电商网站和学校网站等。采用 B/S 架构的优势在于客户端使用的是标准浏览器，所以大规模部署应用程序不会引起系统安全问题，并且不用担心软件的安装和维护工作，软件扩展性也很强。劣势在于所有的数据处理和

业务逻辑都交给了服务器，增加了服务器的压力，并且客户端的应用性比较低，比如无法实现图形图像等复杂的应用^[24]。B/S 软件架构图如图 4-2 所示：

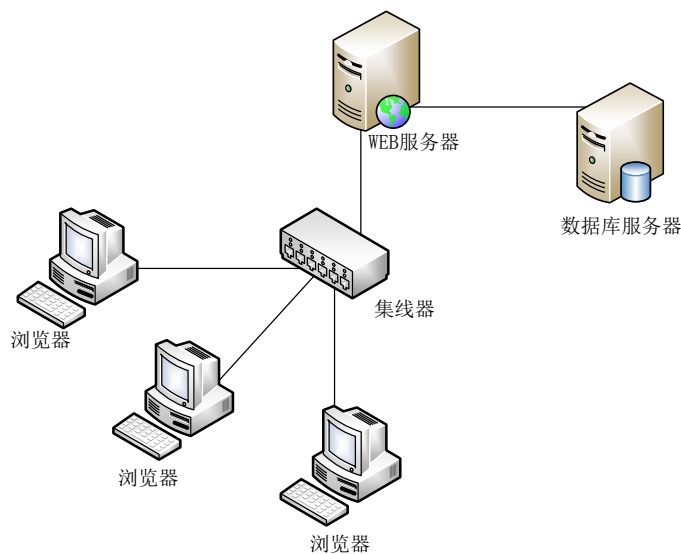


图 4-2 B/S 软件架构图

Fig.4-2 B/S software architecture diagram

4.1.3 本平台的体系解决方案

通过上面各自对 C/S 架构和 B/S 架构的进行优缺点分析，本虚拟实验平台决定采用 B/S 架构进行开发。主要从以下几点考虑：

(1) 开发效率高：C/S 架构除了需要编写服务器端程序外还需要编写客户端程序，比如开发 GUI 界面，工作量比较大。而采用 B/S 架构开发，无需开发客户端，节省了很多工作量，并且开发者只需关注业务逻辑本身，无需关注其他事，因此效率得到大大的提升。

(2) 扩展性强：采用 C/S 结构有一小块需要改动，则就会关联另一部分变动，因此系统升级困难。而采用 B/S 结构开发，系统模块之间相互独立，因此修改其中一部分，其余均不受影响，软件更新升级非常便捷^[24]。

(3) 开发成本低：C/S 结构软件因为需要开发者自己去解决业务逻辑以外的任务，所以对开发者提出了较高的要求，开发周期也比较长，而 B/S 架构只需要开发服务器端代码，开发周期短，成本也更低。

综上所述，采用 B/S 结构开发是合情合理的，如图 4-3 所示为本虚拟实验平台的软件系统结构图：

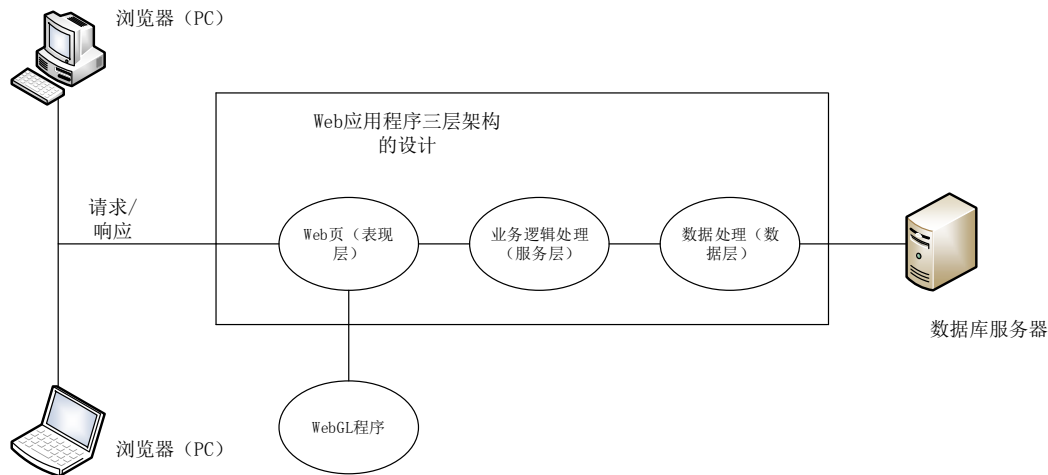


图 4-3 软件架构图

Fig.4-3 Software architecture diagram

4.2 平台的数据库设计

数据库设计的目的是保存数据，满足不同用户的需求^[25]。计算机软件在设计阶段都会遇到数据库相关的操作内容，数据库的设计成为计算机软件设计的重要一环，同时也支撑了软件系统运行的关键因素，数据库设计的优劣将直接影响软件系统能否稳定运行，因此，数据库的设计是至关重要的^[26]。

4.2.1 数据库的设计原则

(1) 制定详细的计划：在数据库设计阶段，首先需要保障自身具有充沛的时间，因为在数据库设计环节需占软件开发周期一半的时间。在软件开发之前，需要对数据库进行详细的规划设计，并从能满足用户以及实际业务需求出发来开展数据库的设计。当软件开发人员熟悉业务需求后，还要和用户保持沟通，对用户提出的新需求进行相应调整。因此在设计过程中，数据库中应保有变化字段，这也体现了数据库的可扩展性^[26]。数据库设计流程如图 4-4 所示：

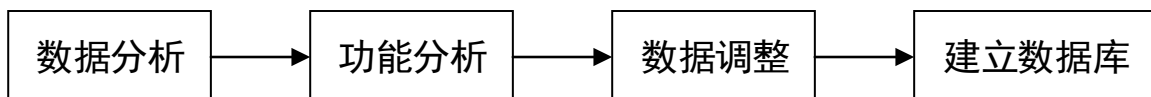


图 4-4 数据库的流程图

Fig.4-4 Database flow chart

(2) 全面考虑设计需求：数据库的设计不仅要满足页面需要，还用满足数据库自身的需要。比如数据库自身各个表之间的联系，表中数据字段间的关系。所以，在软

件进行数据库设计时，不光要满足展现给用户查看的页面需求信息，还用结合数据库自身的特点与结构去进行设计^[27]。

(3) 使各个表之间的联系合理：在数据库设计中，各张表设计要合理。如果各张表之间的关系比较复杂，比如多对多的关系，那么就可以创建第三张映射表，其主要的作用就是降低表关系之间的复杂度^[27]。

当然针对数据库设计原则还有其他一些见解，本论文只是列举总结了其中比较重要的节点。总得来说，数据库设计需要与客户相互配合，了解用户需求。不仅满足页面示范要求，还要结合数据库自身特点出发。在具体开发过程中，要合理设计各个表之间的关系。

4.2.2 平台的 E-R 模型

E-R 模型图也称实体-联系图 (Entity Relationship Diagram)，是由实体、联系、属性这三个概念组成的数据结构集合^[28]。数据结构描绘的是一个概念数据模型特点最重要的一面，是对系统的一种静态描述。

(1) 实体：现实中独立存在的“事物”，它可以是概念对象，也可以是物理对象。其实实体是一个比较笼统的概念，可以把它理解为面向对象概念中对象，泛指现实存在的一个实物^[28]。比如人就是实体，汽车也是一个实体，商品也是一个实体。在 E-R 图中用长方形表示实体，里面填写实体名。

(2) 联系：在现实中，事物之间或者事物内部是有联系的，这些联系反映为实体之间以及实体内部的联系。实体之间的联系是指不同实体集之间的联系，而实体内部的联系是指实体内部各属性间的联系^[28]。比如，学生和课程之间有联系，学生需要有选课关系。老师和课程之间也有联系，老师需要有授课关系。在 E-R 模型图中，用菱形框表示联系，里面填写联系名。

(3) 属性：在现实中，属性是用来描述实体的特定性质的。对于实体而言，每一个属性都应用具有特点的值 (Value)，而属性值得范围被称为属性的域 (Domain)。其实属性很好理解，就是实体自带的性质^[28]。比如，人有名字、性别、身高、体重等特点；汽车有品牌、颜色、耗油量等特点；商品有数量，用途、价格等特点，这些都是各自实体所具有的属性。在 E-R 模型图中，用椭圆形框表示属性，里面填写属性名。

许多软件系统中都使用数据库来存储数据，特别是大型系统中数据库设计往往很难

掌握它们的逻辑结构,因此,可视化数据库是很重要的^[29]。当前,实体关系图(ER图)已经被提出并用于设计和管理数据库。E-R的作用其实是为了更加有效的在概念模式下设计数据库,通过图示的方式更加形象化的弄清实体与实体之间的联系以及实体都有哪些属性。因此,在本平台分析阶段所得到的结果基础之上对实体之间的关系进行了有效的整合,绘制了如图4-5所示的系统总体E-R模型。

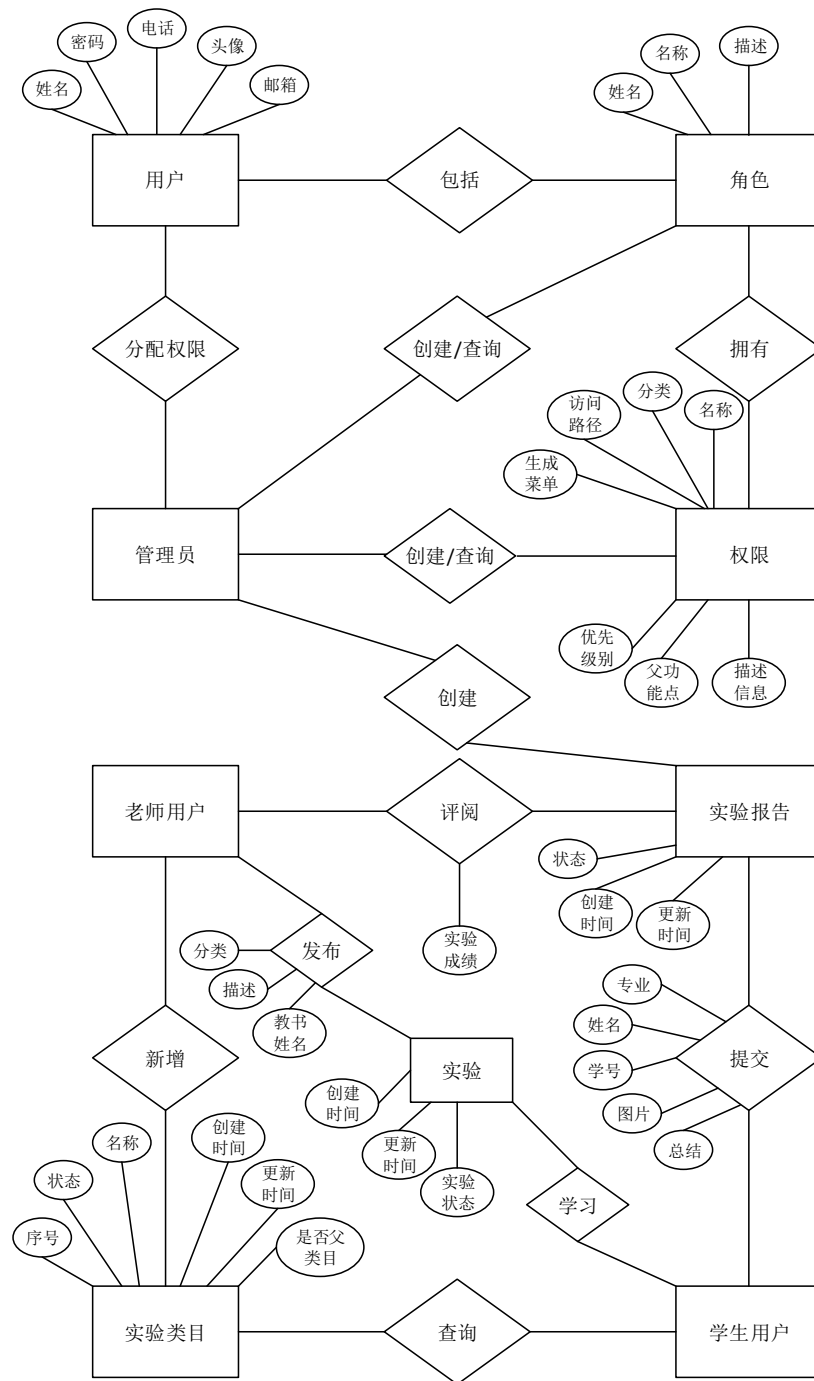


图 4-5 三维虚拟实验平台总体 ER 图

Fig.4-5 ER diagram of 3D virtual experiment platform

4.2.3 虚拟实验及实验管理数据库表设计

虚拟实验模块数据库表的设计主要是让用户可以查看实验文档,并根据实验文档上的内容及步骤完成三维虚拟实验操作。操作完毕之后再填写实验报告,然后提交实验报告。而实验管理模块数据库表的设计主要是对实验类目的管理、实验文档的管理、实验报告的管理和实验成绩的管理。因此,虽然这两个模块的功能特点不同,但是都对应共同的字段。因此在进行数据库表的设计时,尽量将相同字段放在一张表中,结合三维虚拟实验平台自身的特点,设计出以下 5 张与虚拟实验及实验管理相关的数据表。

(1) tb_item_cat 实验类目表

实验类目表类似于购物网站的商品类目表,比如商品类目表中有一级目录、二级目录等。所以实验类目表也是这么设计的思路,比如一级目录有物理实验、化学实验等;物理实验的二级目录有力学实验、电学实验等。具体的实验类目表结构定义如表 4-1 所示:

表 4-1 实验类目表
Table 4-1 Experimental category table

数据项	字段名	数据类型	长度	约束
实验类目编号	id	bigint	20	Primary Key
父类目编号	parent_id	bigint	20	DEFAULT NULL
实验类目名称	name	varchar	50	DEFAULT NULL
实验状态	status	int	1	DEFAULT '1'
排列序号	sort_order	int	4	DEFAULT NULL
是否为父类目	is_parent	tinyint	1	DEFAULT '1'
创建时间	created	datetime	—	DEFAULT NULL
更新时间	updated	datetime	—	DEFAULT NULL

(2) tb_item 实验表

实验表设计的目的就是当老师新增创建实验时,该实验的数据存入这张表中,当然后期如果需要修改实验或者删除实验都是操作这张表。具体实验表的结构定义如图 4-2 所示:

表 4-2 实验表
Table 4-2 Experimental table

数据项	字段名	数据类型	长度	约束
实验编号	id	bigint	20	Primary Key
教师姓名	teachername	varchar	100	NOT NULL
实验类目	cid	bigint	10	NOT NULL
实验状态	status	tinyint	4	NOT NULL
创建时间	created	datetime	—	NOT NULL
更新时间	updated	datetime	—	NOT NULL

(3) tb_item_desc 实验描述表

实验描述表也是实验表的一部分，之所以将实验描述部分单独作为一张表，是因为该描述字段在数据库中的数据类型是 **text**，是一种大文本数据类型。数据库在做查询操作时查询该文本类型的字段需要花费比较大的资源，因此将它单独作为一张表的目的就是为了提高查询的效率。该实验描述对应虚拟实验中的实验文档部分，在实验描述中可以填写实验目的、仪器、介绍、内容与步骤等。具体实验描述表的结构定义如表 4-3 所示：

表 4-3 实验描述表
Table 4-3 Experimental describe table

数据项	字段名	数据类型	长度	约束
实验编号	item_id	bigint	20	Primary Key
实验描述	item_desc	text	—	—
创建时间	created	datetime	—	DEFAULT NULL
更新时间	updated	datetime	—	DEFAULT NULL

(4) tb_resport 实验报告表

实验报告表的设计主要是学生用户在做完虚拟实验操作之后，可以填写实验报告，然后点击提交。老师用户可以在线查询到学生提交的实验报告，然后进行评阅批改，给出实验成绩。当然在这个过程中，学生用户可以修改实验报告，老师也可以修改评阅意见，再次提交。实验报告中包含实验图片 **image** 字段，数据库中存储的只是图片访问的链接地址，真正的图片是存储在 Nginx 和 Ftp 搭建的图片服务器中了。具体实验报告表的结构定义如表 4-4 所示：

表 4-4 实验报告表
Table 4-4 Experimental report table

数据项	字段名	数据类型	长度	约束
报告编号	id	bigint	20	Primary Key
实验类目	category	varchar	100	NOT NULL
专业	profession	varchar	100	NOT NULL
姓名	name	varchar	100	NOT NULL
学号	student_id	varchar	100	NOT NULL
实验图片	image	varchar	500	——
指导评阅	review	varchar	500	DEFAULT NULL
报告状态	status	tinyint	4	NOT NULL
创建时间	created	datetime	——	NOT NULL
更新时间	updated	datetime	——	NOT NULL

(5) tb_resport_desc 实验报告描述表

实验报告描述表也是实验报告表的一部分，同实验描述表一样，它在数据库表中数据类型也是 text 类似，是一种文本类型。所以为了提交开发的效率，将它单独设计成一张表，具体的实验报告描述表的结构定义如表 4-5 所示：

表 4-5 实验报告描述表
Table 4-5 Experimental report describe table

数据项	字段名	数据类型	长度	约束
报告编号	resport_id	bigint	20	NOT NULL
报告描述	resport_desc	text	—	—
创建时间	created	datetime	—	DEFAULT NULL
更新时间	updated	datetime	—	DEFAULT NULL

本论文的重点在于虚拟实验方面的研究，因此针对软件平台都有的数据库表就不再单独列出，只简单说明一下。比如用户权限管理模块还有 5 张数据库表。一般只要有用户参与的系统都至少需要这 5 张表。

4.3 平台的网络聊天室设计

4.3.1 网络通信协议的基础知识

在具体了解 WebSocket 协议之前先认识一下常见的两种软件体系以及 HTTP 协议的通讯方式。前面已经讲解过两种软件体系架构，下面再简单论述一下。

C/S 架构：Client/Server 模式，是传统运用中比较广泛的体系结构。在通信方面的应用比如有 MSN、QQ、YY、QT 语言等，需要用户自己下载安装客户端才能使用。

如图 4-6 所示：

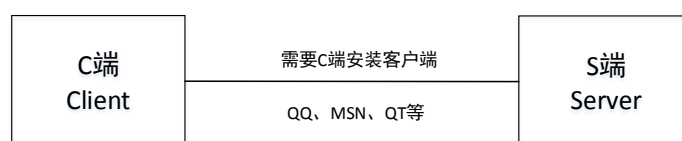


图 4-6 C/S 结构模式

Fig.4-6 C/S structure pattern

B/S 架构：Browser/Server 模式，它是基于浏览器去建立与服务器端之间的数据通信通道。该结构下不需要用户自己下载安装客户端，只需要通过浏览器即可，在通信方面的应用做的多的是网站提供在线客服功能。如图 4-7 所示：

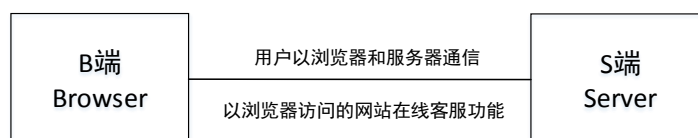


图 4-7 B/S 结构模式

Fig.4-7 B/S structure pattern

HTTP^[30]（HyperText Transger Protocol，超文本传输协议）是使用 TCP/IP 传输协议实现客户端与服务器端之间的单向数据传输通道，通常采用的是客户端与服务器端之间请求-应答方式建立传输通信。**HTTP** 协议的网络通信过程是：客户端发送请求，服务端接收请求并处理，将响应结果返还给客户端即可。具体通信过程如图 4-8 所示：

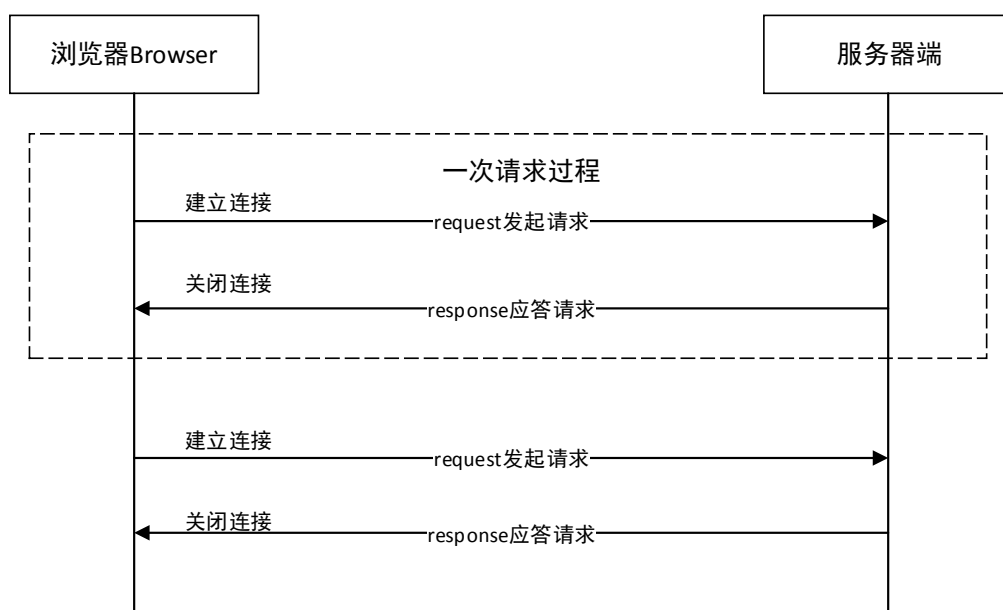


图 4-8 HTTP 协议通信过程图

Fig.4-8 HTTP protocol communication process diagram

HTTP 协议包含 1.0 和 1.1 版本，目前使用 HTTP1.1 的比较多^[31]。HTTP1.0 版本是不支持长连接，浏览器每次发送请求都需要与服务器端建立一次 TCP 连接过程。服务器端对请求进行处理之后就会立即断开 TCP 连接，这种过程的通信方式问题在哪？比如，浏览器需要打开一个网页就需求建立一次连接，其中打开该网页中的每个图片又需要建立一次连接，这种方式增加了建立与关闭连接操作的系统开销。HTTP1.1 版本就开始支持长连接了，所谓长连接就是建立一次 TCP 连接可以传输多次 HTTP 请求与响应过程。比如包含很多图片的一个网页需要多次 HTTP 请求和响应。如果使用 HTTP 协议 1.1 版本，它们只要连接一次 TCP 即可完成传输。当然如果多个网页文件，则每个单独的网页的请求与响应仍然需要各自的连接操作。

通过上面的描述，可以说 HTTP1.1 是对 HTTP1.0 版本的增强，但无论是 HTTP 协议 1.0 版还是 1.1 版本都存在一些缺点：第一，性能损耗大，不管是 HTTP1.0 还是 HTTP1.1 都需要建立多次连接。虽然 HTTP1.1 支持了长连接，但每个单独的网页文件仍然需要建立一次连接，因此增加了系统开销^[32]。第二，HTTP 协议要求客户端可以发请求，但服务器不能发，如果需要服务器端向客户端发送类似通知消息，则客户端需要不断执行轮询操作^[32]。第三，HTTP 发送请求的请求头中包含的信息比较多，因此传输的数据量是很重的。

4.3.2 传统 Web 实时通信方案

在上面介绍 HTTP 协议缺点时,其中有一点就是服务器不能主动的向客户端发送消息。在不使用 WebSocket 时,客户端要想从服务器端获取消息内容,主要有两种方式:轮询与长轮询操作。下面就介绍一下这两种方式存在的问题。

(1) 轮询:就是指客户端每隔几秒钟就会向服务器发送一个请求,问服务器与没有新的消息要发过来。如果有就返回新消息,如果没有就返回无^[33]。然后再过去几秒钟,客户端就会再一次发送一个请求给服务器,整个过程就这样持续下去。轮询方式如图 4-9 所示:

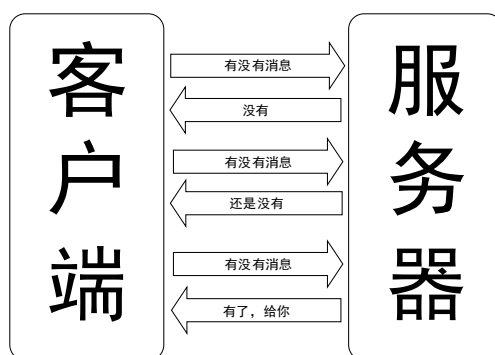


图 4-9 轮询方式

Fig.4-9 polling mode

(2) 长轮询:所谓长轮询,是指客户端向另一边发送请求,在这个请求过程中如果服务器端有数据就返回。反之如果没有数据,处于等待状态,直到有数据返回或者超时了。结束完本次请求后再次向服务器发送请求信息,整个过程持续下去^[33]。现在浏览器默认改为长连接(keep-alive)。正是因为如此,客户端才能和服务器保持长时间的连接直到有数据返回或者请求超时。长轮询方式如图 4-10 所示:

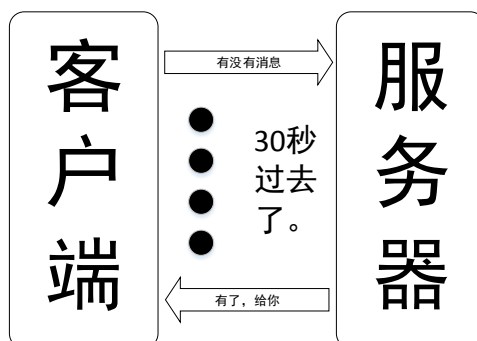


图 4-10 长轮询方式

Fig.4-10 long polling mode

通过上述两种方式的讲解,发现服务器这端都是处于被动地位,并不能主动发送消

息，这是前面分析得到 HTTP 作为通信协议的一个比较大的缺陷。

4.3.3 现代的 Web 实时通信方案

随着互联网的高度发展，人们对于 Web 应用的实时性要求肯定会越来越高，传统 Web 的实时通信方案已经无法满足现实软件应用的需求。在传统方案中暴露出实时性不高，并且资源浪费等问题。面对这些情况，HTML5 定义了 WebSocket 来达到更好的通信情况。WebSocket^[34]是一种客户端与服务器端之间进行双向通信的协议，客户端与服务器端之间需要建立“握手”通道。一旦握手通道建立完毕之后，客户端和服务端之间就可以互相的并且主动的向对方发送请求。在这个发送的过程中，双方可以连续多次的向对方推送消息并且不需要再重新建立连接。基于 WebSocket 协议的实时通信方案如图 4-11 所示：

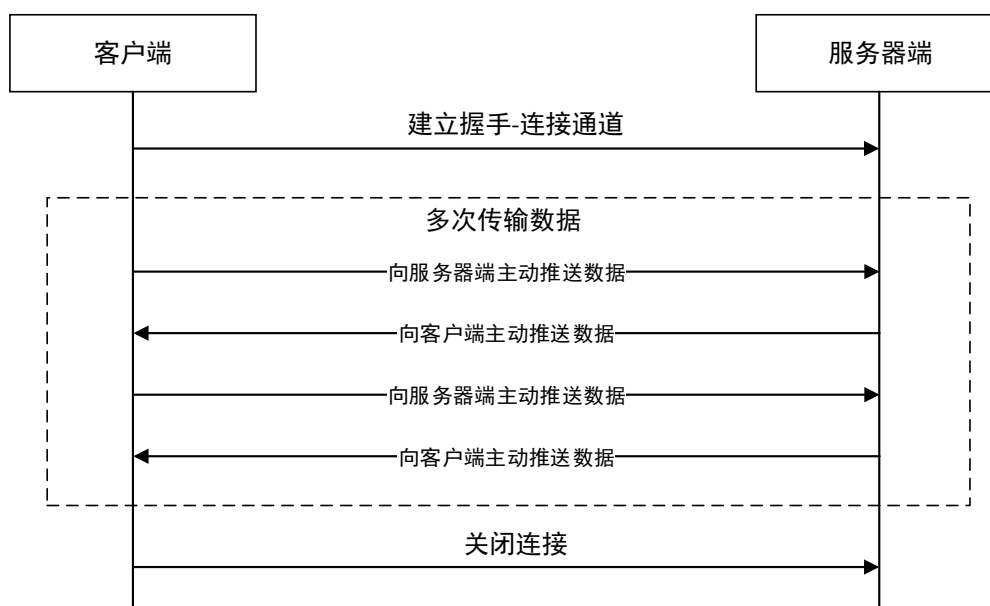


图 4-11 WebSocket 实时通信

Fig.4-11 WebSocket real-time communication

WebSocket 是一种全新的 Web 数据通信协议，它能够更好的节约带宽和服务器的资源并且能够满足用户需求进行实时通信。它同 HTTP 协议一样也是通过 TCP 来完成传输数据的，但与 HTTP 协议相比有两点最大不同之处^[35]：其一，WebSocket 是双向通信协议，在建立“握手”通道之后，服务器和客户端都能够主动向对方发送或者接收消息数据。而 HTTP 协议是单向通道，客户端可以发，但服务器端不能发。其二，相较于 HTTP 协议每次请求-响应都需要客户端与服务器端建立连接，WebSocket 一旦建立连接之后，只要两边有一边不断开，就无需重新发起连接请求，因此只要连接一次即

可。本虚拟实验平台内置的网络聊天室模块的设计采用 WebSocket 协议解决实时通信方案。下面将举几个简单的例子阐述 WebSocket 的使用场景。

(1) 在线远程教育平台：远程教育系统的概念是指学习方式不是常规的面对面教学法，而是通过任何远程通讯手段教学^[36]。该应用程序使用 WebSocket 和 HTML5 技术实现服务器发送事件功能，以虚拟白板会话形式实现师生之间的双向通信。借助于 WebSocket 技术的实时性使得虚拟白板会话的通信质量得到增强。

(2) 消息推送系统：举个例子，随着高校学生规模的扩大必然会对学生管理工作带来巨大的挑战，负责管理学生工作的老师和学生之间信息交换显著提升。传统沟通方式比如打电话、发短信效率低、工作量大等问题。因此借助于 WebSocket 的全双工通信信道，可以基于 WebSocket 协议实现校园相关消息的推送系统^[37]，从而解决教师和学生信息交换效率偏低的问题。

(3) 多人在线游戏：网络正在转变成一个游戏平台，与传统的需要安装客户端的游戏相比，基于浏览器的游戏，省去了安装过程，并且能够实现跨平台效果。因此很容易越来越受欢迎。随着 HTML5 标准和其他 Web 技术的迅速发展，基于 WebGL 和 WebSocket 的多人在线游戏系统显得非常有前途的^[38]。

4.4 本章小结

本章主要是对虚拟实验平台进行总体设计，分别从体系结构设计、数据库设计、网络聊天室设计这三个方面入手。在体系结构设计中分析比较 C/S 和 B/S 软件架构的优缺点，最终采用 B/S 架构作为本虚拟实验平台的软件架构方案。在数据库设计中，根据数据库设计的原则和系统 E-R 模型图，设计出了用户管理数据库表、虚拟实验数据库表和实验管理数据库表，并重点展示了虚拟实验相关的数据库表信息。在网络聊天室设计部分通过分析比较 HTTP 协议和 WebSocket 协议的优缺点，最终采用 WebSocket 作为本虚拟实验平台网络聊天室的通信协议。最后举例简要介绍了一下 WebSocket 技术的其他使用场景。

第五章 三维虚拟实验平台的开发实现

在平台的实现阶段中，将根据总体设计中提出的体系结构方案完成平台的 Web 应用程序的开发，对于开发中用到的技术也会详细讲解。

5.1 开发技术

5.1.1 JavaEE 应用技术

现如今的 JavaEE^[39]应用技术已经超越了 Sun 公司提出的经典 JavaEE 技术规范，而是一种更加开放的技术规范。经典 JavaEE 技术规范以 EJB^[40]为核心，是以应用服务器作为开发环境，结果导致运行慢、开发成本高。而今天所介绍的轻量级 JavaEE 具备 JavaEE 各种规范特征，比如面向对象思想、优秀分层开发模式，从而提高了可维护性和可扩展性。因此，从运行、开发角度出发，比以前成本更低了。如图 5-1 所示为 JavaEE 的架构图：

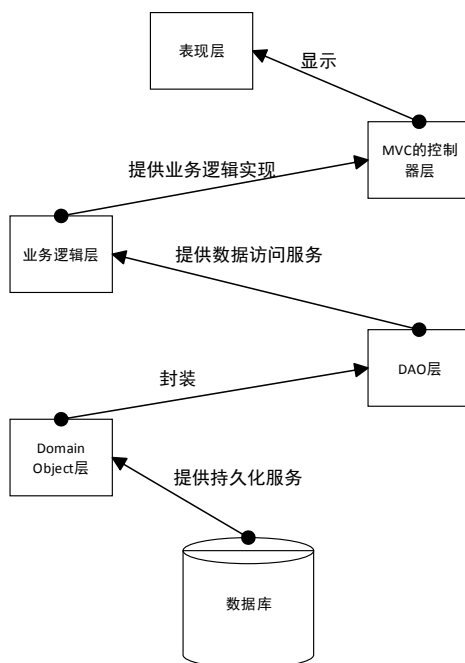


图 5-1 JavaEE 应用架构图

Fig.5-1 JavaEE application architecture diagram

采用 JavaEE 应用技术的虚拟实验平台改变了传统实验室功能单一、封闭的缺点^[41]。并且提供了一种开发模式，让开发人员可以高效的开发，提高资源利用率。让平台具有高可扩展性、高可用性以及易维护性^[42]。

5.1.2 SSM 框架

(1) SpringMVC 框架

SpringMVC^[43] 是 Java 开发，继承 MVC 模式。它通过实现 Model-View-Controller 的模式来解决数据、业务逻辑和页面显示进行分离开发。从另外一个角度出发，SpringMVC 和 Struts2^[39] 是非常相似的。SpringMVC 的设计理念是围绕 DispatcherServlet 开展的，具体 SpringMVC 请求处理的整个流程如图 5-2 所示：

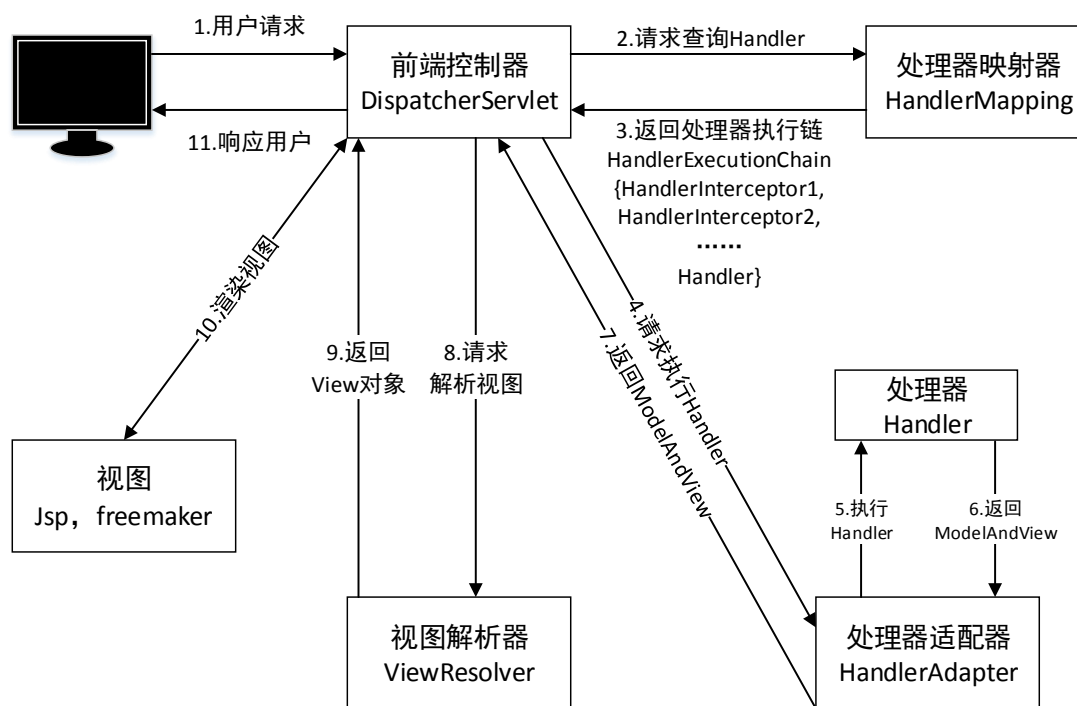


图 5-2 SpringMVC 流程图
Fig.5-2 SpringMVC flow chart

SpringMVC 主要任务是接收用户页面的请求和将响应结果返回给页面显示。其功能如下^[44]：本地化解析，实现文件上传功能；通过处理器映射器，可以将请求映射到对应的处理器中，并且可以实现多种类型的处理器；可以实现对具体的视图进行页面渲染；可以通过异常处理器解决程序执行过程中遇到的异常问题，提升程序的健壮性。

(2) Spring 框架

Spring^[39] 也是 Java 语言开发的，它的主要作用是解决复杂企业应用而开发出来的。Spring 框架的优势是其分层的设计架构，因为是分层架构所以允许应用开发者选择其中某一组件开发，并且从简单性、测试性、服务器端开发和耦合度角度出发都能从 Spring 框架中受益。Spring 框架的核心功能就是两点：其一就是控制反转（Ioc），另一个就是

面向切面编程（AOP）技术。所谓控制反转就是将对象的创建和依赖注入交由 Spring 框架来管理，无需程序自己去创建对象了。而面向切面编程就是程序在运行过程中，动态的将所需的代码切入到指定的方法前或者方法后。如图 5-3 所示为 Spring 结构图：

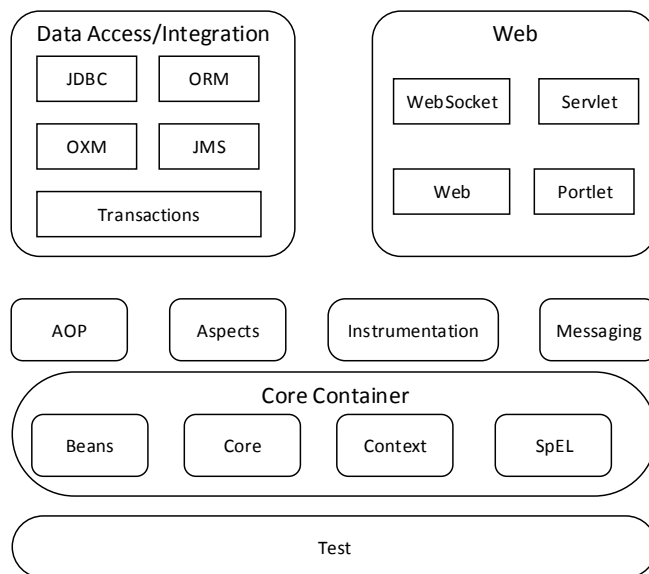


图 5-3 Spring 架构图

Fig.5-3 Spring architecture diagram

如上图 5-3 所示，用框框起来的部分是 Spring 的核心机制，在开发时用到 Spring Core Container^[45]这个部分，主要是提供了 Spring Ioc 容器的支持。为什么要选用 Spring 框架来开发呢？主要是它很方便，不需要自己创建和管理对象，都由框架来管理，提高了开发效率。

（3）MyBatis 框架

持久层 MyBatis^[46]框架从开发使用角度出发，MyBatis 是一个非常优秀的持久层架构，它对 JDBC 进行了友好的封装，使的开发者在写代码时只需要关注 SQL 语句本身，而不需要去处理比如数据库连接需要注册驱动、创建 Connection 连接、创建 Statement、查询结果集等 JDBC 复杂的操作。MyBatis 架构图如图 5-4 所示：

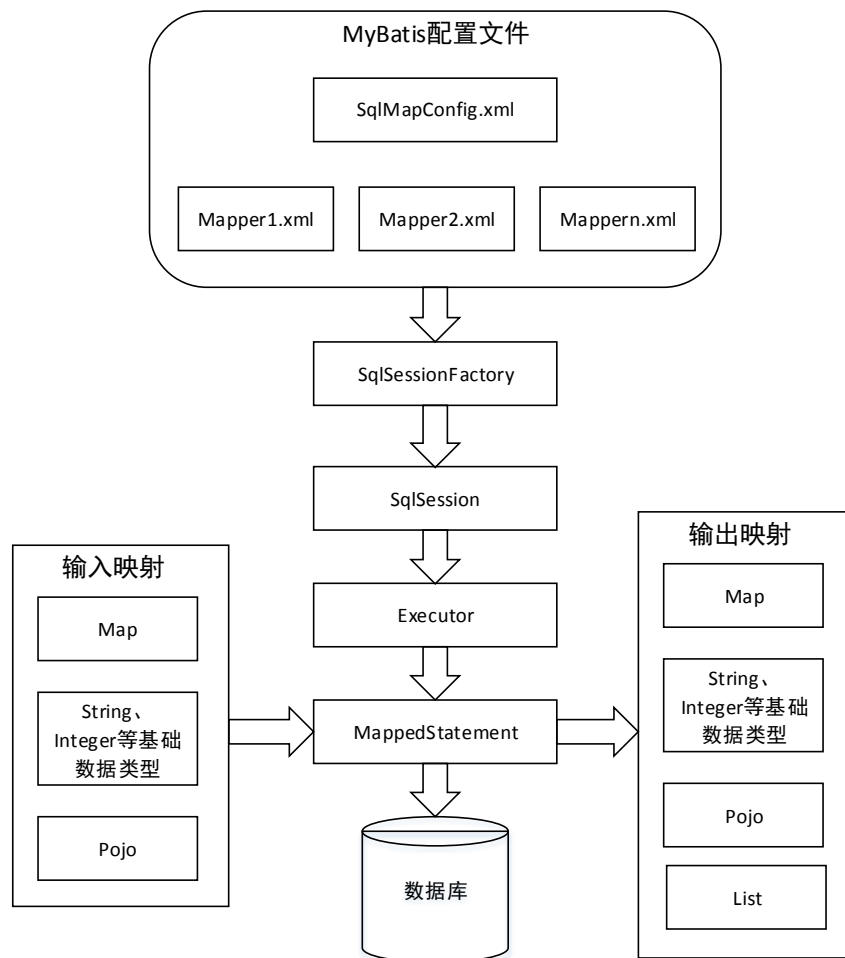


图 5-4 MyBatis 架构图

Fig.5-4 MyBatis architecture diagram

下面简要对上图 5-4 进行分析：**SqlMapConfig.xml** 这个文件是 MyBatis 框架的核心配置文件，官方文档上起的就是这个名字。**Mapper1.xml** 和 **Mapper2.xml** 等文件是数据库表对象的 XML 文件，数据库中有几张表就对应几个 XML 文件。通过上面的 **SqlMapConfig.xml** 和 **Mapper1.xml** 两大组件产生 **SqlSessionFactory**。再由会话工厂 **SqlSessionFactory** 根据这两个原材料创建 **SqlSession**。至于 **Executor** 对象和 **MappedStatement** 对象是 **SqlSession** 内部对象，属于底层对象，可以不作为重点了解。输入映射就是执行 Sql 语句的输入参数，输出映射就是执行 Sql 语句的结果。

5.1.3 Unity3D 技术

Unity3D^[47]是一款跨平台的游戏开发工具，有图形化的游戏编辑界面环境，是一个功能齐全强大的专业游戏引擎。Unity3D 游戏引擎的性价比是很高的，并且它可以发布成网页版，最大的优势在于用户不需要下载客户端，就能够直接体验游戏感受。

Unity3D 不仅限于游戏开发领域,在其它领域比如虚拟实现技术中、工程模拟技术中等都有广泛的使用。国内关于 Unity3D 进行开发房地产三维建筑模型展示、虚拟仿真教学中心的建设有很多的案例。并且由于 Unity3D 5.0 的更新, WebGL 平台也能够在其中得到支持。WebGL 是一款基于 OpenGL ES2.0 开发的 API,可以实现在浏览器中与页面中的其他元素无缝对接;借助于 WebGL 的跨平台特性,可以使开发者的程序在家用电脑、平板甚至于手机里运行^[48]。如图 5-5 所示为 WebGL 的内部主要元素关系图:

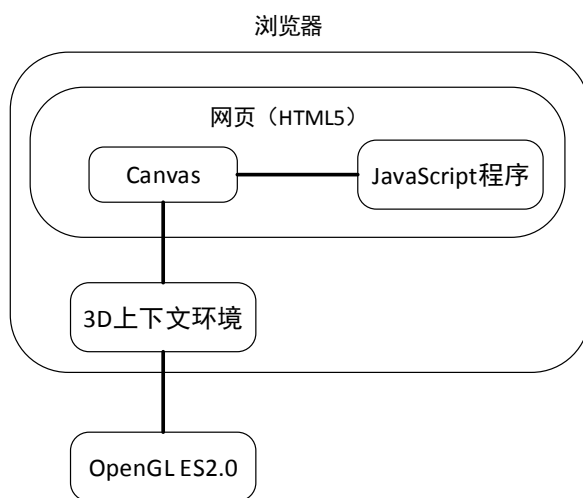


图 5-5 WebGL 内部元素关系图

Fig.5-5 WebGL internal element diagram

5.1.4 Shiro 框架

Shiro^[49]首先它是一个 Apache 的开源的框架,并且它也是一个权限控制的框架,在实现了用户的认证与授权方面作用是非常大的。所谓认证和授权就是用户的登录验证和用户进入系统之后可以使用哪些功能权限,说起来简单但是做起来很复杂的一个模块。在企业项目开发中也是越来越受欢迎的,因为使用 shiro 框架可以实现系统平台的权限管理任务,并且有效的提高开发效率,从而降低企业开发的成本。如图 5-6 所示为 Shiro 的架构图:

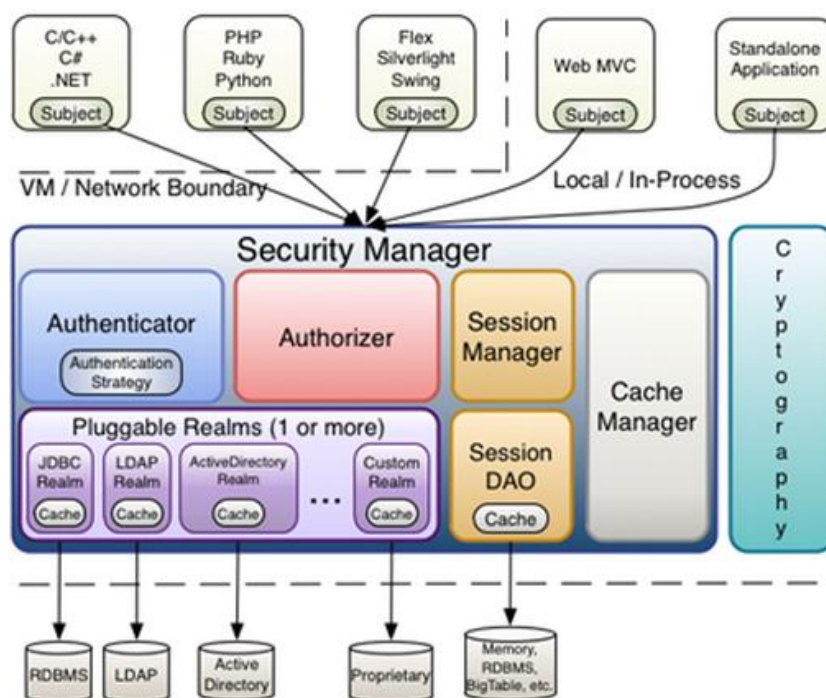


图 5-6 Shiro 架构图

Fig.5-6 Shiro architecture diagram

由于 Shiro 框架组成模块众多，下面简要分析一下图 5-6 里面的内容^[49]：最顶层的 Subject 是主体，该主体可以是程序也可以是用户本身。下一层 SecurityManager 是安全管理器对象，Subject 主体要进行认证或者授权操作都是通过它来进行的。但是安全管理器对象 SecurityManager 并不是真正干活的，它的功能类似于调度管理中心。当主体需要认证时最终使用 Authenticator 认证器完成认证；当主体需要授权时最终使用 Authorizer 授权器完成授权。还有一个比较关键的对象就是 Realm 域，它类似于数据源的作用，Shiro 框架通过 Realm 来存取认证或者授权相关的数据。至于图中的其他对象都是辅助功能，比如 Session 会话管理、Cache 缓存管理等。

5.2 用户管理模块功能实现

5.2.1 用户注册功能实现

新用户要想使用本平台必须要先进行注册，以便于在数据库的 tb_user 用户表中生成新的记录。所以需要在注册页面填写个人信息，注册页面如图 5-7 所示：

欢迎注册

* 账户名 :

请输入您的用户名。可使用字母、数字、下划线。

* 登录密码 :

请输入登录密码

安全程度 :

弱 | 中 | 强

* 确认密码 :

* 验证手机 :

请输入您的手机号码

立即注册

图 5-7 用户注册页面

Fig.5-7 User registration page

在注册过程中,新用户需要填写图 5-7 中的信息。如果不填写注册数据信息,点击“立即登录”按钮,就会显示上图 5-7 所示的红色字体,友好提示用户需要输入相应的信息才能注册成功。请注意在注册过程中还进行了输入校验,比如当用户输入的账户名或手机号码重复时,系统就会弹出错误信息,从而保证每个用户名是无法重复的。如图 5-8 所示为校验用户注册数据:

欢迎注册

* 账户名 :

此用户名已经被注册!请重新输入。

* 登录密码 :

安全程度 : 弱 | 中 | 强

* 确认密码 :

* 验证手机 :

立即注册

图 5-8 校验用户注册数据

Fig.5-8 Check user registered data

如上图 5-8 所示,当在浏览器注册页面中输入用户名为 xiaoqiang 时,后面用红色的字体显示“此用户名已经被注册!请重新输入”,表示校验用户注册数据功能实现了。

下面将提供部分数据校验业务逻辑处理的核心实现代码：

```
public e3Result createUser(TbUser user){
    //.....
    if(StringUtils.isBlank(user.getUsername())){
        return e3Result.build(400,"用户名不能为空");
    }
    if(StringUtils.isBlank(user.getPassword())){
        return e3Result.build(400,"密码不能为空");
    }
    //校验数据是否可用
    e3Result result = checkData(user.getUsername(),1);
    if(!(boolean)result.getData()){
        return e3Result.build(400,"此用户已经被使用");
    }
    //校验电话是否可用
    if(StringUtils.isNotBlank(user.getPhone())){
        Result = checkData(user.getPhone(), 2);
        if(!(boolean)result.getData()){
            return e3Result.build(400,"此手机号已经被使用");
        }
    }
    //.....
}
```

5.2.2 用户登录功能实现

当注册成功之后，用户进入本虚拟实验室平台之前需要进行登录操作，主要是进行登录验证操作。具体页面如图 5-9 所示：



图 5-9 用户登录页面

Fig.5-9 User login page

用户在登录的过程中，系统会检查用户输入的数据。如果填写信息有误，点击“登录”按钮，将显示登录失败原因，例如，显示“用户名或者密码错误”，如图 5-10 所示：



图 5-10 用户登录失败页面

Fig.5-10 User login failure page

当用户输入正确的信息之后，点击“登录”按钮，将显示登录成功的窗口，在窗口里给出登录成功信息。如图 5-11 所示：



图 5-11 用户登录成功页面

Fig.5-11 User login success page

通过之前开发工具的介绍，我们在虚拟实验平台的开发过程中使用 Shiro 框架来负责管理用户认证环节。Shiro 它是一个 Apache 的开源框架，同时也是一个权限管理的框架，可以实现用户认证功能，也就是控制用户登录过程。如图 5-12 所示为通过 Shiro 框架实现的用户认证流程图：

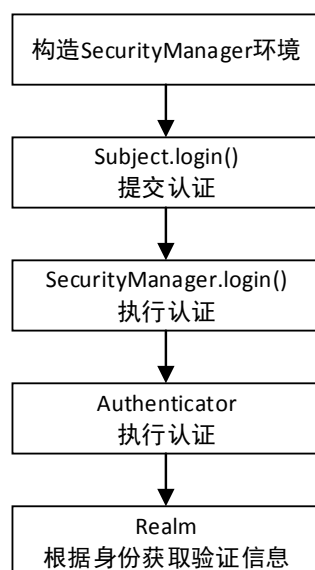


图 5-12 Shiro 认证流程图

Fig.5-12 Shiro authentication flow chart

5.2.3 用户注销功能实现

当用户需要退出平台时，可点击控制面板中的“退出系统”按钮即可。如果点击“确定”按钮就退出平台并跳转到登录页面。如果点击“取消”按钮，则不退出系统了。用户

注销页面如图 5-13 所示：



图 5-13 用户退出

Fig.5-13 User exit

用户注销过程的代码比较简单，下面将提供用户注销的代码：

```
@RequestMapping("/logout/index")
public String logout(HttpSession session){
    session.invalidate();
    return "redirect:/page/login";
}
```

5.2.4 用户权限配置功能实现

在本平台的需求分析阶段，用户权限配置主要包含三个部分：功能权限的管理、用户角色的创建和分配用户不同的角色，下面分别实现它们。

(1) 功能权限的管理实现：

对于授权流程一般是当用户身份认证通过之后，就会走到权限控制部分。当然前期要分配好权限，如果该用户具有访问权限，则继续访问，否则，拒绝访问。由前面的理论知识可知，本系统平台使用 Shiro 框架来实现用户授权环节，所以通过 Shiro 框架实现的授权流程如图 5-14 所示：

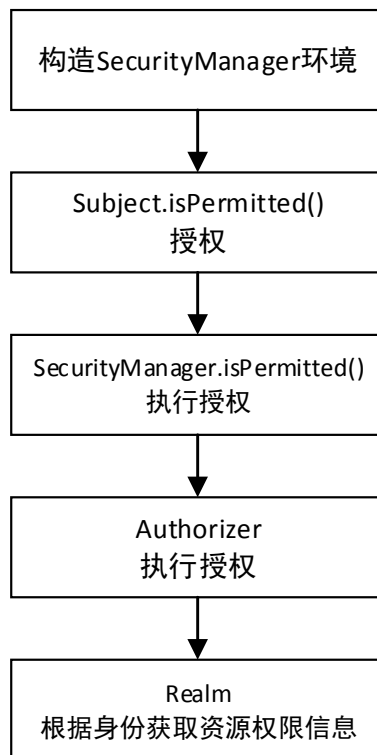


图 5-14 Shiro 授权流程

Fig.5-14 Shiro Authorization flow chart

下面将提供使用 Shiro 框架实现本虚拟实验平台用户授权的核心代码块：

```
//授权方法
protected AuthorizationInfo doGetAuthorizationInfo(PrincipalCollection principals){
    SimpleAuthorizationInfo info = new SimpleAuthorizationInfo();
    //获取当前对象
    TbUser user = (TbUser) SecurityUtils.getSubject().getPrincipal();
    //根据当前登录用户查询数据库，获取实际对应的权限
    List<AuthFunction> list = authFunctionMapper.findAuthFunctionByUserId(user.getUsername());
    //遍历该用户的权限数据
    for(AuthFunction authFunction : list){
        info.addStringPermission(authFunction.getCode());
    }
    return info;
}
```

通过上面的流程图和核心代码的讲解，实现了功能权限的管理如图 5-15 所示：

图 5-15 添加权限

Fig.5-15 Add permission

如图 5-15 所示是权限添加页面，在该页面中填写功能权限信息，比如权限分类、名称、访问路径、父功能点等。当填写完毕之后，点击左上方的“添加保存”按钮，这样平台中的一个权限数据就添加进数据库中保存起来了。

名称	描述	是否生成菜单	优先级	路径
实验文档	实验一的实验文档内容	是	1	/document/151641364934791
三维虚拟操作	物理的力学实验	是	1	/second_exp
功能权限管理	功能权限管理菜单，用来添加、修改、删除、查询权限数据。	是	4	/admin/function
查询实验	用于查询老师发布的实验。	是	1	/item-list
三维虚拟操作	实验一的三维虚拟操作区域	是	2	/first_exp
实验报告	实验报告菜单，用于批阅学生提交实验报告的子目录。	是	1	/teacher-resport-list
实验报告	实验一的实验报告	是	3	/student-resport
学生实验报告	学生实验报告菜单，用于做完虚拟实验后，提交实验报告的页面，可以上传文字和图片。	是	1	/student-resport-list
角色管理	角色管理菜单，作用是分配每一个角色对应的菜单。	是	3	/admin/role
实验管理	实验管理菜单，是教师对实验的发布与查询目录。	是	3	

图 5-16 权限查询列表

Fig.5-16 Permissions query list

如图 5-16 所示为权限数据查询列表，可以查看到自己添加保存的权限数据。在页面上方提供两个按钮，分别是“添加权限”和“删除权限”按钮。除了这些功能之外，双击列表中的每一条数据也可以修改该条权限数据，修改完之后再保存即可。

(2) 角色管理功能实现：

角色管理主要是对本平台的角色进行有效的管理，在平台需求分析阶段已经论述过了，这里不再重述。目前开发设计了三个角色：学生、老师和管理员。每个角色都有相应的权限，如图 5-17 所示举例为学生角色授予权限：

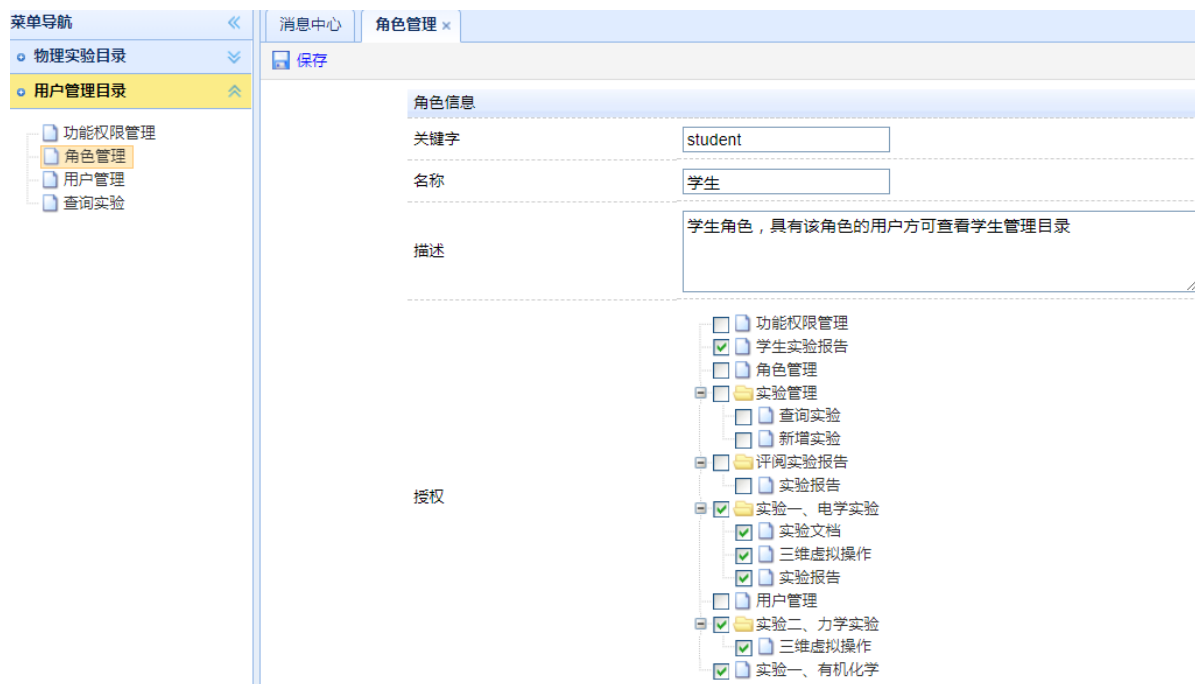


图 5-17 创建学生角色

Fig.5-17 Create student role

如上图 5-17 所示为创建学生角色，并为学生角色授予相应权限的页面。在该页面中包含一些信息，比如关键字、名称、角色描述和最重要的授权操作。这个授权就是将角色和权限相关联的操作，勾选哪个权限，该角色就拥有什么权限。填写完点击保存就将数据保存到数据库中了。

编号	名称	描述
502e41fed9264685a8429e1143bec641	老师	老师角色，具有该角色的用户方可查看教师管理目录。
7bf5d93073884644b1e0cf1936a83a0f	管理员	管理员角色，负责功能权限的管理、角色的创建以及用户对应角色的分配，至关重要。
80355f063bf441e597bb3b37827f5426	学生	学生角色，具有该角色的用户方可查看学生管理目录。

图 5-18 角色列表

Fig.5-18 Role list

如上图 5-18 所示是角色列表页面，目前系统中存在三个角色，分别是老师、学生和管理员。页面展示了角色的名称以及对应角色的描述信息。

(3) 用户管理功能实现：

用户管理部分的功能是给用户分配角色，这种设计的目的就是让不同的用户具有不同的权限，所看到的内容也是不一样。如图 5-19 所示为分配角色：

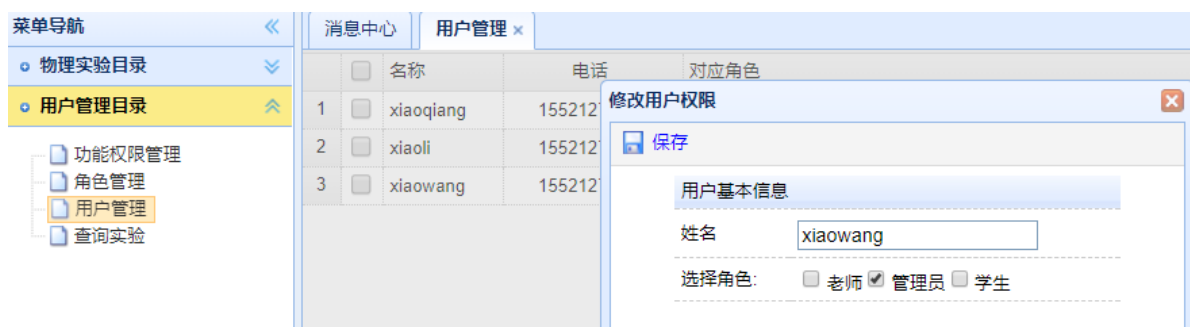


图 5-19 用户分配角色

Fig.5-19 User assign role

如上图 5-19 所示为注册进来的新用户分配角色，可以看到我们为 xiaowang 用户分配了管理员角色，这样 xiaowang 用户就具有了管理员的功能权限了。

菜单导航

物理实验目录

用户管理目录

功能权限管理

角色管理

用户管理

查询实验

消息中心

用户管理 ×

	<input type="checkbox"/>	名称	电话	对应角色
1	<input type="checkbox"/>	xiaoqiang	15521270779	学生
2	<input type="checkbox"/>	xiaoli	15521270778	老师
3	<input type="checkbox"/>	xiaowang	15521270777	管理员

图 5-20 用户列表

Fig.5-20 User list

如上图 5-20 所示为用户管理列表，在里面可以看到用户的个人信息，比如用户名、手机号码，还有就是每个用户对应的角色名称。通过角色这个中间桥梁，可以将用户与系统权限相关联起来。

5.3 虚拟实验模块功能实现

按照论文前面的需求分析和数据库表的设计，在虚拟实验模块包括三个部分组成：实验文档、三维虚拟操作区和实验报告的设计。

(1) 实验文档

实验文档类似于真实实验中的实验指导书。其中包含实验背景、实验目的、实验所需仪器、实验工作原理以及实验内容和步骤。学生可以根据该实验文档中的内容与步骤操作虚拟仪器进行三维虚拟实验。如图 5-21 所示为一个电学实验的实验文档：



图 5-21 实验文档

Fig.5-21 Experimental document

(2) 三维虚拟操作区

三维虚拟操作平台才是真正做实验的地方，该部分内容是使用 Unity3D 的 WebGL 技术开发实现的。也就是说，在 Unity3D 里面开发三维游戏，然后发布成 WebGL 的形式，产生一堆的 JS 文件，而 JS 文件就是在浏览器里运行的脚本文件。因为浏览器中可以运行 JS 里面的内容，这样就可以在浏览器中运行 Unity3D 开发的三维游戏了。如图 5-22 所示：

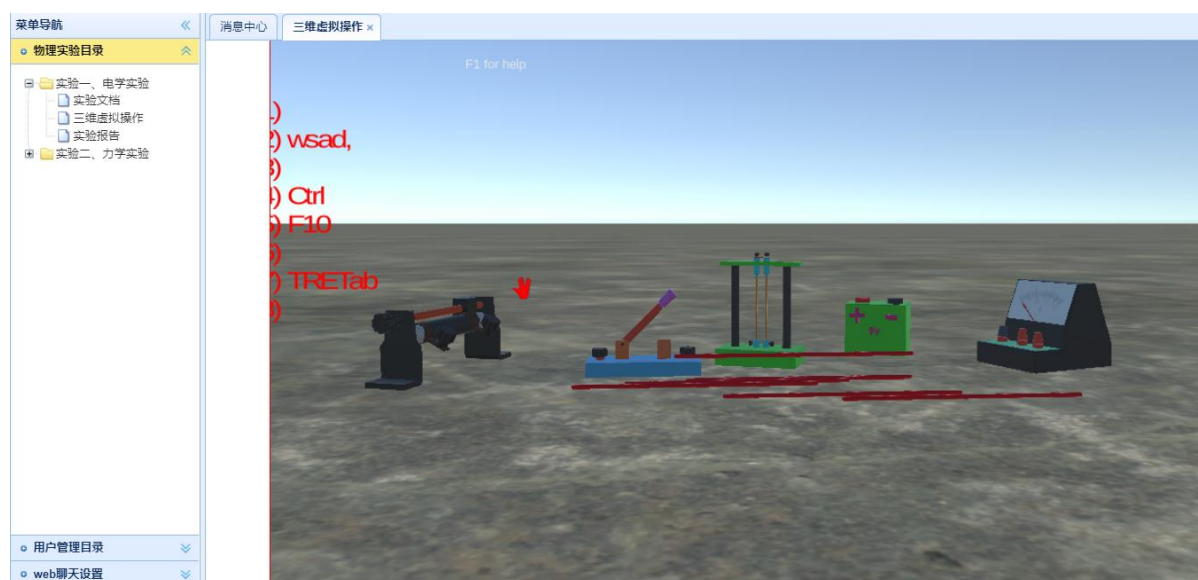


图 5-22 三维虚拟操作区

Fig.5-22 3D virtual operating area

如上图 5-22 所示，实验台上摆放了一些虚拟仪器，比如滑动变阻器、单刀开关以及电源箱等。学生可以拖动摆放仪器进行实验，当然还有背景音乐，提供一种舒适的环境。在左边列表是功能选择菜单，比如键盘 wasd 对应相机的前后左右，让场景可以

移动起来，从而实现了场景的漫游功能。

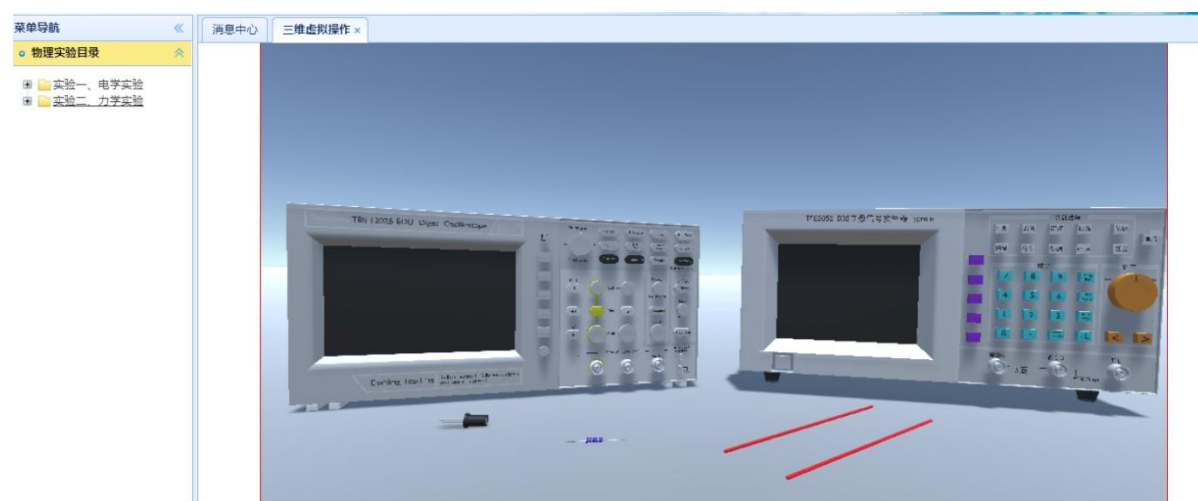


图 5-23 实验仪器

Fig.5-23 Experimental instrument

如图 5-23 所示，在实验台上摆放着函数信号发生器、数字示波器、电容、电阻、导线等仪器。它们都是用 Blender 建模软件开发的，画好之后导入 Unity3D 游戏引擎中，发布 WebGL 的形式。最后再嵌入到 Web 工程里即可在浏览器中操作展示了。

(3) 实验报告

当学生操作完仪器之后，需要填写实验报告，实验报告中包含学生个人信息的填写、实验结果图片的上传以及实验总结与体会。针对实验图片的上传与访问，本文采用了 Nginx 和 Ftp 来搭建图片服务器，Nginx 是一款专业的 Http 服务器，而 Ftp 是一款专业的文件存储服务器。之所以不采用将图片存储在 Tomcat 服务器中，是因为考虑到 Tomcat 服务器的作用是解决页面请求与响应的，主要是处理 servlet/jsp 文件。而对于类似图片这种静态资源的访问使用 Tomcat 太浪费性能了。Nginx 就比较适合访问这种静态资源，并且它支持的并发量远远高于 Tomcat，适合于大量图片文件的访问。因此本设计中针对实验结果图片访问采用 Nginx 技术。

现在图片的访问已经解决了，下面解决图片的存储问题。为了更好的与 Nginx 配合使用，存储并没有存储在 Web 工程里，而是存储在 Ftp 服务器中。Ftp (File Transfer Protocol) 是一种文件传输协议，顾名思义，专门用来传输文件的协议，支持 Ftp 协议的服务器就被称为 Ftp 服务器了。对于图片的存储有着巨大的优势。因此通过 Nginx 访问技术和 Ftp 存储技术解决了实验结果上传与显示问题。

实验图片的上传功能，目的就是增加实验报告功能的丰富性。一般设计中，实验结果都是自动批改，因此设置问题填空提交即可。但是这种设计老师只能看到实验结果，

无法看到实验过程。因此实验图片可以帮助老师更加深入的了解学生做实验的情况。实验报告相当于对学生做完这次实验的检验。

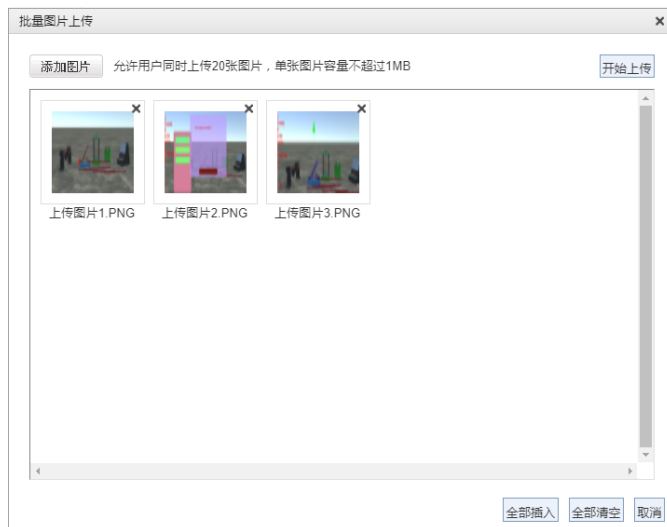


图 5-24 批量图片上传

Fig.5-24 Batch image upload

如上图 5-24 所示是一个批量图片上传的页面。先是点击左上角的“添加图片按钮”，从本地选择要上传的实验结果图片。然后再点击右上角的“开始上传”按钮，则将这些图片上传至 Ftp 服务器里存储。最后点击“全部插入”按钮，则是利用 Nginx 服务器来访问上传的图片，在浏览器页面可以回显看到这些图片。除此之外还有其他功能，比如“全部清空”和“取消”按钮。



图 5-25 实验报告

Fig.5-25 Experimental report

如上图 5-25 所示为学生提交的实验报告，其中包含个人信息，实验结果图片以及实验总结与体会。采用图文并茂的设计思路，从而让老师不仅了解学生本次实验结果，还能通过图片掌握学生实验的过程。

5.4 网络聊天室功能实现

5.4.1 实现流程

本虚拟实验平台内置了网络聊天室的功能，设计的目的在于为学生改善实验指导环节。因为一般虚拟实验室的实验指导环节的设计只是提供在线实验指导书，学生在做实验过程中遇到疑问或者不会做的地方，只能查阅实验指导书。但是这么做既浪费时间也不能有效的解决问题，如果能够提供一个沟通的平台使师生能够及时交流，那么就可以快速解决问题，效率会大大的提升。在论文设计阶段中针对于网络聊天室模块的功能设计，主要采用基于 WebSocket 协议来实现客户端和服务端通信，具体的实现流程如图 5-26 所示：

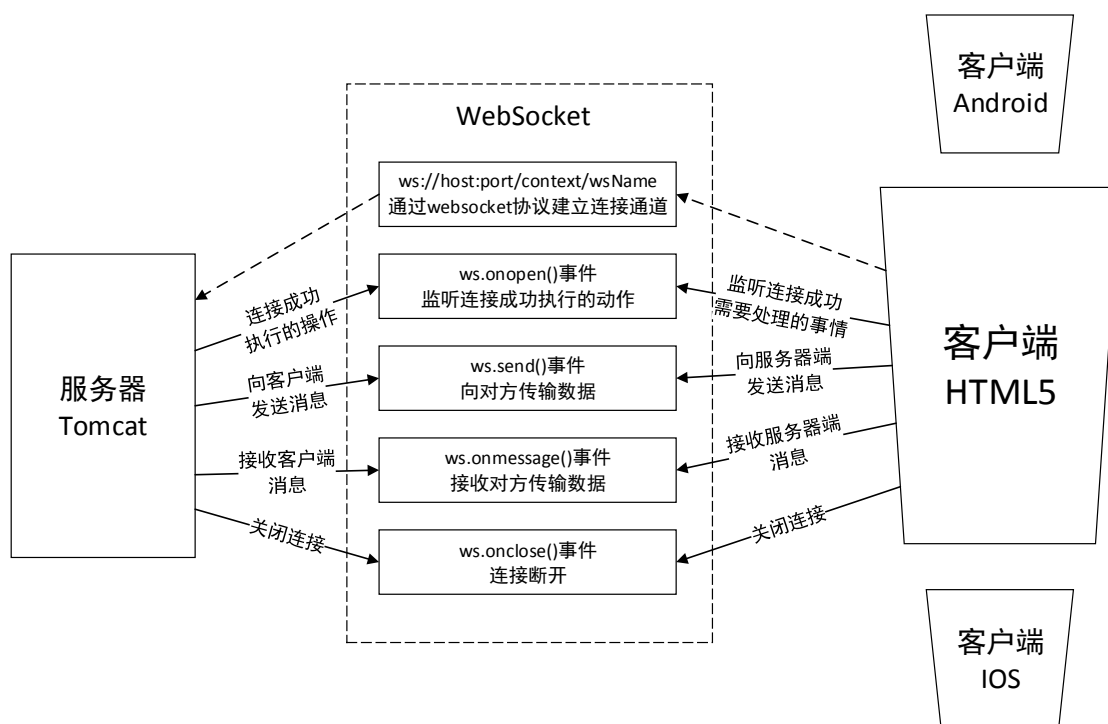


图 5-26 WebSocket 通信流程图

Fig.5-26 WebSocket communication flow chart

如上图 5-26 所示，客户端和服务端都连接着 WebSocket，并且在 WebSocket 部分都提供一些事件或者方法，下面针对这些事件和方法做简要的分析。

在客户端中：`ws.onopen()`事件：表示如果客户端与服务器端建立了连接，客户端就会执行 `onopen` 事件里的内容。`ws.send()`事件：表示点击发送按钮，客户端将用户输入的内容发送给服务器。`ws.onmessage()`事件：表示客户端接收服务器端发送过来的消息，并显示在页面中。`ws.onclose()`事件：表示如果客户端和服务器端断开连接，客户端就会执行 `onclose` 事件里的内容。

在服务器端中：`ws.onopen()`事件：表示当客户端和服务器端连接成功之后，服务器端就会执行 `onopen` 事件里的内容。`ws.send()`事件：服务器端反过来发给客户端。`ws.onmessage()`事件：客户端发送消息给服务器端，那服务器端通过该方法接收客户端发送过来的消息。`ws.onclose()`事件：表示如果客户端和服务器端断开连接，服务器端就会执行 `onclose` 事件。

5.4.2 聊天室实现

通过上面理论知识的学习，本文使用 WebSocket 协议实现客户端和服务器端的互相通信，下面将截取部分图片用于展示效果：

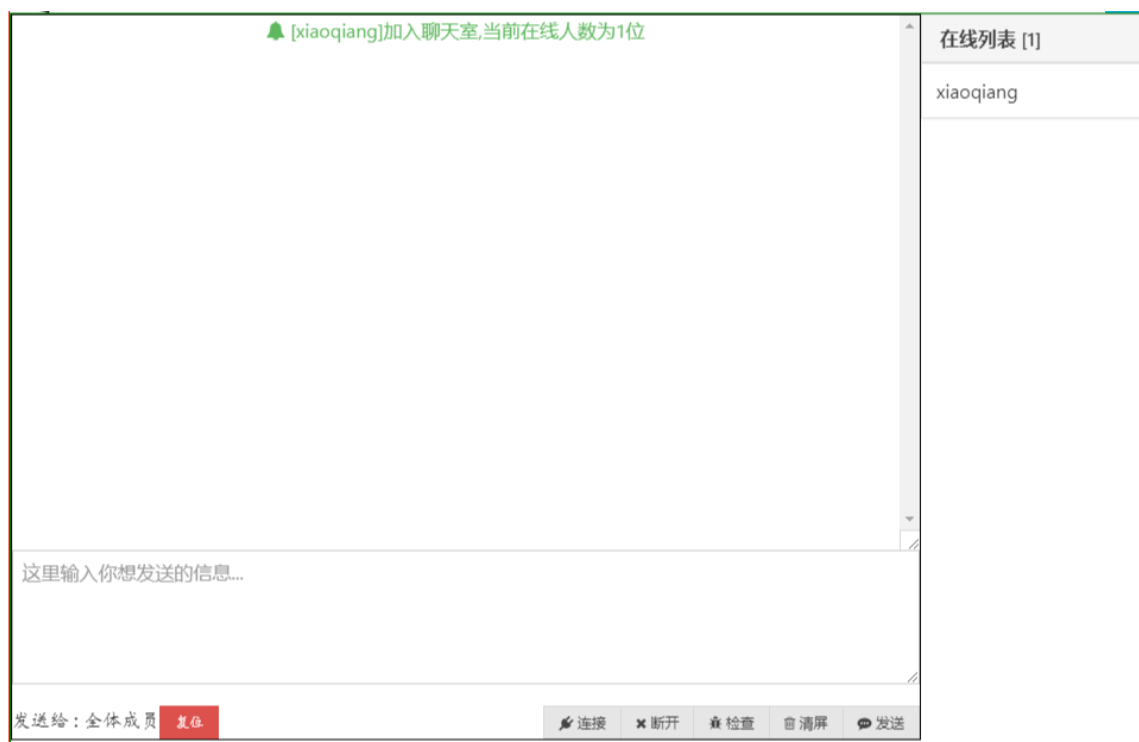


图 5-27 网络聊天室界面

Fig.5-27 Chat room interface

如上图 5-27 所示为虚拟实验室内置的网络聊天室的页面，当用户登录进入聊天室页面之后。首先会在聊天区显示用户登录状态，以及当前在线人数。整个网络聊天室

分为四个部分组成：

第一部分，在线列表区：设计的目的在于动态的显示当前网络聊天室在线人数，从图 5-27 中可以看到，当前在线人数只有一个人。

第二部分，输入区：这个区的作用是输入你想发送的信息。

第三部分，功能区：这个区是提供一些功能按钮的，从做到右依次为：复位按钮、连接按钮、断开连接按钮、检查连接状态按钮、清屏按钮和发送信息按钮。复位就是将当前聊天模式恢复到默认状态；连接、断开和检查连接这三个按钮是对用户连接状态的操作。清屏按钮是清除聊天区内容；发送信息按钮是点击它才能发送输入的信息。

第四部分，聊天区：这部分主要是显示聊天内容的，用户与其他用户聊天的内容将显示在这里。

下面将使用另外一个用户进行登录，用来展示不同用户使用网络聊天室在线聊天的功能。如图 5-28 所示是使用用户“xiaowang”和用户“xiaoli”进行群聊的过程，所谓群聊就是登陆进聊天室的所有用户都可以看到你发的信息，你也可以看到任何其他人的聊天内容。



图 5-28 用户在线群聊

Fig.5-28 User online group chat

本虚拟实验平台内置的网络聊天室除了可以群聊之外，还可以私聊，也就是点对点的聊天方式。如上图 5-28 所示，在线列表用户“xiaoli”后面有个私聊的按钮，如果点击

该私聊按钮，则“xiaowang”和“xiaoli”之间的聊天，第三者是看不到的。下面再使用一个用户登录。



图 5-29 用户在线私聊

Fig.5-29 User online private chat

如上图 5-29 所示，用户“xiaowang”发送的消息并不是发给全体成员，而是单独发送给用户“xiaoli”的。并且在功能区的复位按钮旁边也是显示的发送给“xiaoli”。因此，不管是用户的群聊还是用户的私聊，本虚拟实验室内置的网络聊天室功能都已经实现了。除此之外，还有聊天室上传个人头像的功能也已经实现了，从图 5-29 中也可以看到聊天用户的个人头像在页面中显示出来。

5.5 虚拟实验管理模块功能实现

虚拟实验管理模块主要是针对虚拟实验过程中的内容进行有效的管理，提供给平台用户管理的手段，目前针对实验管理模块主要实现了四个部分的功能：

(1) 实验课程分类

实验课程分类主要是体现在将本虚拟实验平台的所有实验进行一个分类归纳，比如点击物理就进入物理实验室中，点击化学就进入化学实验室当中。如图 5-30 所示为本平台的实验课程分类展示，点击“立即体验”即进入对应课程实验室中。



图 5-30 实验课程
Fig.5-30 Experimental course

（2）实验文档的管理

实验文档的作用是指导学生用户进行虚拟实验的，但是实验文档的发布、修改、删除和查询功能都应该是由老师用户去维护的。所以本虚拟实验平台中实验文档的管理是由老师负责，目前该部分的功能已经全部开发完毕了。下面以老师用户身份登录。

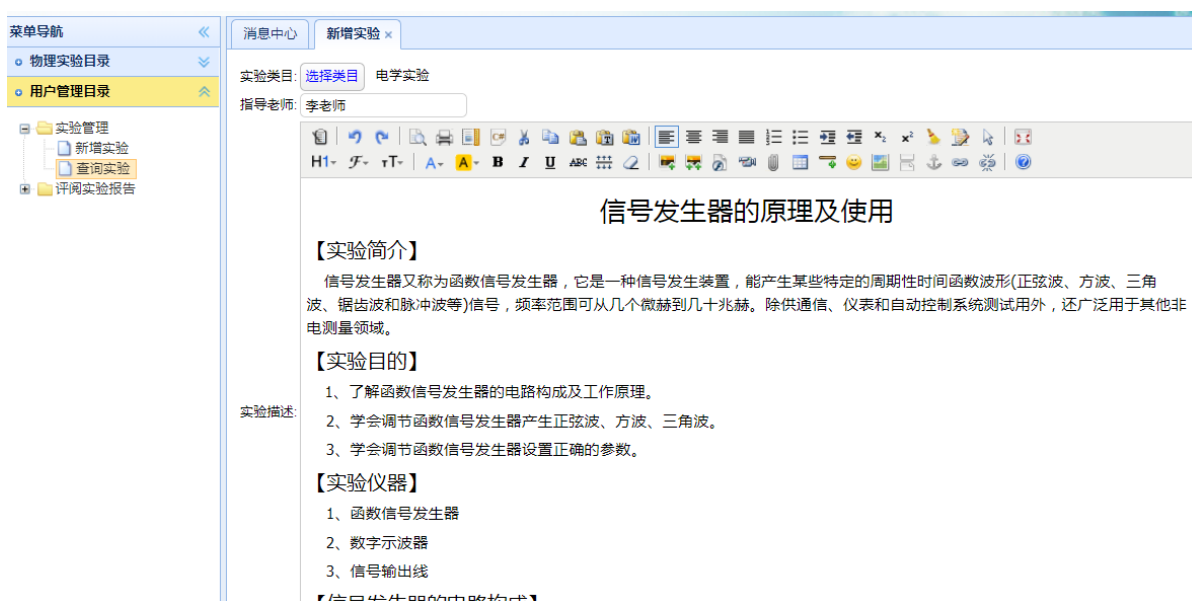


图 5-31 新增实验
Fig.5-31 New experiment

如上图 5-31 所示，老师点击左侧菜单导航栏中的“新增实验”，即可出现新增实验

的界面，填写实验科目与教师信息。页面下方是提供了一个 kindEditor 在线编辑器，类似于 Word 文档的功能。老师在编辑器中填写实验信息，然后发布出去，等待管理员去授权给用户使用。

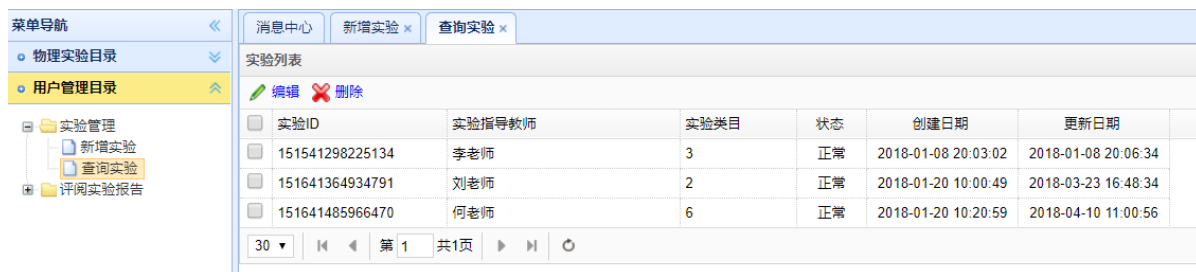


图 5-32 实验列表

Fig.5-32 Experiment list

如上图 5-32 所示是实验列表，上方提供了编辑、删除按钮。也就是说老师可以修改或者删除实验。中间是实验信息，包括实验教师、类目与状态等。下方是分页查询的功能条。

(3) 实验报告管理

该部分的功能主要是学生用户可以查询到自己提交的实验报告，并且如果实验报告中内容填写错误，学生用户也可以修改实验报告的内容再次提交，下面用学生用户登录。

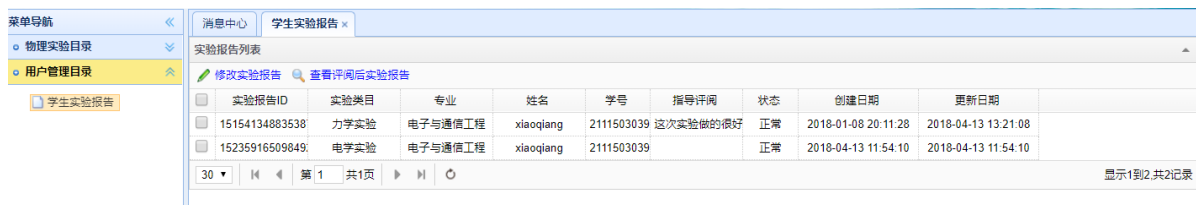


图 5-33 学生实验报告

Fig.5-33 Student experiment report

如上图 5-33 所示为学生实验报告页面，上方提供了两个按钮，分别是“修改实验报告”按钮和“查看评阅后实验报告按钮”。一个是学生可以自己修改实验报告中错误的信息，另一个是查看本次实验的成绩。

(4) 考评管理

这部分功能主要是当学生提交完实验报告之后，老师可以通过本平台查看学生提交的实验报告。然后给实验报告打分数，也就是给出一个评阅的意见。学生可以如上图 5-33 所示，点击“查看评阅后实验报告”按钮，查看本次实验老师给出的评阅意见。下面以老师用户身份登录。

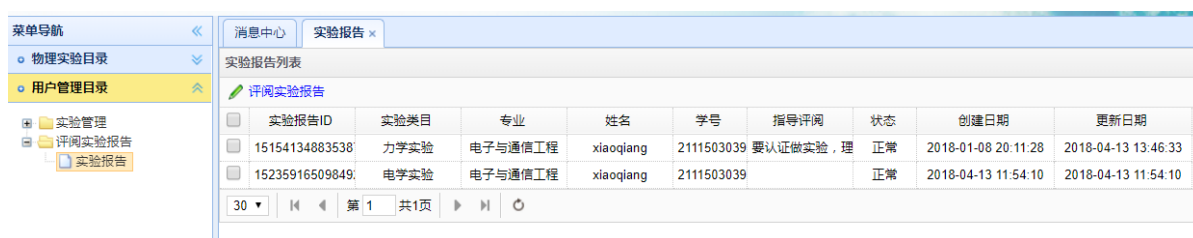


图 5-34 老师评阅实验报告

Fig.5-34 Teacher marked experiment report

如上图 5-34 所示为使用老师用户登录后，在左侧的菜单导航栏有“实验报告”信息。点击它，页面右侧就会显示学生已经提交的实验报告。在页面上方有个“评阅实验报告”按钮。先要勾选实验报告，再点击评阅按钮即可。

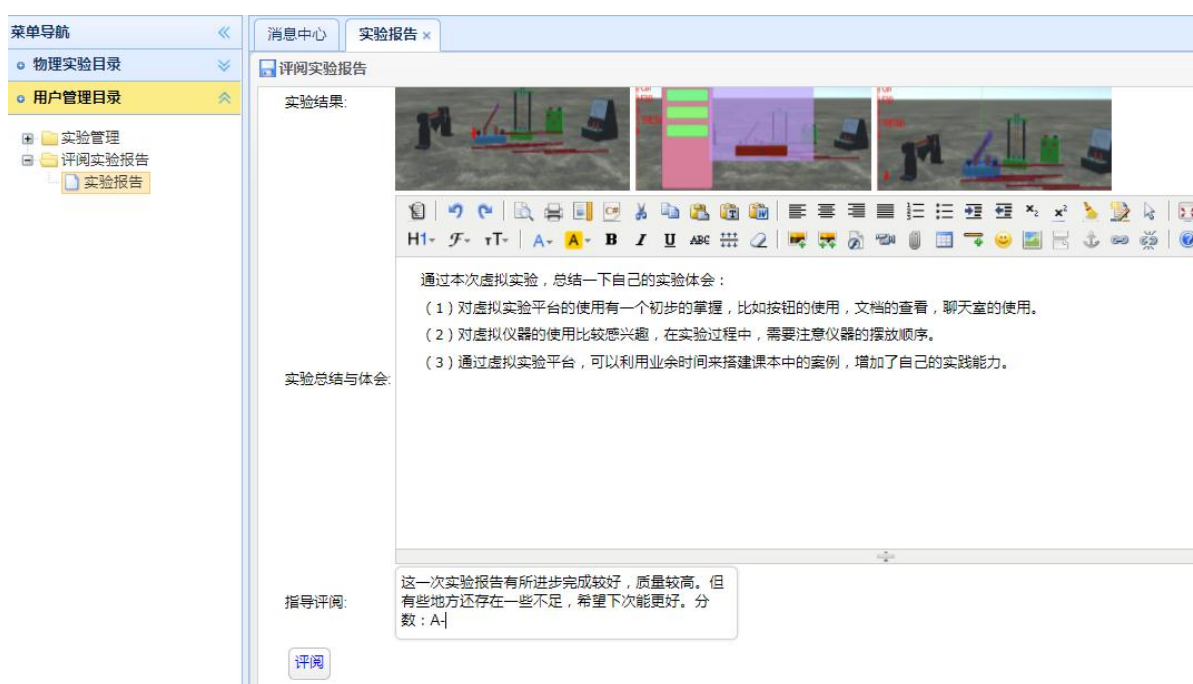


图 5-35 实验成绩

Fig.5-35 Experimental results

如上图 5-35 所示为老师正在给某位学生打分数，也就是给出实验指导意见。比如“这次实验报告有所进步完成较好，分数为 A-”。然后点击下方的“评阅”按钮即可保存。这样学生就可以查看到本次的实验成绩了，整个操作流程都是在浏览器中进行的，所以还是很方便的。

5.6 本章小结

本章主要是三维虚拟实验平台开发实现。首先介绍了开发所使用的技术，比如使用了 SSM 框架和 Unity3D 技术等。然后是用户管理模块功能进行实现，包含了注册、登

录、注销、权限配置功能。其中在权限配置功能里又包含了权限的添加功能、角色的创建功能和给用户分配角色功能，都已经全部实现了。再然后是虚拟实验模块功能的实现，包含了实验文档的浏览、三维虚拟操作区窗口和实验报告的填写这三部分的开发也已经完成，实验报告采用图文并茂的设计风格。此外是网络聊天室的功能实现，先是讲解了一下实现的原理，然后是具体的开发实现。不仅提供群聊模式，也能够实现私聊模式。最后是虚拟实验管理模块功能实现，包含了实验课程分类展示、实验文档的管理、实验报告的管理以及考评管理，都分别截取图片用于展示开发成果。

总结与展望

随着科技的进步与发展，智慧校园成为当前校园信息化建设的热点。而虚拟实验室的研究与建设是智慧校园众多应用中的一种，因此虚拟实验平台的研究与设计是必须要进行的。本三维虚拟实验平台分为如下四个模块：

（1）用户管理模块：虚拟实验平台目前有三种用户，分别为学生、老师和系统管理员。采用 Shiro 框架实现了用户的认证与授权，从而实现了权限管理，使得不同角色的用户登录进来看到的内容是不一样的。

（2）虚拟实验模块：该模块由三个部分组成的，分别是实验文档、三维虚拟操作区和实验报告。实验文档的作用是指导学生如何进行实验，比如实验内容与步骤。三维虚拟操作区是提供给学生一个操作仪器的平台，学生可以在这里拖动摆放仪器，然后使用虚拟仪器进行实验。做完实验之后可填写并提交实验报告，目的是检验学生这次做实验的效果如何。实验报告采用图文并茂的设计思路，使得老师更加全面的了解学生做实验的情况，这也是本文的一个改善。

（3）网络聊天室模块：将聊天室的设计加入本虚拟实验平台是本研究内容的创新性研究。从论文前面虚拟实验室案例分析得出，当学生遇到问题时需要翻阅实验指导书才能解决问题，或者是预先设置几个问题的答案。这样设计虽然也可以解决学生的疑问，但是效率却比较低。而如果将网络聊天室内置到虚拟实验平台中，学生和老师可以在线答疑，效率会提升很多。本网络聊天室不仅提供群聊功能，还提供私聊功能，既能有效解决问题，也注意隐私性。

（4）虚拟实验管理模块：这部分的功能主要是系统用户对于虚拟实验这块的管理工作，包括实验课程的分类展示、实验文档的发布，查询、修改和删除操作。其次对于实验报告学生不仅可以提交实验报告，当学生输入的内容有错误时，也可以修改实验报告的内容再次提交。最后是考评管理，学生提交的实验报告也会显示在老师的实验报告列表中，老师可逐一给学生的报告给出指导评阅意见。给出意见或者分数之后，学生就可以在自己的学生实验报告列表中查看老师给出的评阅意见。

通过上面四个模块功能的实现，本虚拟实验平台的研究与实现已经完成。该平台实现的价值对于学生用户而言，学生可以利用它来加深自己理论知识的学习。传统实验室因为时间、地点的限制，学生操作仪器的时间非常有限。但是虚拟实验室是通过

浏览器访问的，任何时间、任何地点只要连上网络就可以访问了，所以对学生学习的积极性和实践能力会大大的提升。对于老师用户而言，本虚拟实验平台可以作为一种辅助的教学手段，当然虚拟实验室无法取代真实的实验室，但是老师可以在虚拟实验平台中发布实验，可以有针对性的调整实验课程，并且在线查阅实验报告，也给老师带来了很大的方便。对于学校来说，对于虚拟实验室的投资建设也是有很大益处的。比如传统实验室需要占用教室、需要购买实验器材、需要对器材进行升级，这些花费比搭建虚拟实验室要大很多。并且由于学生在操作实验仪器的过程中难免使用不当，导致实验器材出现损害，后期的维护费用也很高。但是虚拟实验平台里的仪器不会损害。在安全性方面，虚拟实验平台的优势也是很大的。

目前本虚拟实验平台的研究与实现已经完成，能够实现一整套的教学流程。对于未来的研究方向，我个人觉得还是有很大的拓展空间的。比如，实验选课功能，有些实验可以列为必修实验，则无需学生选课。反之有些实验列为选修课程则需要学生选课才能学习。再比如实验难度的划分，可以将实验划分为简单、一般、复杂。因为每个学生的学习能力是不同的，有的学生学习能力快，动手能力比较强，所以可以选择难度系数较高的实验。有的学生理解能力相对比较薄弱，需要一步一步慢慢来，所以实验应该由简入难。学生可以根据自己的实际情况选择相应难度的实验课程。除此之外，对于平台角色的创建，不能忽视家长的作用，家长也可以作为虚拟实验平台的角色之一。家长并不需要做实验，而是起到监督自己孩子的作用。举个例子，学生每做完一个虚拟实验，就会有一个实验完成记录页面，家长登录进来之后可以看到自己孩子最近的实验完成进度表，这也是一个比较好的设计思路。

参考文献

- [1] Muhamad W, Kurniawan N B, Suhardi, et al. Smart campus features, technologies, and applications: A systematic literature review[C]// International Conference on Information Technology Systems and Innovation. 2017:384-391.
- [2] 李培峰, 朱巧明. 基于 Web 服务的校园信息化平台的设计和实现[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(19):3564-3567.
- [3] 黄荣怀, 张进宝, 胡永斌,等. 智慧校园:数字校园发展的必然趋势[J]. 开放教育研究, 2012, 18(4):185-185.
- [4] 陈明选, 徐旻. 基于物联网的智慧校园建设与发展研究[J]. 远程教育杂志, 2012, 30(4):61-65.
- [5] Sastra N P, Wiharta D M. Environmental monitoring as an IoT application in building smart campus of Universitas Udayana[C]// International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems. IEEE, 2017:85-88.
- [6] Ji Enqing, Ren Peixiang, Wang Huanjin, et al. Discussion on construction method of smart campus basic platform based on 3d geographic information technology[C]// Chinese Automation Congress. 2017:7790-7794.
- [7] 严大虎, 陈明选. 物联网在智慧校园中的应用[J]. 现代教育技术, 2011, 21(6):123-125.
- [8] 李景文, 唐一飞, 姜建武,等. 虚拟现实技术在智慧校园的应用研究[J]. 建材与装饰, 2017(31).
- [9] 宋蔚. 基于虚拟现实的虚拟实验研究[D]. 重庆大学, 2005.
- [10] Valdez M, Ferreira C M, Barbosa F P M. 3D Virtual Laboratory for Teaching Circuit Theory - A Virtual Learning Environment (VLE)[C]// Upec 2016 -, International Universities' Power Engineering Conference 6 – 9 September 2016, Coimbra, Portugal. 2016.
- [11] 赵靖霞, 李育, 杨根金,等. 虚拟实验室的构建及意义[J]. 中国医药科学, 2012, 2(21):143-143.
- [12] 石新丽, 唐飞羽, 孙梦雯,等. 虚拟实验室在医学实验教学中的应用研究[J]. 实验技

- 术与管理, 2014, v.31;No.213(6):114-116.
- [13]陈小红. 虚拟实验室的研究现状及其发展趋势[J]. 中国现代教育装备, 2010(17):107-109.
- [14]刘世伟, 田世鹏, 甘涛,等. 虚拟实验室的研究与应用现状综述[J]. 物联网技术, 2016, 6(9):82-83.
- [15]Li L, Zhong Y, Zhong S. Research on the design and development of a web-based physics virtual lab for junior high schools[J]. 2010.
- [16]Fernández-Avilés D, Dotor D, Contreras D, et al. Virtual labs: A new tool in the education: Experience of Technical University of Madrid[C]// International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. IEEE, 2016:271-272.
- [17]Ahuja G, Gupta A, Wardhan H, et al. Assessing the Impact of Virtual Labs: A Case Study with the Lab on Advanced VLSI[C]// IEEE, International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE, 2015:290-292.
- [18]Kyomugisha R, Bomugisha D, Mwikirize C. A remote Solar Photovoltaic laboratory based on the iLabs Shared Architecture (ISA)[C]// International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. IEEE, 2015:56-62.
- [19]Gustavsson I, Zackrisson J, Lundberg J. VISIR work in progress[C]// Global Engineering Education Conference. IEEE, 2014:1139-1148.
- [20]屠文川. 虚拟实验室构建技术及原则的探讨[J]. 实验室科学, 2007(5):91-93.
- [21]王娴, 刘辉, 倪远平. B / S 与 C / S 体系结构的应用研究[J]. 信息技术, 2006, 30(6):53-55.
- [22]李云云. 浅析 B/S 和 C/S 体系结构[J]. 科学之友, 2011(1):6-8.
- [23]蔡长安, 王盈瑛. C/S 和 B/S 的模式的选择和比较[J]. 渭南学院学报, 2006, 21(2):47-50.
- [24]苗沐新. 浅论 C/S 和 B/S 软件系统体系结构的差异[J]. 长春师范大学学报, 2007, 26(6):92-95.
- [25]张露, 马丽. 数据库设计[J]. 安阳工学院学报, 2007(4):76-79.
- [26]潘博. 计算机软件数据库设计的重要性以及原则研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2013(8):291-292.

- [27]毛静波. 计算机软件数据库设计原则探讨[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(32):1-2.
- [28]包海挺, 刘飞飞. ER 模型的语义概念集合和表示法[J]. 图书情报导刊, 2006, 16(6):217-220.
- [29]Yoshizumi T, Kirishima T, Goto T, et al. A graph grammar for entity relationship diagrams[C]// IEEE, International Conference on Industrial Informatics. IEEE, 2017:810-815.
- [30]程果. 基于 HTTP 的动态自适应流媒体技术的研究[D]. 广东工业大学, 2017.
- [31]王晔. 基于 HTTP 反向代理的 Web 安全网关技术研究[D]. 扬州大学, 2016.
- [32]谢希仁. 计算机网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [33]陈丽枫, 郑力新, 王佳斌. 基于 HTML5 WebSocket 的 Web 实时通信机制的研究与实现[J]. 微型机与应用, 2016, 35(10):88-91.
- [34]覃家皓. 基于 WebSocket 的即时通信研究及其性能分析[J]. 移动通信, 2017, 41(12):44-48.
- [35]聂开, 张莎莎, 王珏辉. WebSocket 技术在 Web 端和服务端之间的应用[J]. 数字技术与应用, 2016(7):77-77.
- [36]Adianto M F, Ilmam M, Miharja A K, et al. Design and implementation of Cakra Wahana Paksa, a collaborative whiteboard application based on WebSocket technology for distance learning[C]// International Conference on Information Technology and Electrical Engineering. IEEE, 2017:1-6.
- [37]Hu Y, Cheng W. Research and implementation of campus information push system based on WebSocket[C]// International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. 2017:1-6.
- [38]Chen B, Xu Z. A framework for browser-based Multiplayer Online Games using WebGL and WebSocket[C]// International Conference on Multimedia Technology. IEEE, 2011:471 - 474.
- [39]李刚. 轻量级 JavaEE 企业应用实战: Struts2+Spring+Hibernate 整合开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [40]陈立岩. EJB 组件技术及应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(3):62-64.
- [41]牛勇超, 姜周曙, 黄国辉, 等. 基于 JavaEE 的开放实验管理系统的设计与实现[J]. 实

- 验技术与管理, 2017, 34(1):153-156.
- [42] 邹利艳, 杨浮群, 高纯波, 等. 基于 JavaEE 架构的旅游电子商务平台的设计开发[J]. 电脑知识与技术, 2011, 07(4):712-714.
- [43] 许文稼, 赵英凯. 应用 SpringMVC 与 Hibernate 进行 WEB 开发[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(2):264-265.
- [44] 李洋. SSM 框架在 Web 应用开发中的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(12):190-194.
- [45] 胡启敏, 薛锦云, 钟林辉. 基于 Spring 框架的轻量级 J2EE 架构与应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(5):115-118.
- [46] 荣艳冬. 关于 Mybatis 持久层框架的应用研究[J]. 信息安全与技术, 2015, 6(12):86-88.
- [47] 朱惠娟. 基于 Unity3D 的虚拟漫游系统[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(10):36-39.
- [48] 汪浩, 田丰, 张文俊. 基于 WebGL 的交互平台设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015(8):119-122.
- [49] 徐孝成. 基于 Shiro 的 Web 应用安全框架的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2015(16):93-95.


学位论文独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明，并表示了谢意。本人依法享有和承担由此论文所产生的权利和责任。

论文作者签名： 日期：2018年06月01日

学位论文版权使用授权声明

本学位论文作者完全了解学校有关保存、使用学位论文的规定：“研究生在广东工业大学学习和工作期间参与广东工业大学研究项目或承担广东工业大学安排的任务所完成的发明创造及其他技术成果，除另有协议外，归广东工业大学享有或特有”。同意授权广东工业大学保留并向国家有关部门或机构送交该论文的印刷本和电子版本，允许该论文被查阅和借阅。同意授权广东工业大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、扫描或数字化等其他复制手段保存和汇编本学位论文。保密论文在解密后遵守此规定。

论文作者签名： 日期：2018年06月01日

指导教师签名： 日期：2018年06月01日

致谢

转眼之间，研究生学业即将结束，有不舍也有期待。在这三年中，我学到了很多东西，最大的变化就是自己解决问题的能力得到了很大的提升，这也跟研究生培养模式是有关联的。在这期间，也遇到了很多的良师益友，因此想借论文完稿之际，感谢曾经给予我帮助的老师 and 同学们。

首先，我想表示感谢的是我的导师刘东峰教授。无论是课题的选择，研究、开发和撰写过程，刘老师他都给予了我很大的帮助。正是因为他的督促与教导，我才能够顺利高效的研究课题。在课题研究过程中，每当我遇到困难或者无从下手之际，我都会去找导师，希望刘老师能够给我一些建设性意见。虽然老师平时也很忙，但都会停下手头的工作给我排忧解难。比如，采用哪款建模软件开发会更好，需要达到什么效果才能符合规范。除此之外，刘老师还教授我为人处世的准则，在求职工作方面提供有益的建议。在此我对刘老师表达最真挚的谢意。

当然我还要感谢同实验室的各位兄弟姐妹们，虽然大家来自五湖四海，但是同在一个实验室，互相帮助，团结友爱是应该的。在这里我要感谢我的师妹，在我写论文期间，帮我下载大量的文献给我参考，对我撰写论文提供了很大的帮助。当然，我还要感谢我的室友，有时候晚上回去太晚打扰到你们休息，但是你们都很包容我，谢谢你们的体谅，和你们同住一个寝室是非常欢乐幸福的。除此之外，我还要感谢我的父母，感谢你们多年的养育和支持，帮助我完成了学业。在我遇到挫折或者困难时，父母总是鼓励我默默的关心我。虽然距离很远只能打电话沟通，但是你们的爱却很近。

最后，感谢能在百忙之中抽出时间的评审老师们，谢谢你们！

黄教强

2018 年 4 月于广州