



计算机网络课程的实验教学改革与研究

刘梦娟, 傅 翀, 张 翔

(电子科技大学 信息与软件工程学院, 成都 610054)

摘要: 随着教育部在 2018 年正式启动“新工科”计划, 电子科技大学围绕新工科建设目标对一批专业核心课程进行了改革, 取得了卓越的成绩。计算机网络作为软件工程专业的核心课程, 在课程组织形式、教学手段、理论和实验内容上都进行了大幅改革。该文首先分析传统计算机网络课程在实验教学中存在的问题, 并对其他高校的网络课程实验改革进行了调研。在此基础上, 介绍了课程组在实验教学改革中采取的各种措施, 包括设计新的实验内容和实验类型、完善实验材料、增加更为客观的评价方式等。特别是采用多种技术来设计实验内容, 协议验证实验促进了学生对协议的理解, 虚拟仿真实验弥补了学生在组网和设备配置方面的不足, 网络编程实验加强了学生在网络编码方面的工程能力。这种多样化的实验形式不仅激发了学生的学习兴趣, 同时使学生理论联系实际, 有明显的学习获得感。最后, 对实验教学改革中积累的经验进行总结, 并对未来的工作进行展望。

关键词: 新工科; 计算机网络; 实验改革; 工程实践

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20230548](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20230548)

Reform and Research of Experimental Teaching in the Computer Network Course

LIU Mengjuan, FU Chong, ZHANG Xiang

(School of Information and Software Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: With the Ministry of Education launching the New Engineering program in 2018, the University of Electronic Science and Technology of China has reformed a number of professional courses around the goal of the new engineering program and has achieved outstanding results. Computer Network, as a core course for talent cultivation of software engineering majors, has been drastically reformed in the form of course organization, teaching methods, and course contents. The problems existing in the traditional computer network course in terms of experimental teaching are firstly analyzed and the experimental reform of network courses in other colleges and universities is then investigated. On this basis, various measures taken by the course team in the reform of experimental teaching are introduced, including the design of new experiments, the improvement of experimental materials, and the addition of a more objective way of evaluation. Particularly, the experimental content through a variety of technologies is designed. The protocol verification experiments facilitate students' comprehension of the protocols, the virtual simulation experiments address deficiencies in networking and device configuration, and the network programming experiments reinforce their engineering abilities in network coding. This multifaceted experimental approach not only fosters students' interest in learning but also facilitates the integration of theory with practice, thereby enhancing their sense of learning acquisition. Finally, the experiences in the reform and outline the future work are summarized.

Key words: new engineering; computer network; experiment reform; engineering practice

为了满足国家对新型工程科技人才的迫切需求, 教育部启动了对高等工程教育的改革探索, 这就是“新工科”计划^[1-3]。其中, 新工科建设的关键任务之一是创新教学方式与技术, 钟登华院士在《新工科建设的内涵与行动》报告中指出, 更具互动性、智能化和个性化的教学方式与技术

将加快发展, 探究式、讨论式、参与式教学和混合式学习等学与教的方式与技术将逐步普及^[2]。为响应“新工科”计划, 电子科技大学启动了面向工科专业的核心课程改革^[4]。

软件工程专业在改革公共必修及通识教育课的基础上, 构建了特色的“5+X+1”核心课程平

收稿日期: 2023-11-20; 修回日期: 2024-05-06

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目 (221004723103736); 电子科技大学挑战性学习课程 (Y030232062001094)。

作者简介: 刘梦娟 (1979-), 女, 博士, 副教授, 主要从事计算机网络、人工智能方面的研究。E-mail:

mjliu@uestc.edu.cn

台^[5]。如图1所示,包含了5门核心专业课程以及若干特色专业方向。在此基础上,这个贯穿3个学期的进阶式综合课程设计,要求学生根据自己的专业方向,完成一个挑战性的工程任务。计算机网络属于软件工程专业重点建设的5门核心课程之一,主要面临的问题是教学内容偏重理论,围绕传输控制协议/网际协议(transmission control protocol/internet protocol, TCP/IP)逐层介绍协议原理,容易导致学生理论脱离实际,也降低了学生对课程的学习兴趣^[6-7]。特别在实验部分,原有的实验只有8学时,为了保证学生的完成度,只要求学生完成难度较低的协议验证实验。验证实验能较好地加深学生对协议细节的理解,促进理实结合,但无法锻炼学生组网、网络设备配置、网络应用程序编写等网络工程实践能力^[8-9]。此外,实验成绩的客观评价也一直是课程组需要解决的问题。传统采用教师人工评价学生实验报告的方法,效率低且存在一定的主观差异。作为必修课,全年级700余人的实验报告由7位老师审阅,评价的尺度很难达到完全一致。

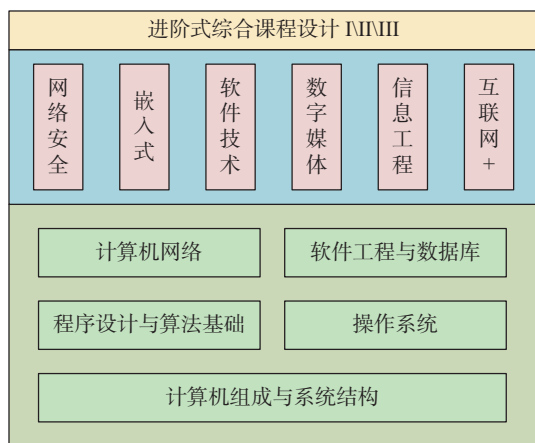


图1 软件工程专业核心课程平台

为此,课程组首先对计算机网络课程的教学内容进行了梳理^[8]。改革后的课程学时为72学时,理论课程为56学时,实验课程为16学时。理论课程的内容安排如表1所示,包括50学时的教材内容和6学时的前沿讨论。前沿讨论的选题由任课教师在开课前商定,选择目前在网络研究和应用领域的一些热点问题。学生根据自己的兴趣组队,分组调研形成研讨报告。最后,课外实验主要是针对课程内容开设的综合课程设计,包括网络流量识别、可编程网络程序开发等。

本文主要介绍对实验内容和考核方式的改革。首先,课程组重新设计了实验内容,将过去

只有8学时的实验扩展到16学时,然后以2学时为单位,将实验内容划分为8个模块。其次,课程组在传统协议验证实验的基础上,增加了思科平台仿真实验和网络编程实验,丰富了实验工具,加强了对学生工程实践能力的锻炼。最后,课程组还改进了实验评价方法,对于需要人工评价的实验,尽可能细化每个得分点并将其标注在实验指南中,同时引入基于得分点的自动评价机制,以减少实验评价的主观因素。

表1 理论课程的内容安排

教材教学 (50学时)	教学思路	抛出问题(教师)—解决方案(学生)— 因特网解决方案(教师)—串讲知识点 (教师+学生)
	主要内容	计算机网络和因特网(6学时)、应用 层(10学时)、运输层(8学时)、网络 层(10学时)、链路层(6学时)、网络 编程(10学时)
前沿研讨 (6学时)	主要内容	可编程交换机、云边计算、卫星网 络、网络安全、AI+网络5个方向选题

经过5年的改革探索,目前已经形成了一套完整的实验教学材料,包括指南、报告模板、在线评测平台、辅助教学视频与自学材料等。本文对这些改革措施进行介绍,希望可以为国内其他高校的计算机网络以及相关课程建设提供参考,同时引入的基于得分点的自动评价机制也为同类实验的客观评价提供了解决思路。

1 计算机网络实验调研

计算机网络是计算机大类专业的基础课程,对于网络实验的设计与探索已有许多文献进行了研究和介绍。文献[10]对当前计算机网络课程实验采用的3种主要形式进行了总结,分析了每种形式存在的问题,并在此基础上提出了以编程为主要手段的计算机网络实验设计,包括捕获和分析网络数据包、获取IP地址与MAC地址的对应关系、实现简单路由3个内容。相比于协议验证型实验,这种由学生自行编程实现网络协议和分析的实验更具挑战性。文献[11]从成果导向教育(outcome based education, OBE)指标点出发,介绍了如何利用思科网络模拟仿真软件(packet tracer, PT)来设计交换机和路由器配置实验,以及更为复杂的校园网、园区网的组网实验。文献[12]也是依托思科网络模拟仿真软件PT来设计网络实验,将实验分为验证性实验、设计性实验和综合性实验3种类型。设计性实验主要实现简单的套接字(Socket)编程,综合性实验是路由配置和地址解析

协议(address resolution protocol, ARP)实验。文献[13]主要介绍了线上及远程计算机网络实验课教学的改革方案,以路由信息协议(routing information protocol, RIP)实验为例介绍实施过程。文献[14]介绍了计算机网络一流本科课程建设中采用以能力导向的实验课程体系设计,包括做网线、交换机组网、路由器组网、IPv6组网、服务器配置等。比较有新意的是将课程实验延伸到学生创新实验项目,包括虚拟网络实验系统的设计与开发、基于软件定义网络(software defined network, SDN)的网络设备性能监控系统等,这些尝试成功激发了学生的主动学习意识。综合调研内容,目前计算机网络课程采用的实验方式主要包括4种:基于抓包的协议验证实验、基于思科PT工具的仿真实验、基于套接字编程的网络应用程序、利用网络编程实现协议的验证和分析。这些实验内容的难易差距较大,课程组可以选择与学生能力匹配的实验内容展开。

2 课程实验设计

改革前,软件工程专业计算机网络课程的实验采用的是协议验证实验,即利用Wireshark工具从真实互联网中截取数据帧进行各层协议的格式分析和功能验证。通过实验,学生能够熟练掌握Wireshark工具进行网络协议分析,并通过各种实验任务加深对协议细节的理解。协议验证实验的不足之处是缺乏对网络设备的实际操作,包括设备连线、配置、组网等,也不能锻炼学生编写网络应用程序的能力^[15-16]。为此,课程组对实验内容进行了扩展和梳理,在协议验证实验的基础上,增加了思科平台仿真实验和网络编程实验。8个实验的实验类型、涉及协议层次和覆盖的知识点如表2所示。本文将围绕3种类型的实验加以介绍。

2.1 协议验证实验的设计

新方案中包含了4个协议验证实验,如表2所示。这部分实验主要依赖于Wireshark工具对主机发送和接收的数据帧进行分析,包括协议的不同类型消息,这些消息的格式含义,以及进行功能性验证。这部分的实验设计主要参考了课程教材计算机网络自顶向下方法中提供的Wireshark实验指南。课程组参考指南设计了对应的实验报告。除了传统的实验原理、实验步骤、实验结果、实验分析等内容,还增加了自主实验设计环节,

鼓励学生模仿实验方案,对实验中没有涉及的协议知识点进行验证。协议验证部分的实验难度较低,学生按照实验步骤都可以完成,并通过回答实验报告中的问题加深对协议理论的理解。

表2 改革后实验内容的学时和知识点安排

实验	学时	类型	协议层次	协议、知识点	难度
实验1	2		应用层	HTTP、DNS	中
实验2	2	协议	运输层	TCP、UDP	低
实验3	2	验证	网络层	IP、DHCP、NAT	低
实验4	2		链路层	Ethernet、ARP	低
实验5	2	虚拟	网络层	网络设备配置、子网划分	中
实验6	2	仿真	链路层	VLAN、DHCP	中
实验7	2	网络	应用层	单进程服务器和客户端程序	中
实验8	2	编程		多进程服务器程序、信号	高

超文本传输协议(hypertext transfer protocol, HTTP)Web缓存的验证实验案例如表3所示。学生两次访问同一个Web链接,利用Wireshark工具分别抓取两次访问的请求和响应报文。通过对比两次请求和响应报文的差异,理解Web缓存的含义。实践表明,学生在真实网络中抓取数据报文进行协议验证,可以有效提升学生对理论学习的获得感,加深对课内知识的理解。协议验证实验的教学模式依然局限于传统的被动式学习范畴之内,实验操作的具体步骤及实施手段均无须学生自行设计。因此从激发学生自主学习的角度来看,仍存在一定程度的不足之处。

表3 HTTP协议Web缓存知识点验证案例

项目	具体内容
实验内容	访问网页链接两次,利用Wireshark工具抓取每次访问的请求报文和响应报文
实验记录	第一次访问链接的请求报文记录 第一次访问链接的响应报文记录 第二次访问链接的请求报文记录 第二次访问链接的响应报文记录
实验问题	第一次访问链接的发出请求报文是否包含IF-MODIFIED-SINCE字段?简述原因 第一次访问链接接收到的响应报文是否包含请求的对象?简述原因 第二次访问链接发出的请求报文是否包含IF-MODIFIED-SINCE字段?简述原因 第二次访问链接接收到的响应报文的状况码和短语分别是多少?

2.2 思科仿真实验的设计

为了加强学生在网络技能方面的训练,课程组在实验中增加了两个基于思科网络模拟工具PT的实验,如表2中实验5和实验6所示。PT是由思科公司开发的一款网络技能辅助学习工具。

它提供可视化、可交互的用户图形界面来模拟各种网络设备及其网络处理过程。PT 的重要特色是提供了物理模式的仿真,可以支持学生真实体验在机架中进行设备部署的场景,可锻炼学生设备更换、设备通电、端口间布线(包括线缆选择和管理)、故障排除等网络技能。这部分的实验设计主要参考了思科平台上局域网安全课程(security regional wireless enterprise, SRWE)的 PT 技能训练。实验 5 主要考查学生对网络设备和主机的配置,以及静态路由表配置和子网划分。实验 6 在网络设备和主机配置的基础上,增加了虚拟局域网配置、单臂路由、动态地址配置和设备安全等知识。课程组还利用 PT 新增的物理模式来设计实验,以锻炼学生在机架上放置网络设备,并选择正确线缆连接设备的能力。

本文以实验 6 为例介绍如何利用 PT 工具训练学生的网络工程实践能力。实验 6 包括以下 5 个任务:

1) 在物理模式下,搭建一个物理网络,包括 1 台路由器、2 台交换机和 4 台电脑,其中路由器和交换机放置在机架上,4 台电脑放置在桌子上;

2) 主机 A、B、C、D 分别属于 4 个虚拟局域网(virtual local area network, VLAN),配置路由器和交换机使这些主机能相互通信,主机与 VLAN 的对应关系如图 2 所示;

3) 路由器 R1 的以太网端口 G0/0/1 与交换机 SW1 的 F0/1 端口相连,交换机 SW1 的 F0/24 端口与交换机 SW2 的 F0/24 端口相连,这两条链路要求能传输 4 个 VLAN 主机发送的数据帧;

4) 网络分配到的地址块为 192.168.1.0/24,每个 VLAN 均可支持 60 台电脑;

5) 路由器和交换机均只能通过控制线进行配置,为了保证设备安全,登录设备和配置设备均需要通过密码验证。网络的拓扑结构如图 2 所示。物理模式下的组网示意图如图 3 所示。首先,要求学生在 PT 物理模式下按照图示拓扑结构组网,这部分实验要求学生熟悉机架、设备放置、选择正确的线缆连接不同设备的端口。如本地配置网络设备要选择控制线和控制接口,连接网络设备要选择交叉线和以太网口。

在物理模式组网完成后,可以切换到对应的逻辑模式下,对网络设备和主机进行配置。根据任务 2,网络中需要划分 4 个 VLAN,4 台主机分别属于不同 VLAN。为了使不同 VLAN 的主机相互

通信,需要借助路由器,又因为示意图中只有交换机 SW1 与路由器 R1 的以太网端口相连,因此这里需要学生掌握单臂路由、路由器子接口的概念,以及在路由器上的配置命令。同时,这里还考察了数据报寻路和子网划分的概念。只有数据报的目的主机与发送主机不属于同一个子网,这个数据报才会被发送到主机对应的默认路由器,因此不同 VLAN 中的主机需要设置为不同的子网。在实验 6 中要求配置 4 个 VLAN,因此需要将网络地址分配给 4 个子网,划分结果如表 4 所示。

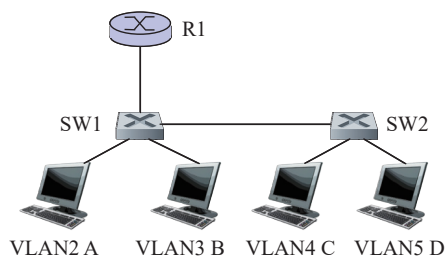


图 2 实验 6 的拓扑结构图



图 3 实验 6 的物理设备组网示意图

表 4 实验 6 子网划分示例

子网	VLAN	路由地址	网络号
子网1	2	192.168.1.1	192.168.1.0/26
子网2	3	192.168.1.65	192.168.1.64/26
子网3	4	192.168.1.129	192.168.1.128/26
子网4	5	192.168.1.193	192.168.1.192/26

完成子网划分后,就可以通过主机配置路由器的子接口信息。通过为每个子接口配置不同子网的 IP 地址和不同 VLAN 接口,使这个物理的以太网接口可以转发属于不同 VLAN 的数据帧。为了能传输不同 VLAN 的数据帧,路由器与交换机 SW1 之间的链路和两个交换机之间的链路需要设置为 Trunk 模式,而其余交换机端口需要设置为 Access 模式。因此实验 6 还需要学生掌握端口

VLAN 划分的配置命令。此外, 每台主机的 IP 地址是由路由器 R1 上运行的动态主机配置协议 (dynamic host configuration protocol, DHCP) 来进行动态分配的。因此还需要学生掌握 DHCP 的配置命令。最后, 根据任务 5, 路由器和交换机都需要加强安全保护措施, 即只有通过密码认证的用户才能对网络设备进行操作。在完成所有配置后, 可以通过主机之间、主机与路由器端口之间相互执行 ping 命令, 以确认是否完全实现不同 VLAN 主机的通信。

思科仿真实验对学生的综合能力要求较高, 需要学生仔细研读题目, 自行设计实验步骤并学习相关配置指令。因此, 相较于协议验证实验, 更能有效激发学生的主动性。此外, 为了帮助学生准确理解题目, 并按照规范设置评分标准, 课程组在实验指南中明确指出了实验的关键得分点及相应分值。

2.3 套接字编程实验的设计

计算机网络课程实验中很少包含套接字编程实验。在本次实验改革中, 增加了 2 个套接字编程实验, 如表 2 中实验 7 和实验 8 所示。增加这部分实验的目的是锻炼学生基于原始套接字编写网络应用程序的能力, 培养学生在设计程序时尽可能考虑程序运行过程中会遇到的各种情况, 并给出解决方案。如客户端和服务端程序启动和(正常/异常)退出的处理。实验 7 的内容是设计实现一个单进程循环服务器和一个单进程的客户端程序。服务器程序的任务是将用户发送的字符串原样返回给客户端, 客户端程序的任务是将用户从键盘输入的字符串发送给服务器, 接收服务器返回的字符串并将其写入一个日志文件中。单进程循环服务器和单进程客户端程序的函数调用流程图如图 4 所示。

实验 7 实现的是简单的 Echo 应用, 除了基本的服务器和客户端套接字调用流程, 本实验的难度在于以下 3 点:

- 1) 要求客户端发送给服务器的请求消息和服务器返回给客户端的响应消息采用协议数据单元 (protocol data unit, PDU) 的形式;
- 2) 要求客户端实现命令行指令的退出;
- 3) 要求服务器端对客户端的正常退出进行识别和处理, 以及支持 “Ctrl+C” 方式实现服务器端的退出。

实验 8 的任务是设计实现一个支持 Echo 服务的多进程并发服务器程序, 要求服务器能通过子进程为多个客户端提供并发服务, 且能处理好僵死

进程、中断退出等问题。因此实验 8 的内容除了套接字函数调用, 请求和响应消息的构建和解析, 还增加了对信号 (SIGCHLD、SIGINT、SIGPIPE) 的捕捉和处理, 更具挑战性。多进程服务器程序函数调用的流程如图 5 所示。

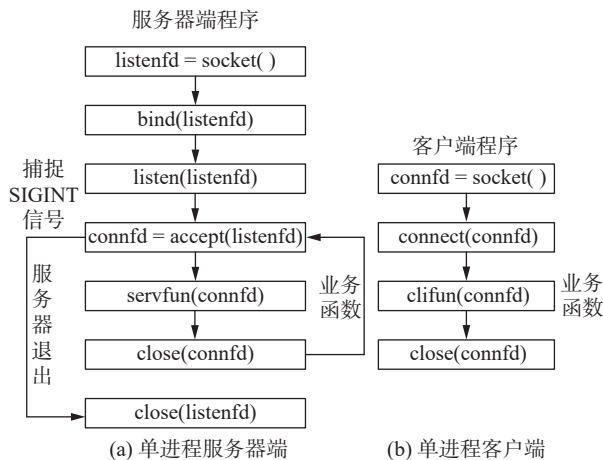


图 4 单进程服务器和单进程客户端程序函数调用流程图

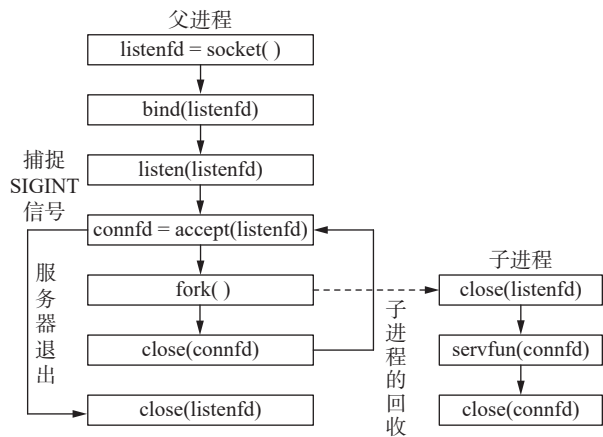


图 5 多进程服务器程序函数调用流程图

这部分实验也采用了基于得分点的自动评价模式, 学生不再需要提交实验报告, 而是将完成的代码提交到一个自动评测系统, 由系统来对提交的代码进行评测和打分。系统会将代码的错误点反馈给学生, 学生可根据错误提示修改代码, 并重新提交自动评测系统。采用自动评测系统一方面增加了评价的公平性, 另一方面减轻了实验教师的工作量, 提升了工作效率。为了保证学生对评价方式的掌握, 实验指南中需要给出详细的自动评价打分点和示例。

3 质量保障手段与评价方法

除了重新设计实验内容, 本次实验改革的一个重要方面是对实验相关的教学材料进行了补充

和完善,形成了一套完整规范的实验指导书、实验报告、自学材料、辅助教学视频等,使学生除了课堂授课之外还能通过教学材料进行自学。特别是实验教学视频,对于学生课后重新回顾实验的重难点非常有帮助。此外,为了保证实验课的质量,为每次实验课都安排了至少一名助教,以

随时为学生答疑。在实验成绩评价方面,课程组在实验报告模板中给出了详细的得分点和评分标准,以保证不同指导教师评分的客观性,同时也为学生预习、理解实验任务提供了参考。本节以实验7为例,说明得分点和评价标准的形式,如表5和表6所示。

表5 实验7服务器端的评分指标

序号	考核点	评判标准	总分
①	服务器正确有序地执行Socket核心系统调用	学生服务器正确有序调用: 序列: listenfd=socket();bind(listenfd);listen(listenfd); 循环: connfd=accept(listenfd);read(connfd);write(connfd); 序列: read(connfd);close(connfd);close(listenfd);	32
②	服务器正确读取来自命令行参数的IP、Port和随机码	学生服务器输出与测试数据完全匹配	18
③	服务器正确接收客户端发来的消息数据	学生服务器输出与测试数据完全匹配	25
④	服务器向客户端正确发送携带验证码的消息回声	标注客户端输出与测试数据完全匹配	25

表6 实验7客户端的评分指标

序号	考核点	评判标准	总分
①	客户端正确有序地执行Socket核心系统调用	学生客户端正确有序调用: 序列: connfd=socket();connect(connfd); 循环: write(connfd);read(connfd); 序列: close(connfd);	30
②	客户端正确读取来自命令行参数的IP、Port	学生客户端输出与测试数据完全匹配	10
③	客户端正确读取来自命令行的消息数据	学生客户端输出与测试数据完全匹配	15
④	客户端向服务器正确发送消息数据	标准服务器输出与测试数据完全匹配	20
⑤	客户端正确接收服务器发来的携带验证码的消息回声	学生客户端输出与测试数据完全匹配	20
⑥	客户端接收命令行退出指令后正常退出	客户端接收退出指令后正确有序退出	5

4 教学效果与经验总结

经过5年的探索与实践,计算机网络课程的实验教学改革已经取得了初步的成效。通过对实验内容、实验手段、评价方法的改革,学生能更好地理解 and 掌握相关的知识和技能,网络工程实践能力得到显著的提升。这种教学改革不仅增强了学生的实践能力,还提高了自主学习的意识。以一个班为例对比2022年和2023年3类实验的平均得分情况,如表7所示。可见学生实验参与度都非常高,难度较低的协议验证实验和难度中等的仿真实验,全班平均分都达到了很高的分数。这是因为这两种实验的得分点都非常明确,学生每次实验都可以看到自己失分的地方,因此在限制次数内重复实验就可以提高实验成绩。而难度较大的网络编程实验的得分情况就远低于前两种,这是因为学生在编程能力方面的差异较大,对于多进程Echo实验,部分同学通过改进也难以达到80分以上。改革后的计算机网络课程也获得了多项荣誉,包括2020年电子科技大学教学成果二等奖和2022年四川省一流本科课程认定。

表7 2022年和2023年各项实验成绩对比表

时间	实验各项成绩/分		
	协议验证	仿真	编程
2022年	98	96	79
2023年	98	94	81

本文对改革中积累的一些经验总结为以下5点。

1) 计算机网络是一门理论和实践结合非常紧密的课程,在课时安排上,应该加大实验课时的安排,避免只讲原理和概念。实践表明,通过协议验证实验和仿真实验,学生对持续和非持续HTTP、报文分片、TCP三次握手、DNS、DHCP、子网划分、子网掩码等基本概念有更直观、深入的理解。

2) 实验内容和形式需要精心设计,明确每个实验对应的知识点和达到的目标,避免单一的实验形式,特别是最新的思科PT工具加强了物理设备和真实场景的模拟,可以更多地引入网络实验中。如本文实验6中引入了交换机、路由器、主机之间的相互连线,以往学生只是在理论上了解路由器和交换机的控制接口,但没有注意控制接

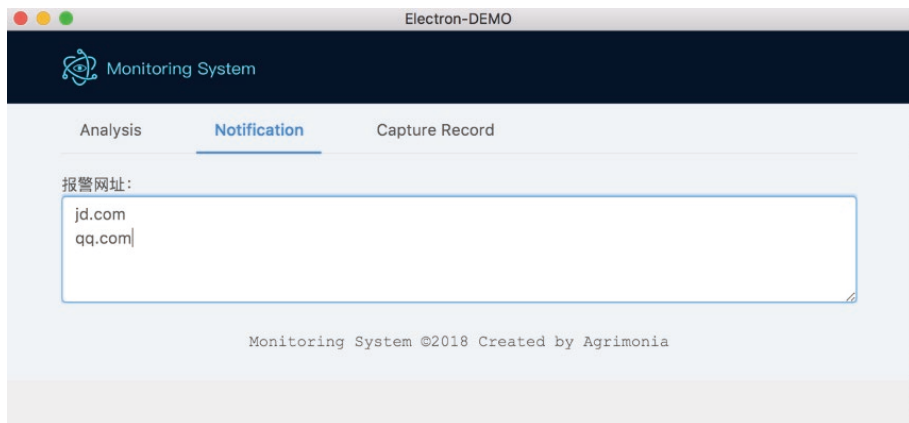
口与普通的以太网接口的区别,也没有理解通过控制接口对设备进行配置与通过远程主机对设备配置的区别。通过实验 6,学生在选择连接介质和连接接口时,对两者的区别进行了学习和应用。同时,通过与真实场景相同的配置界面和命令,学生对这些设备在真实场景中的应用也有了直观的认识。又如子网划分和子网掩码知识点,一般理论课程中只讲授子网的概念,对如何进行划分,学生的学习限于“纸上谈兵”,而通过 PT 仿真工具,学生可以组建子网,并对每台主机和路由器进行配置来实现子网划分,通过主机之间相互执行 ping 应用,以验证子网划分的正确性。

3) 实验资料的完善非常重要,规范的实验指南和实验报告有助于学生理解和完成实验。由于思科和网络编程实验的相关操作和编码知识是教材上没有的,这部分知识需要为学生提供完整的

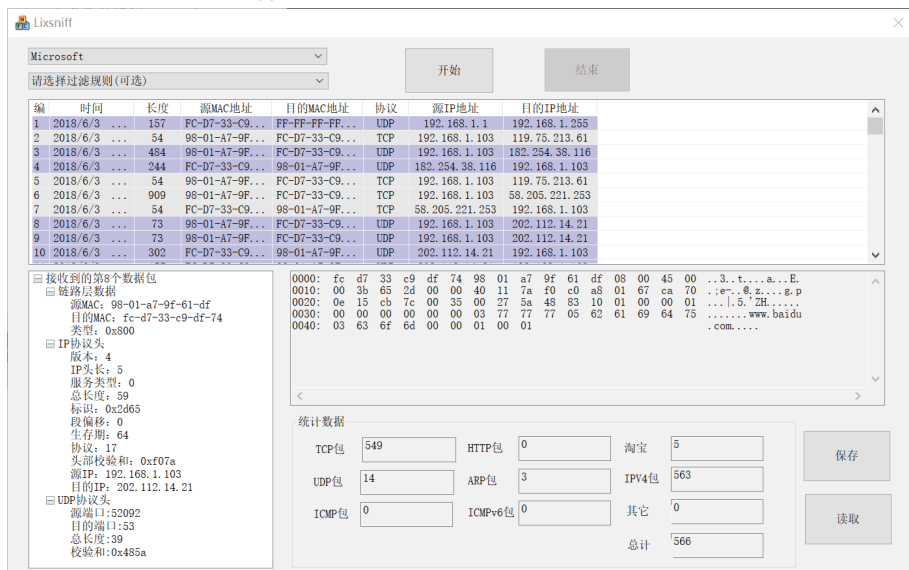
自学材料。完善的教学材料是学生顺利完成实验的有效保障。此外,课程组还为实验课建设了对应的视频指导,学生可以在课后对实验的关键技术进行回看,也可以针对自己的薄弱环节自主学习。

4) 实验的评价方式,对于思科实验和网络编程实验,引入了基于得分点的自动评价,这种评价方式允许学生多次提交,根据系统提供的失分点来改进实验,从而提升对实验知识的综合理解。自动评价方式高效、客观,能减少教师工作量,提升评分公正性,因此受到教师 and 学生的共同欢迎。

5) 课程的课外实验也受到许多学生的欢迎。一些学生通过网络课程的学习对网络技术产生了浓厚的兴趣,在后续的综合课程设计中选择了网络相关的选题,如网络流量识别等。学生参与综合课程设计开发的网络流量检测软件的部分界面如图 6 所示。



(a) 学生开发的网络行为监测系统示意图



(b) 学生开发的网络行为监测软件示意图

图 6 课外实验的成果示例

5 结束语

本文对电子科技大学软件工程专业开设的计算机网络实验课程的教学改革进行了介绍,虽然取得了一定进展,但是仍然存在需要完善的地方。作为全专业的基础必修课,目前的实验内容设计相对简单,以保证所有学生通过学习都能独立完成实验。但是对于基础好、能力强的学生缺少挑战性和创新性,也缺少对学生协作能力的培养。针对这种情况,课程组在后续的改革中将通过类似于文献 [14] 的方式,开展网络方向的学生创新实验项目,将一些前沿性、综合性的网络技术和系统引入到创新项目中,以弥补课程实验难度不高的问题。

参考文献

- [1] 吴爱华, 杨秋波, 郝杰. 以“新工科”建设引领高等教育创新变革[J]. 高等工程教育研究, 2019(1): 1-7.
- [2] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [3] 林健. 新工科专业课程体系改革和课程建设[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 1-13.
- [4] 曾勇, 黄艳, 向桂君, 等. 从新生项目课开始: 新工科建设“成电方案”的设计与实践[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 14-19.
- [5] 廖勇, 周世杰, 汤羽, 等. 面向新工科的软件工程专业核

编辑 葛晋

(上接第 89 页)

- [8] LONG X, XIONG Z, HUANG R, et al. Sustainable Fe(III)/Fe(II) cycles triggered by co-catalyst of weak electrical current in Fe(III)/peroxymonosulfate system: Collaboration of radical and non-radical mechanisms[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2022, 317: 131716.
- [9] ZHANG X, LIU Y, LI C, et al. Fast and lasting electron transfer between γ -FeOOH and g-C₃N₄/kaolinite containing N vacancies for enhanced visible-light-assisted peroxymonosulfate activation[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 429: 132374.
- [10] PU T, ZHANG W, ZHU M. Engineering heterogeneous catalysis with strong metal-support interactions: Characterization, theory and manipulation[J].

编辑 钟晓

心课程体系建设[J]. 高等工程教育研究, 2022(4): 10-18.

- [6] 曹腾飞, 汪健, 王晓英. 西部高校融合虚拟仿真的计算机网络实验课程教学实践[J]. 计算机教育, 2023(10): 40-53.
- [7] 吴黎兵, 何德彪, 何炎祥, 等. 以创新能力培养为导向的网络实验教学改革探索[J]. 计算机教育, 2023(4): 43-47.
- [8] 傅翀, 张翔, 王瑞锦, 等. 计算机网络课程的可伸缩式混合教学模式[J]. 计算机教育, 2020(10): 47-50.
- [9] 李文正. 新工科背景下计算机网络课程实验教学体系的研究[J]. 高教学刊, 2021, 7(32): 101-104.
- [10] 张建忠, 徐敬东, 吴英. 面向综合能力培养的计算机网络实验教学设计[J]. 计算机教育, 2023(7): 188-192.
- [11] 胡夏芸, 严筱永, 张海涛, 等. 基于 OBE 的计算机网络组网实验案例教学[J]. 计算机教育, 2022(3): 116-120.
- [12] 齐心, 向郑涛, 梅琴. 计算机网络混合实验教学模式研究与实践[J]. 福建电脑, 2023, 39(5): 61-64.
- [13] 谢逸, 张又方. 计算机网络实验课在线教学探索[J]. 计算机教育, 2023(5): 35-39.
- [14] 吴许俊, 丁勇, 朱长水, 等. 计算机网络一流本科课程建设研究[J]. 计算机时代, 2022(4): 90-92.
- [15] 符发, 杨厚群, 黎才茂, 等. 新工科背景下计算机网络实验教学改革探索[J]. 计算机教育, 2022(3): 39-42.
- [16] 李景涛, 阙海斌, 黄启轩. 新工科背景下计算机网络实验的渐进式项目设计[J]. 计算机教育, 2023(5): 198-201.

Angewandte Chemie International Edition, 2023, 62(4):
202212278.

- [11] 张祥伟, 李春全, 郑水林, 等. 热还原法制备 g-C₃N₄/高岭石复合材料及其光/过硫酸盐协同催化性能[J]. 硅酸盐学报, 2021, 49(7): 1337-1346.
- [12] ZHU L, JI J, LIU J, et al. Designing 3D-MoS₂ sponge as excellent cocatalysts in advanced oxidation processes for pollutant control[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2020, 59(33): 13968-13976.
- [13] 朱琳, 卜龙利, 刘嘉栋. ZnIn₂S₄/g-C₃N₄ 光催化降解水中痕量药物卡马西平[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(7): 2917-2925.

编辑 钟晓