**计算机网络课程的实验教学改革与探索**

刘梦娟，傅 翀，张 翔

（电子科技大学信息与软件工程学院，四川 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上存在的问题；然后对课程组在实验教学改革中采取的各种措施展开介绍，包括设计新的实验内容和实验类型，完善实验教学材料，增加更为客观的评价方式等；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；实验改革；计算机网络

**[基金项目]** 中国高校计算机教育MOOC联盟线上线下混合式教学改革项目（B190208）

**[作者简介]** 刘梦娟（1979—），女，重庆人，工学博士，电子科技大学信息与软件工程学院副教授，主要从事数据挖掘、人工智能研究。

**[中图分类号]** G642 [**文献标识码] A**

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]。其中，新工科建设的关键任务之一是创新教学方式与技术，在钟登华院士的报告《新工科建设的内涵与行动》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。



图1 软件工程专业核心课程平台

一、目前实验教学存在的问题

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＋6＋1”核心课程平台[3]。如图1所示，它包含了5门核心专业课程以及6个特色专业方向。在此基础上，1个贯穿三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，它主要面临的问题是教学内容偏重理论，围绕TCP/IP协议逐层介绍协议原理，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。特别在实验部分，原有的实验学时只有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[4]。此外，实验成绩的客观评价也一直是课程组需要解决的普遍问题。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干扰。

为此，课程组对《计算机网络》课程的实验内容和考核方式进行了大幅改革。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。经过4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。本文对对这些改革措施进行介绍，希望可以为国内其他大学的《计算机网络》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。

二、课程实验设计

改革前，《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工具进行网络流量分析，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代码的能力。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。图2展示了8个实验的实验类型、涉及协议层次和覆盖的知识点。本节将围绕三个类型的实验加以介绍。



图2 改革后实验内容的学时和知识点安排

（一）协议验证实验的设计

如图2所示，新方案中包含了4个协议验证实验。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、实验分析等组成，还增加了自主实验设计环节。即鼓励学生模仿实验方案，对实验中没有涉及到的协议知识点进行验证实验。这部分实验的难度较低，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。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，提升对专业课程学习的兴趣。表1展示了HTTP协议验证实验中条件Get知识点对应的实验要求和内容。

表1 条件Get知识点对应的对实验示例

|  |
| --- |
| **实验内容**：学生通过浏览器两次访问同一个网页，记录Wireshark抓到的请求报文和回复报文 |
| **实验记录**第一次访问网页的Get请求报文第一次访问网页的回复报文第二次访问网页的Get请求报文第二次访问网页的回复报文 |
| **实验问题**1、第一个Get请求报文中是否出现IF-MODIFIED-SINCE字段？阐述原因。2、根据第一个回复报文，服务器是否返回请求文件内容？3、第二个Get请求报文中是否出现IF-MODIFIED-SINCE字段？阐述原因。4、第二个回复报文的状态码和短语是什么？为什么没有返回请求文件的内容？ |

（二）思科仿真实验设计

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Packet Tracer (PT)的实验，如图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，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SRWE课程的PT技能训练。实验5主要考察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。图3展示了实验6的任务。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、以及选择正确的线缆连接不同设备的端口。例如本地配置网络设备要选择console线和console口，连接网络设备要选择交叉线和以太网口。图4展示了物理模式下的组网示意图。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与路由器的以太网端口相连，因此这里需要学生掌握单臂路由以及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。只有发送的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，如表2所示。



图3 实验6的任务和拓扑结构

表2 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DHCP协议来进行动态分配的。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，来确认是否完全实现不同VLAN主机的通信。



图4 实验6的物理设备组网示意图

思科仿真实验对学生的综合能力要求较高，需要学生认真阅读题目，自行设计实验步骤和学习相关的配置命令。为了帮助学生正确理解题目以及规范评分标准，课程组在实验指南中明确给出了这个实验的关键得分点及其分值。

（三）套接字编程实验设计

《计算机网络》课程实验中很少包含套接字编程实验。在本次实验改革方案中，增加了2个套接字编程实验，如图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。例如对客户端和服务器端程序（正常/异常）启动和（正常/异常）退出的处理。实验7是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到一个日志文件中。

实验8的任务是设计实现一个多进程服务器程序，要求服务器能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，还增加了对信号的捕捉和处理，更具挑战性。这部分实验采用了不同的成绩评价方式，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，一方面减轻了实验老师的工作量，提升了工作效率。

三、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。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。

四、结束语

经过4年探索，《计算机网络》课程的实验教学改革已经初见成效，学生的获得感和网络工程实践能力得到了显著提升。这里对改革中积累的一些经验进行总结。首先，《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。其次，实验内容和形式需要精心的设计，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。第三，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。第四，实验的评价方式，对于思科实验和网络编程实验，引入了基于指标点的自动评价，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点的综合理解。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，因此受到教师和学生的共同欢迎。

虽然实验教学改革取得了一些进展，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都相对简单，对于基础好、能力强的同学缺少挑战性和创新性。如何针对学生能力设计进阶式的课程实验内容和考核方式将是课程组下一步的改革目标。

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(01)： 1-5.

[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(03)：1-6.

[3]廖勇,周世杰,汤羽等.面向新工科的软件工程专业核心课程体系建设[J].高等工程教育研究, 2022(04)：10-18.

[4]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(04)：43-47.

**Reform and Exploration of Experimental Teaching in Computer Network**

LIU Meng-juan，FU Chong，ZHANG Xiang

（School of Information and Software Engineering, University of Electronic Science and Technology of China , Chengdu, Sichuan 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. This paper first analyzes the problems existing in the traditional computer network course in terms of experimental teaching; then introduces the various measures taken by the course team in the reform of experimental teaching, including the design of new experimental contents, the improvement of experimental materials, and the addition of a more objective way of evaluation; and finally summarizes the experiences in the reform and our future work.

Key Words: New Engineering; Experiment Reform; Computer Network