

虚实结合 TD-LTE 实验网络建设

陈美娟, 朱晓荣, 何爱龙

(南京邮电大学 通信与信息工程学院 南京 210003)

摘要 该文针对南京邮电大学通信与信息工程学院已有实验内容陈旧、实验方法不科学等现象, 提出了虚实结合的 4G 移动通信 TD-LTE 实验网络建设方案, 学生在实验室中既可以基于真实设备也可以基于仿真平台做实验; 设计了丰富的实验教学内容, 并在实验实施过程中采用了创新的方式。实践表明, 更新后的实验方法提高了实验教学的质量和效率, 实践环节对于不同学生应该选择不同的实施方法。

关键词 时分长期演进; 实验室; 移动通信; 实验; 虚实结合

中图分类号 TN915.05 **文献标志码** A **doi**: 10.3969/j.issn.1672-4550.2017.06.048

TD-LTE Laboratory Network Construction Combination of Virtual and Reality

CHEN Meijuan, ZHU Xiaorong, HE Ailong

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract In view of the existing experimental content obsolete and the experimental method is not scientific and so on, this paper puts forward the construction scheme of 4G mobile communication time division long term evolution (TD-LTE) experimental network which combined with the reality and virtual situation of our school. Students can do experiment not only with the real equipment but also with the simulation platform in the laboratory. The rich contents of experiment teaching are designed, and the innovate method is adopted in the implementation process. Practice shows that the updated experimental methods can improve the quality and efficiency of the experimental teaching, and the practice links for different students can choose different implementation methods.

Key words TD-LTE; laboratory; mobile communication; experiment; virtual and reality combination

无线通信技术迅猛发展, 专业实验室建设也必须与时俱进。原有的实验项目在教学中发挥了重要作用, 但是仍需要改进以反映技术的进步^[1]; 另外, 随着学生创新能力的增强, 对专业实验的需求日益增加, 但是部分专业实验项目的实施方法缺乏科学性。因此, 随着移动 4G 网络的商用, 南京邮电大学建设了 TD-LTE 移动通信实验网络, 基于该设备, 实验室设计了虚实结合的实验项目, 同时对部分实验项目采用了新颖的实施方法。

1 国内外实验室建设研究现状概述

长沙学院电子信息与电气工程系基于现网设备建设了 TD-LTE 移动通信实验室^[2], 目标是培养学生对于 LTE 现网设备的安装、开通能力和现场维护能力, 重点是对设备的熟练使用。兰州交通大

学电子与信息工程学院建设了基于 TD-LTE 的移动通信实验室, 将该实验室定位为网络规划平台、性能优化平台、算法设计平台、仿真平台、开发测试平台和协议标准研究平台^[3], 重点是基于真实设备本端做实验和测试等。该学校也建设了面向铁路应用的 TD-LTE 实验室, 实现了铁路调度通信、无线视频监控和旅客信息展示, 也可以模拟铁路沿线的无线路测和网络优化, 主要侧重于 TD-LTE 网络的应用^[4]。哈尔滨工程大学通信工程系建设了 WCDAMA 3.5G 实验室, 学生可以进行 LTE 业务配置、路由器配置等实验, 实验室同时也作为企业的培训基地^[5], 提高了设备的使用率。

文献[6]针对北京邮电大学电子信息类专业特点, 设计了远程虚拟实验平台, 涉及了模拟电子测量、数字电子测量、微波实验和天线测试等。从调

收稿日期: 2016-03-08; **修改日期**: 2016-12-20

基金项目: 校实验室工作研究课题 (2016XG05); 校专业学位研究生教育综合改革课题 (ZYXW1706)。

作者简介: 陈美娟 (1971-), 女, 博士, 副教授, 主要从事移动通信网络方面的研究。

查问卷和学生成绩来看,整个实验水平和实验效率都得到了提升。文献[7]针对网络工程专业学生,开发了基于 B/S 架构的远程实验室系统,实现学生远程对交换机和路由器等的配置。该系统只要学生在规定时间内通过校园网,即可登录到该实验系统进行网络实验训练。

文献[8]针对自动控制的远程实验室,介绍了其灵活性和配置架构。用户客户端采用 Web 界面接入实验室;实验室中可控的设备包括工业网络路由器和可编程逻辑控制器。该文献给出了一种 B/S 架构的虚实结合实验平台。文献[9]提出了一种远程实验室模型,基于该模型,用户可以在物理实验室做实验的同时使用在线实验室做虚拟实验。对各种用户角色进行建模,并设计了用户和远端实验室的交互过程。文献[10]给出了远程操作的实验室内设备控制连接图和客户端的图形用户界面。通过该系统,用户可以控制实验的组件、预约实验,通过控制摄像头观察设备的实时运行状态。该文献对基于 B/S 架构的虚实结合实验室设计和建设具有重要的参考价值。文献[11]提出了虚拟现实在实验室建设中的应用。

从以上国内外相关文献可以看出,建设先进的移动通信系统实验室是通信类专业院校的特点,而基于互联网的在线实验室是提高实验效率和设备利用率的有效途径,虚实结合实验更能让学生在深刻掌握理论知识的同时对物理设备有感性的认识。以上关于 LTE 实验室的建设方案不具有在线实验的功能,而国外的在线实验室大多提供自动控制类实验,并没有涉及先进的移动通信网络技术。因此,本文提出一种虚实结合的 LTE 实验室建设方案,在此基础上对实验教学内容进行了设计,并对实验教学方法提出了改进措施。

2 虚实结合 TD-LTE 实验网络建设方案

虚实结合 TD-LTE 实验网络采用中兴通讯系列设备,网络结构如图1所示。图中 iEPC 采用 ZXTS-eTC500,综合实现 EPC 的所有功能;eNodeB 中的 BBU (base band unit,基带处理单元)采用 ZXSDR B8200,RRU (radio remote unit,远端射频单元)采用 R8968 S1800。MiFi (Mobile WiFi) 为 LTE/WiFi 双模上网终端;TE₁是具有 WiFi 功能的电脑,并且具有通过校园网连接到 Internet 网络的功能;TE₂是连接到实验室局域网的电脑;TE₃是

远程终端,可以通过 Internet 访问到 TE₁类的终端;LTE 网络的网管服务器和 FTP 服务器安装在同一台电脑上;图中连接到 LTE 网络以及 Internet 网络上的交换机是三层交换机,连接电脑的可以是二层交换机。实验室中的电脑均可以通过 Internet 网络访问远程的 LTE 虚拟仿真平台。

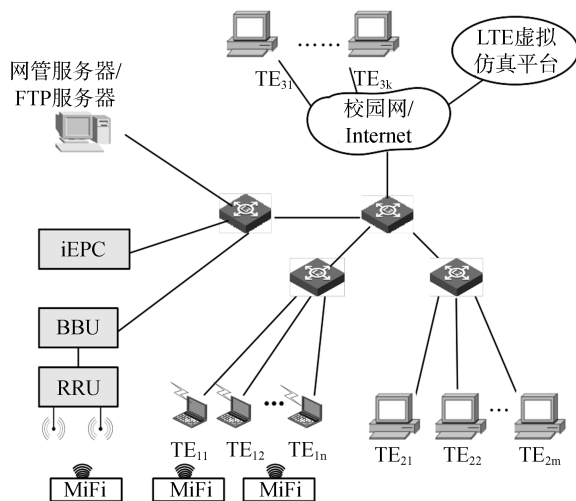


图1 虚实结合 TD-LTE 实验网络结构

B8200 配备了 CC (control and clock board, 控制与时钟板)、一块 BP (baseband processing, 基带处理) 和其他单板等。BBU 与 EPC 之间采用以太网电接口连接,将 CC 单板上的 ETH0 接口通过网线连接至以太网交换机 ZXTR10 3950,速率为 100/1 000 Mb/s 自适应。BP 单板用于实现基带处理,一块单板可以支持一个 8 天线小区,小区带宽为 20 MHz。BBU 与 RRU 之间采用光纤接口连接,将 BP 单板上 TX0/RX0 接口通过一对光纤连接至 RRU 设备。

R8968 S1800 是中兴通信紧凑型射频远端单元,提供 8 个通道 (8×12W),支持 MIMO&BF (beam forming, 波束成形),支持多频段 (1.9G/2.0G/2.6G)。实验室中的 RRU 使用了两个通道,分别经过衰减器 ATS100-40-3-1.3 连接至两根小型天线 TQL-1800A。

eTC500 提供完整的 EPC 功能,包括 MME、SGW、PGW 和 HSS,为小型实验 LTE 网络提供小型化、单机框的解决方案。eTC500 对外连接 eNodeB 和 PDN (packet data network, 分组数据网络),机框中包括了 PPBX0、PPBB0 等单板。PPBB0 主要完成 EPC 系统的控制、维护和网管协议处理等功能,后面板有两个接口通过网线连接至以 ZXR10 3950 智能路由交换机 3950,实现与

eNodeB（BBU）的连接。PPBX0 提供网管服务器功能，提供 EPC 的日常维护和管理功能，后面板有一个接口通过网线连接至以太网交换机 3950，实现与网管服务器平台的连接。

实验网络中的业务服务器是一台 FTP（file-transfer protocol，文件传输协议）服务器。采用一台 lenovo ThinkPad 笔记本电脑做为综合服务器平台，其中安装了 eNodeB 网管平台服务器端软件和 FTP 服务器端软件 FileZilla server，也安装了 eNodeB 网管平台客户端软件和 FileZilla 的客户端软件。这台笔记本电脑通过网线连接至三层交换机 ZXR103950，因而可以对 TD-LTE 网络的无线接入网与核心网 EPC 进行访问。

两个三层交换机互连，实现了学生用电脑与（图中 TE₂ 类型终端）TD-LTE 网管平台的互联，进行相关的上机操作实验。图 1 中的 TE₁ 类型终端是笔记本电脑，TE₁ 通过 TD-LTE 数据终端 MiFi 使用 TD-LTE 的数据业务。TE₁ 类型的终端安装了远程控制软件 teamviewer，因此，通过远程终端 TE₃ 可以操作 TE₁，实现了 LTE 实验室资源的远程共享。实验室中的电脑均可以在线使用远程的 LTE 虚拟实验室，做到了物理环境和虚拟环境相结合。

3 实验教学内容

TD-LTE 移动通信实验室目前为移动通信相关课程提供专业实验环境与平台，是全校相关专业本科生认识实习和生产实习的基地，承担了通信工程专业学生的课程设计，是本科生和研究生的科研平台。

实践项目可以分为 3 大类：第一类是本地基于 TD-LTE 设备的实践项目；第二类是远程基于 TD-LTE 的实践项目；第三类是本地在线虚拟 TD-LTE 实践项目。第一类实验项目需要在实验室进行，学生使用的终端为图 1 中的 TE₁ 和 TE₂ 类型，提供的实验项目如表 1 所示。第二类实验不需要在实验室进行，实验者通过网络远程做实验。这类实验项目需要在 TE₁ 类终端中安装远程控制软件，远程终端通过网络操作 TE₁ 类终端，从而进行表 1 中的全部实验。第三类实验是基于中兴通信 IUV-LTE 仿真平台的实验，不限于在实验室进行，能够登陆 Internet 的终端均可做该类实验，该类实验项目设计如表 2 所示。

4 实验教学方法

根据上述实验项目在教学实施过程中存在的问题，实验室对部分实验教学方法进行了改进。

表 1 TD-LTE 实验项目——基于 TD-LTE 设备

序号	实验名称	实验内容	学时数
1	TD-LTE 实验网络结构认知	了解 TD-LTE 实验网络拓扑结构，网元之间的接口，网络工作原理。	1
2	TD-LTE 实验网络硬件认知	了解 TD-LTE 实验网络中的 eNodeB、iEPC、服务器等及其连接方式	1
3	TD-LTE 网管平台操作	首先，教师演示网管平台的登录和平台的基本功能；然后，学生上机操作练习。（包括无线接入网和核心网网管平台）	2
4	TD-LTE 信令流程分析	启动网管平台信令跟踪功能，对 MiFi 终端的开关机过程、业务使用过程、鉴权过程、信令加密等过程的信令消息进行跟踪和分析	4
5	TD-LTE 数据业务性能分析	执行 FTP 上传和下载操作，分析 TD-LTE 上/下行数据业务速率与业务量之间的关系	2

表 2 LTE 虚拟仿真实验项目

序号	实验名称	实验内容	学时数
1	仿真平台 LTE 核心网与接入网认知	熟悉 LTE 网络架构；网络容量计算和拓扑规划方法；核心网和接入网的设备配置与数据配置方法；实验模式下 LTE 网络业务测试方法	12
2	LTE 网络驻留与业务使用仿真	完成一个 LTE 网络的拓扑规划、IP 地址规划；完成 LTE 网络的设备配置和数据配置。在实验模式下实现手机驻留 LTE 网络和使用仿真平台中的 FTP 和 HTTP 业务	8
3	LTE 网络切换与漫游仿真实验	在完成实验 2 的基础上继续做 1~2 个 LTE 网络，在实验模式下实现手机在不同小区间可切换、在不同网络间的漫游	12

表2(续表)

序号	实验名称	实验内容	学时数
4	仿真平台 IP 承载网认知	熟悉 IP 承载网架构; IP 承载网的容量计算和拓扑规划方法; 设备配置、数据配置和业务测试方法	12
5	某城市 IP 承载网络仿真	完成某城市 IP 承载网拓扑结构和 IP 地址规划; 完成交换机和路由器的设备配置和数据配置。在工程模式下实现 IP 承载网络中任意 IP 地址之间能够互相 ping 通	8
6	城市间 IP 承载网络互通仿真	在实验 5 基础上继续完成 1~2 个城市的 IP 承载网规划与配置。在工程模式下实现: IP 承载网络中任意 IP 地址之间能够互相 ping 通	12
7	LTE 网络与 IP 承载网联合调试	在前述实验基础上, 完成承载网与 LTE 核心网、承载网与 LTE 无线接入网之间的对接配置在工程模式下实现: 1) LTE 核心网设备的业务地址与基站之间能够 ping 通; 2) LTE 核心网设备的业务地址与承载网设备任意接口可 ping 通; 3) 基站与承载网设备任意接口可 ping 通; 4) 手机在驻留任一小区、可使用 FTP/HTTP 业务、可切换/漫游	8

4.1 TD-LTE 实验网络结构认知实验实施方法

认知型实验常规做法是老师现场介绍, 学生听。这种方法的优点是师生及时互动, 缺点就是当有大批学生来认知时, 老师要不断重复讲解同样的内容, 劳动强度大, 影响教学效果。针对这个缺点, 在 TD-LTE 实验网络结构认知实验中采用了音频教学的方法, 即老师事先录制讲解内容, 实验时进行播放。

改进后方法的优点有: 1) 减轻了老师劳动强度, 老师不必再重复介绍相同的内容; 2) 讲解内容更详细全面, 因为是事先录制, 老师可以对介绍内容做充分的准备。3) 老师讲解声音更清楚, 老师可以对语音进行训练, 得到较好的语音效果, 而音响设备可以根据需要调节; 4) 可以暂停播放进

行互动。这种方法已使用在大二学生的认识实习中, 效果很好, 实验质量和效率均得到了提高。

远程做这项实验时, 需要制作多媒体课件, 将网络的拓扑结构图 (PPT 文件或图片) 与老师的讲解结合起来, 制作为多媒体课件, 使学生通过远程也能够了解这个 TD-LTE 实验室的网络结构。

4.2 TD-LTE 实验网络硬件认知实验实施方法

对实验设备的认知实验, 通常是老师将学生带领到机房进行讲解。这种方法的优点是学生对设备直观认识效果好; 缺点是因为学生人数多以及 (或者) 设备运行噪音大, 影响了听觉效果。针对存在的缺点, 我们采取了虚实结合的硬件认识法, 首先是学生通过视频了解设备, 然后有需要的同学可进入机房进行直观认知。

视频教学有 3 种实施方法。1) 视频教学效果最好的方法, 是将设备的图片文件、设备运行时拍摄的视频文件和老师讲解的音频文件合成为一个视频文件。因为需要视频制作技术, 因此有难度^[12]。2) 易实现的视频教学方法, 将图片和视频插入到 PPT 文件中, 老师讲解这个 PPT 文件即可。3) 最省事的方法, 在录制设备运行的过程中老师同时进行讲解, 因此录制好的就是多媒体文件。这种方法的缺点是如果设备是在工作的, 就会有噪音。

4.3 TD-LTE 网管平台操作实验实施方法

操作类实验常规做法是老师对基本的操作过程进行演示, 然后学生自己的电脑上进行更广泛的操作练习。这种方法的缺点是: 老师讲过的操作过程, 学生在操作时还是存在问题, 于是老师得将同样的问题解释多遍。为了提高简单操作类实验的质量, 我们采用了视频实验教学的方法。与 4.2 节不同的是, 现在是把老师在网管平台的操作过程和讲解内容录制成视频。实现的方法是采用“录屏软件”^[13-14], 例如 Camtasia Studio、KK 录像机、屏幕录像专家等, 这些软件提供了电脑屏幕和语音录制功能, 操作简单。老师首先播放这个视频, 期间可以互动。这些视频文件复制到学生的电脑中, 后期当学生在 TE₂类终端上操作有问题时可以自行播放该视频。这样可以大大节省老师逐一辅导学生的时间, 提高了实验质量。

4.4 TD-LTE 信令流程分析

这项实验学生在 TE₂类终端上操作, 可以在无

线接入网网管客户端和核心网客户端进行信令跟踪。无线接入网网管客户端 ZXSDR OMMB 可以进行的信令跟踪任务包括: UE 级小区信令、小区信令、IMS (IP multimedia subsystem, IP 多媒体子系统) 信令、TMSI (temporary mobile subscriber Identity, 临时移动用户识别码) 信令。核心网 EPC 本地维护终端可以进行的信令跟踪任务包括: Diameter (直径) 链路信令跟踪、用户信令跟踪和 SCTP (stream control transmission protocol, 流控制传输协议) 信令跟踪。可以跟踪: 1) MiFi 终端开/关机流程, 分析 TD-LTE 的双向鉴权过程和信令加密过程, 分析不同接口上传递的消息; 2) 用户使用 FTP 业务的信令流程, 分析不同接口上传递的消息。

4.5 TD-LTE 数据业务性能分析

这个实验学生使用 TE₁ 终端, 也就是具有无线上网功能的电脑, 并且需要安装 FTP 客户端软件 FileZilla^[15]。MiFi 是已插入 TD-LTE 实验网络 USIM 卡的数据终端, 它是支持 802.11n 和 TD-LTE 的双模数据卡。开启 MiFi 数据卡以后, 学生电脑搜索无线网络 MiFi 并连接, 然后在电脑上执行 FTP 上传和下载操作, 通过多个文件的操作, 计算 LTE 上/下行的速率与文件大小之间的关系。进一步分析连接到同一个 MiFi 网络上的 TE₁ 终端数量对网络性能的影响, 以及连接到同一个 MiFi 上终端的业务总量对网络性能的影响。这项实验需要在 FTP 服务器上将学生使用的 FTP 用户名权限设置为可读、可写。

5 实验效果分析

TD-LTE 实验室开始提供的实验项目大多是认知类型的, 包括实验室网络拓扑结构、TD-LTE 网络设备认知; 对系统的操作方面主要是对网管平台的认知、登录网管平台查询设备中配置的数据; 应用类是 FTP 业务的速率观察等。升级为虚实结合实验室后, 实验内容更丰富。一方面, 通过 LTE 仿真实验平台, 学生可以进行 LTE 网络所有设备和 IP 承载网络设备的硬件设备配置、数据配置, 并且可以对自己配置的数据进行验证。另一方面, 用户通过互联网, 也可以远程访问实验室, 完成和实验室现场一样的操作。

仿真实验从上学期开设到现在, 先后承担了本科生的生产实习、课程设计和研究生的实验课程。生产实习为期 2 周, 第 1 周主要是理论学习, 第 2 周是上机操作, 是连续学习。课程设计为期 2 周, 学生每天有半天在实验室的上机操作时间; 课程设计开设在大四阶段, 学生虽然结束了其他课程, 但是因为考研复习和找工作等原因, 不能保证他们在其他时间来做实验。研究生的实验课程历时 4 周, 总共 8 课时; 本实验课程为研一学生开设, 他们有其他课程还有研究课题, 因此做实验的时间主要在上学的 8 个课时。

图 2 是年对以上 3 类学生在 7 个方面做的调查分析, 依次是: 是否对仿真实验感兴趣; 是否有助于理解 LTE 网络工作原理; 是否有助于理解 OTN (optical transport network, 光传输网络) 工作原理; 是否有助于理解路由技术; 实验中与同学的交流/交流程度是否频繁; 与真实实验相比仿真实验的效率是否很高; 与真实实验相比是否更愿意选择仿真实验。

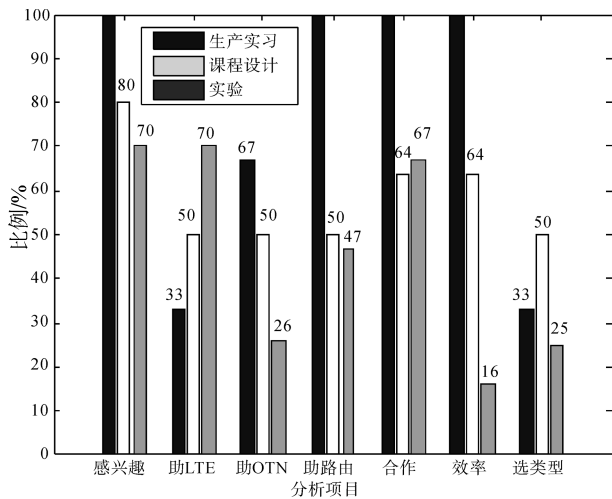


图 2 仿真实验调查分析

从数据分析结果可以看出, 生产实习的同学对仿真实验非常感兴趣, 对他们学习路由技术非常有帮助, 在实验中他们的交流非常多, 实验效率很高, 但是其认为该系统对理解 LTE 的工作原理帮助不是非常大, 更愿意做真实实验。课程设计的同学各方面的评价比较均衡, 大部分同学对仿真实验非常感兴趣, 认为非常有帮助和有一定帮助的各占一半, 同学之间的交流比较多, 实验效率相对较高, 认为仿真实验和真实实验均可以接受。对于研究生实验课程的同学来说, 有较多的人对仿真实验

非常感兴趣,认为该实验有助于理解 LTE 系统,不认为该实验对理解 OTN 和路由技术非常有帮助,实验中他们的交流较多,但是认为自己做该实验的效率很低,大多数没有非常强烈的愿望选择做该实验。

从分析结果可以看出,基本相同的实验内容,不同的学生的收获不同。总体来看,集中实验比分散实验的效果要好,课时多的情况下学生的收获更多。因此,该分析结果也指出了今后工作的改进方向,对于生产实习来说,真实实验和仿真实验相结合的效果最好,因为时间充裕;对于课程设计来说,一份比较详细的实验指导书比较好,因为他们需要高效和灵活地利用时间;对于研究生实验课程来说,应该集中安排实验时间,提高实验效率。

6 结束语

在无线通信技术迅速发展的今天,人们对数据业务的需求出现了爆炸式增长。为配合学生学习和实践 4G 的 TD-LTE 技术,我们采用中兴通信设备和 IUUV LTE 仿真软件建设了 TD-LTE 虚实结合实验室,设计了多种类型的真实实验和仿真实验。在课时允许的情况下,学生可以同时进行真实实验和仿真实验。实验室下一阶段建设的重点在虚实结合实验方面,思想是使得实验室中更多的物理设备能够通过远程来控制,增强远程实验的真实感和为实验者提供更多的操作设备的机会。

参考文献

- [1] 陈美娟,张颖,杨国民.《交换技术》课程研究性实践教学探索[J].实验科学与技术,2014,12(5):180-184.
- [2] 刘光灿,万家波,陈威兵,等.基于现网设备的 TD-LTE 4G 移动通信实验教学系统构建[J].实验技术与管理,2015,32(10):74-79.
- [3] 许琼,周冬梅.新一代无线移动通信网络实验室总体框架设计——基于 TD-LTE 技术的应用[J].科技管理研究,2015,334(12):95-100.
- [4] 谢健骊,李翠然.面向铁路应用的 TD-LTE 实验室建设探讨[J].实验室科学,2015,18(6):79-81.
- [5] 王钢,倪洁.3G 实验教学示范中心建设的研究与实践——哈工大通信工程体系建设 WCDMA3.5G 实验室项目成果展示[J].网络与信息工程,2016(1):44-45.
- [6] 赵同刚,申仲舰.电子信息类虚拟远程实验室建设的探索——以北京邮电大学为例[J].中国远程教育,2015(11):51-58.
- [7] 容振邦,赵铁柱,徐沛.基于 J2EE 的锐捷网络工程远程实验室设计[J].实验科学与技术,2016,14(1):58-62.
- [8] KALUZ M, GARCAZUBA J, FIKAR M, et al. A Flexible and configurable architecture for automatic control remote laboratories[J]. IEEE Transactions on Learning Technologies, 2015, 8(3): 299-310.
- [9] FELIPE L, RIVERA Z, MARIA M, et al. Models of remote laboratories and collaborative roles for learning environments[C]//2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), UNED. Madrid, Spain: IEEE Xplore, 2016(2): 423-429.
- [10] TENG M, NEDIC Z, NAFALSKI A. Students' perception of remote laboratories—case study: NetLab[C]//2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Abu Dhabi: IEEE Xplore, 2016(4): 568-575.
- [11] CALLAGHA M J, EGUILUZ G. Opportunities and challenges in virtual reality for remote and virtual laboratories[C]//2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Bangkok, Thailand: IEEE Xplore, 2015(2): 235-237.
- [12] 龙飞.会声会影 X5 从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [13] 郭永刚,于晓荷,孙昱.利用 PPT 与 Camtasia Studio 开发录屏型微课[J].信息与电脑,2015(22):171-172.
- [14] 傅兰芳.录屏软件 Camtasia Studio 进阶技能[J].中学物理,2015,33(18):70-72.
- [15] 陈慧民.应用开源软件 FileZilla Server 架设 FTP 服务器[J].中国网络教育,2011(7):76-77.