

国家级虚拟仿真实验教学中心 申请书

网络工程虚拟仿真实验教学中心

学校主管部门: 浙江省教育厅

学 校 名 称: 温州大学

学校管理部门电话: 0577-86595078

开放共享访问网址: <http://vlab.wzu.edu.cn>

申 报 日 期: 2014.10.08

填写说明

1. 申请书中各项内容用“小四”号仿宋体填写。
2. 表格空间不足的，可以扩展。

1. 基本情况

虚拟仿真实验教学中心名称		网络工程虚拟仿真实验教学中心					
实验教学示范中心名称 / 级别 (省级或国家级)		计算机实验教学示范中心 / 省级		批准时间	2010.11		
虚拟仿真实验教学中心主任	姓名	施晓秋	性别	女	年龄	50	
	专业技术职务	教授	学位	硕士	联系固话 / 手机号码	0577-86689118 13867718879	
	主要职责	1. 全面负责计算机实验教学中心的规划、建设及教育教学改革工作; 2. 负责虚拟实验教学中心的总体规划与建设, 并组织相关的专题研究; 3. 负责虚拟实验中心建设与教学工作的评估、检查、改进与总结。					
	工作经历	1985 年浙江大学毕业后, 一直工作于温州大学。现主要从事计算机网络教学与科研工作, 浙江省高校教学名师奖获得者。先后担任计算机科学与工程学院副院长、物理与电子信息工程学院副院长、教务处处长等职务, 2009 年至今一直任温州大学计算机实验教学中心主任, 2012 年起兼任网络工程虚拟中心主任。					
	教研科研 主要成果 (科研成果限填 5 项)	主持的教学成果:					
		来源		名称		年份	
		第七届浙江省高等教育教学成果一等奖		产学深度联动的网络工程应用型人才培养探索与实践		2014	
		第五届浙江省高等教育教学成果一等奖.		计算机网络教学改革的研究与实践		2004	
		国家资源共享课程		计算机网络基础		2013	
		“十二五”国家综合改革试点专业		网络工程		2013	
教育部“卓越工程师教育培养计划”试点专业		网络工程		2012			
浙江省“十二五”优势建设专业		网络工程		2012			
“十二五”暨“十一五”普通高等教育国家级规划教材.		计算机网络技术		2012 2006			
浙江省高等教育重点建设教材		网络工程实践教程		2009			
浙江省高等教育重点建设教材		无线与移动网技术		2010			
浙江省高等教育重点建设教材		计算机网络实训		2004			
浙江省新世纪高等教育教学改革项目		面向应用型人才培养的计算机网络实践教学体系的改革与创新		2009			
浙江省高等教育课堂教学改革研究项目		“三位一体”课堂教学模式改革——以网络工程典型课程为例		2013			
浙江省教育体制改革试点项目		依托产学合作的地方本科院校工程应用型人才培养模式改革		2011			
浙江省实验教学示范中心		计算机实验教学中心		2010			
主持的科研项目:							
来源		名称		时间			
国家自然科学基金面上项目		基于迭代测距整合的无线网络定位与可定位性研究		2010—2012 年			
国家自然科学基金面上项目		自适应的基于分布式索引缓存的无结构 P2P 快速搜索算法的研究		2006—2008 年			

虚拟仿真实验教学中心执行主任	姓名	刘军		性别	男			年龄	39			
	专业技术职务	副教授		学位	博士			联系固话/手机号码	13655776284			
	主要职责	负责虚拟仿真实验教学中心的日常建设与运行，包括： 1. 虚拟中心建设与教学工作实施和虚拟教学相关的专题研究； 2. 虚拟教学平台平台建设、开发、维护与运行； 3. 虚拟中心项目资源库的建设、规章制度的制订与实施； 4. 虚拟中心实验教学工作的评估、检查、改进与总结。										
	工作经历	中山大学通信与信息系统专业博士，2010 年 9 月至今任温州大学专任教师。拥有 CCIE-DC（思科认证数据中心专家）、VCP-DV（VMware 认证数据中心虚拟化专家）、VCP-Cloud（VMware 认证云计算专家）、CCSI（思科认证系统讲师）、CCAI（思科网络学院认证讲师-CCNP）等资质与认证。										
虚拟仿真实验教学中心	教研科研主要成果（科研成果限填 5 项）	主持的教学改革与建设项目： ✧ 2013 年浙江省高等教育教学改革研究项目. 基于企业生态系统的分布式工程实践教育中心建设模式探索； ✧ 2013 年浙江省提升地方高校办学水平专项项目. “虚拟化与云计算”教学实验室建设； ✧ 2013 年浙江省高校实验室工作研究重点项目. 基于虚拟化的网络工程综合实践平台建设； ✧ 2011 年温州大学人才培养模式创新实验区项目. 面向应用型人才培养的课外实践教学体系建设。 发表的代表性学术论文(*为通讯作者) ✧ Liu T, Liu J*. Mobile Robot Aided Silhouette Imaging and Robust Body Pose Recognition for Elderly-Fall Detection[J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEMS, 2014, 11. ✧ Liu T, Liu J*. Design and implementation of a compressive infrared sampling for motion acquisition[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2014, 2014(1): 1-15. ✧ Liu T, Liu J*. Feature-specific biometric sensing using ceiling view based pyroelectric infrared sensors[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2012, 2012(1): 1-11. ✧ Liu J, Guo X, Liu M, et al. Motion Tracking Based on Boolean Compressive Infrared Sampling[C]//Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2010 IEEE 16th International Conference on. IEEE, 2010: 652-657.(最佳会议论文)										
	教师基本情况		正高	副高	中级	其它	博士	硕士	学士	其它	总人数	平均年龄
	人数	4	12	10	0	14	12	0	0	26	37.8	
	占总人数比例	15%	46%	39%	0	54%	46%	0	0			
虚拟仿真实验教学中心	实验教学情况	实验课程数		面向专业数			实验学生人数/年			实验人时数/年		
		16		7			900			91950		

2. 建设内容

2-1 虚拟仿真实验教学中心的建设概况

一、学校概况

温州大学是经国家教育部正式批准设立的地方综合性大学，位于我国东南沿海的温州市，面向十九个省、自治区招生。学校秉承“求学问是、敢为人先”的校训精神，遵循“以人为本、质量立校、服务地方、特色取胜、追求卓越”的办学理念，正在建设成为“重实践、强创新、能创业、懂管理、敢担当”的高素质应用型人才培养基地，校长蔡袁强主持的“面向中小企业的地方本科高校应用型人才培养探索与实践”于2014年获得高等教育国家级教学成果一等奖。

二、虚拟中心建设背景

温州大学网络工程虚拟仿真实验教学中心隶属温州大学计算机实验教学示范中心，依托温州大学网络工程专业，服务于本校的网络工程、计算机科学与技术等相关专业的计算机网络实践教学，和兄弟院校同类专业实验教学与教师培训，并辐射至合作企业的工程技术人员培训。

温州大学“网络工程”专业是“十二五”国家综合改革试点专业、教育部“卓越工程师教育培养计划”专业和浙江省“十二五”优势建设专业(附件 5-1)，具有良好的专业建设基础与成果积累。“计算机网络基础”课程入选国家资源共享课；主编的网络工程系列教材（含“十二五”国家级规划教材《计算机网络技术》和 4 部浙江省高等教育重点教材）被全国 200 多所本科院校所使用(附件 5-3)；依托校企合作的网络工程应用型人才培养成效明显，“产学深度联动的网络工程应用型人才培养探索与实践”获得浙江省高等教育教学成果一等奖(附件 5-4)。毕业生以工程实践能力强、综合素质高而受到用人单位的高度认同，平均月薪高于全国同类专业，不少毕业生进入阿里巴巴、百度、阿尔卡特—朗讯、思博伦通信等知名 IT 企业(附件 4-3、4-4)。在地方本科院校同类专业中具有高度影响力，主持了教育部高教司/人事司/高校教师网培中心的“地方院校网络工程专业建设与应用型人才培养”骨干教师培训等多项全国性教师培训(附件 6-6)，为教育部计算机类专业教学指导委员会《网络工程专业规范》编制的成员单位(附件 6-1)，在教育部计算机类专业教指委和全国高等学校计算机教育研究会联合推出的“高校计算机类专业应用技术型人才培养研究”工作中被指定为网络工程专业的组长单位(附件 6-2)。

温州大学计算机实验教学中心成立于 2005 年，2010 年获得“浙江省实验教学示范中心”建设立项(附件 1-4)。中心承担计算机科学与技术、网络工程、信息管理与信息系统等 3 个专业的全部校内实验实践教学，通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、电气工程自动化等 4 个专业的部分课程实践教学，以及全校其他专业的计算机基础实验教学，中心的总体架构如图 1 所示。中心现有设备 1749 台（套），资产 1710 万元。以温州大学计算机科学与技术一级学科硕士点为依托，中心拥有一支学术与教学水平高、管理能力强的高素质实验教学与管理队伍。中心坚持以学生为本、面向应用型人才培养的教学理念，经过多年建设，已建立了以学生实践能力与创新能力培养为核心、符合计算机学科实验与实践教学规律的实践教学教育体系，建设了仪器设备先进、资源共享、开放服务的良好实验与实践教学环境，和有利于实验中心高效运行的管理机制，提高了计算机实验教学水平，形成了对校内学生培养的强有力支撑，并实现了校外开放与共享，起到了良好的示范和辐射作用。

计算机实验教学中心下辖两个面向网络工程实验实践教学的分中心，分别为网络

工程实验分中心和网络工程虚拟仿真实验教学中心。基于实体设备与环境的网络工程实验分中心始建于 2005 年，期间经过三次更新与升级，现建有 6 个专业实验室、3 个校企共建的校内学生实践与创新中心(如图 1)，设备 508 台套，资产总额 980 万元。该实体中心主要服务于本校网络工程专业实践教学，以及计算机科学与技术、通信工程、电子信息工程等其他 6 个专业计算机网络相关课程的实验教学，其实验教学支撑能力处于国内同类院校领先水平，得到教育部计算机类专业教学指导委员会副主任蒋宗礼教授、王志英教授等同行专家的高度认同，近年来专程来校考察的兄弟院校达到三十多家(附件 6-3、6-4)。

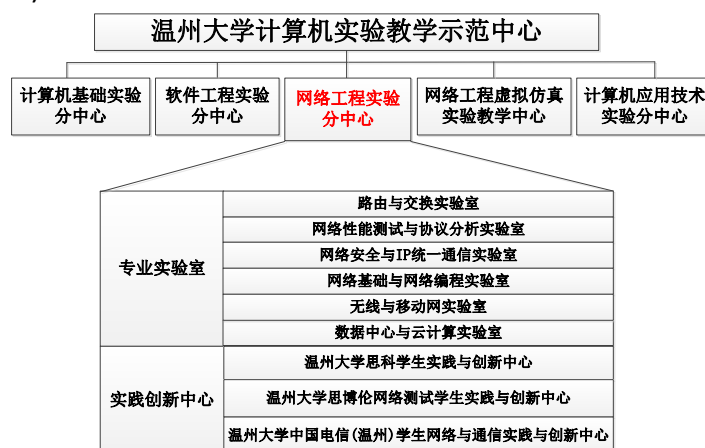


图 1 温州大学计算机实验教学中心结构

为了应对实体教学实验室所存在的限制与不足(注：[详见“2-2 虚拟中心建设的必要性”](#))，2010 年进行了“网络工程虚拟仿真实验教学中心”(简称“虚拟中心”)建设的前期试点；2012 年经学校实验教学委员会批准正式成立，同时实现了部分资源的开放；2013 年，在 3 项省级教学项目的资助与支持下，建设工作有力推进；2013 年年底完成了云平台建设，2014 年初实现了资源的全面开放，如图 2 所示。三个直接相关的省级教学项目为：

- 2013 年浙江省高等教育教学改革研究项目。基于企业生态系统的分布式工程实践教育中心建设模式探索；
- 2013 年浙江省提高地方高校办学水平专项项目。“虚拟化与云计算”教学实验室建设；
- 2013 年浙江省高校实验室工作研究重点项目。基于虚拟化的网络工程综合实践平台建设。

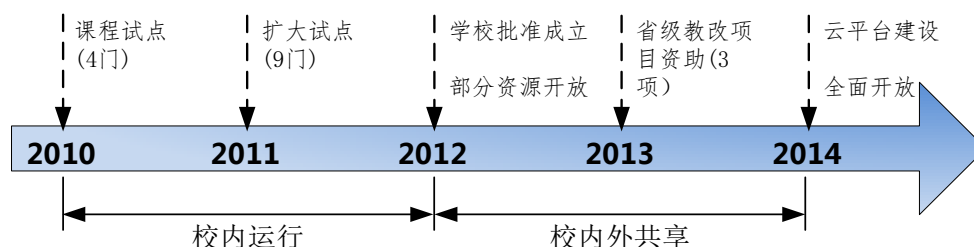


图 2 虚拟中心的建设史

三、虚拟中心建设思路与建设内容

本着“学生发展为中心、工程应用为特色、能力培养为核心、多元协同为抓手、虚

“实互动增成效、开放共享促辐射”的建设理念与建设思路，四年来，虚拟中心的主要建设内容包括：

- 1) 能力核心、应用特色的虚拟仿真实验教学体系与项目库建设 (详见 2-3)
- 2) 学生主角、虚实互动的虚拟仿真实验教学模式建设 (详见 2-3)
- 3) 硬件虚拟、软件仿真、云支撑的虚拟仿真实验教学技术平台建设 (详见 2-4)
- 4) 门户网站、教学信息管理和实验平台访问功能一体的虚拟仿真实验教学管理平台建设 (详见 2-4)
- 5) 教学与开发并举、多元协同的虚拟仿真实验教学队伍建设(详见 2-6)

四、技术路线

虚拟仿真实验教学是指通过一系列计算机虚拟或仿真技术，模拟或创建出与原始系统在特定属性与功能方面相似或相同的仿系统或伪系统，用于实验实训教学。基于不同的实现技术，虚拟仿真实验教学系统可实现不同的虚拟仿真功能与使用特性。软件仿真可实现几何仿真、系统建模、系统仿真等功能，硬件虚拟可实现设备、主机与桌面的虚拟。虚拟仿真教学系统的交互模式也从最初的单向呈现（零交互）、简单交互向着虚拟现实的方向扩大，其应用支撑平台从基于单机、网络向云平台扩展。其应用范围从对涉及高危或极端实验环境的仿真，对不可及或不可逆操作的模拟，对高成本、高消耗实验设备与环境的替代，向着面向广大学科专业范畴提供高可用、高可扩展、高灵活性和高经济性的虚拟实验教学系统发展。依托虚拟仿真实验教学的 E-Doing 成为了继 E-Learning 之后另一类利用信息技术促进教育变革的标志性应用。

网络工程虚拟实验教学平台的目的在于如何提供与真实网络系统（包括网络设备与组件、硬件与软件）具有高度可比性与仿真性的实验操作与运行环境，并能被校内外所广泛共享，为此采用了硬件虚拟、软件仿真、云平台支撑的技术框架(如图 3)，系统所涉及的关键技术及作用如表 1 所示。

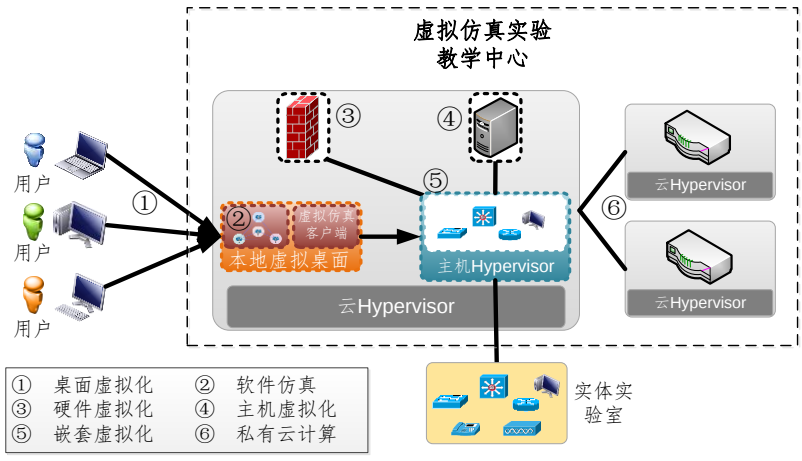


图 3 教学平台中的虚拟仿真技术

表 1 主要虚拟仿真技术及其运用

涉及的技术	技术简介	在本平台中的运用
软件仿真	以计算机程序或软件模拟特定系统的抽象模型。	对协议和系统运行过程的模拟；提供人机交互界面和可视化服务。
主机虚拟化	将一台物理主机虚拟成一个或多个相互独立并且有自己的操作系	将各种服务器映射为虚拟主机。

	统的虚拟主机。	
硬件虚拟化	通过对真实特定硬件的隐藏和计算平台的抽象,实现对特定计算机硬件设备的虚拟。	形成虚拟网络设备的引擎,支持加载相应的网络操作系统,并支持虚拟网络拓扑的构造。
桌面虚拟化	将本地主机虚拟成为远程主机(包括虚拟主机)的输入输出终端,并提供属于个人的桌面呈示。	支持通过互联网在任何时间、地点采用各种智能终端(PC、PAD、手机)使用浏览器共享虚拟仿真实验。
嵌套虚拟化	对虚拟主机的再次虚拟化。	将虚拟网络生成引擎虚拟化,使之得以被云平台统一管理。
云计算	以主机虚拟化为基础,提供基于基础设施即服务(IaaS),分为私有云、公有云、混合云	后台所有远程桌面资源的分配与管理;虚拟数据中心的管理与物理服务器上虚拟实验资源的调度与分配。

五、技术实现途径

在虚拟仿真实验教学的实现上,以软件仿真技术、硬件虚拟技术和云计算技术为基础,虚拟中心建设团队采取了自主开发、联合定制开发、二次开发相结合的技术实现途径。

自主开发:使用 Python 语言开发了“路由交换互连引擎”,该引擎实现了对 IOS 系列路由器、交换机的硬件虚拟,支持通过图形用户界面的客户端自由定制虚拟网络实验拓扑(设备类型、设备模块、设备间连接),以驱动服务端生成相应的虚拟网络设备实例以及实例设备间连接的映射,以支持路由交换网络特性。该引擎为近三分之二虚拟仿真实验教学项目提供硬件虚拟核心服务。

联合定制开发:以 OpenStack/KVM 架构为基础,针对“虚拟互连路由实验室”(VIRL)引擎与思科公司工程师联合进行了定制开发,使其能支持 Juniper SRX 防火墙、Vayatta 企业级路由器以及 H3C Comware7 系列等第三方网络设备的硬件虚拟,提供了对跨厂商网络设备支持的增强和补充;对 VIRL 引擎软件仿真部分的绘图服务进行了视图方面的扩展,使其支持更丰富、细腻的可视化呈现。该引擎为大型、综合性网络工程虚拟仿真实践项目提供了硬件虚拟和软件仿真服务。

二次开发:利用 PacketTracer 仿真软件提供的编程接口,基于 Javascript 语言开发大量的 Activity(教学活动)库。Activity 由初始网络和答案网络两部分组成,实验者可随时使用评价功能自助检查实验任务完成的进度和正确性。

六、建设成效

历时四年,在学校高度重视、省级教学项目大力支持、团队共同努力下,虚拟中心建设成效明显,如表 2 所示。

表 2 虚拟中心建设成效简表

建设内容	建设成效概要		备注
教学体系与项目资源	教学体系	课内: 1 门专业基础课程 9 门专业课程 6 门专业综合实践课程 课外: 4 类课外实践创新教育活动	详见“2-3 虚拟仿真实验教学资源”
	项目资源	数量: 306 项 性质: 课程实验、综合实践、开放实验项目	

教学模式	建成了虚实有机互动、大二到大四三年全渗透的虚拟实验教学模式		详见“ 2-3 虚拟仿真实验教学资源 ”
技术平台	功能	硬件虚拟：可创建路由器、交换机、防火墙服务器等典型网络设备，构建虚拟网络拓扑。 软件仿真：模拟网络协议和网络系统的运行机理，提供良好的人机交互环境和可视化呈现。 云平台支撑：将物理服务器和网络等计算资源抽象化、池化，实现虚拟主机的自动化管理。	详见“ 2-4 虚拟仿真实验的教学平台 ”
	性能	访问方式：支持任意时间、任意地点使用任意智能终端设备访问 用户规模：并发可支持 60 小组同时进行分组实验，每个小组可分配 8 台虚拟网络设备	
管理平台	提供用户管理、信息展示、资源管理和实验管理等四项主要功能		详见“ 2-4 虚拟仿真实验的教学平台 ”
教学与建设队伍	数量：37 人 组成：专业教师、管理人员、企业高管与工程师 作用：教学与研究、建设与开发、运行与维护		详见“ 2-6 虚拟仿真实验教学和管理队伍 ”
管理体系	组织保障：校院二级管理，中心主任负责制 制度完善、管理规范		详见“ 2-7 虚拟仿真实验教学中心的管理体系 ”
开放共享	提供基于互联网的校内外开放与共享 已共享院校：11 家 已共享企业：9 家		详见 3-1 教学资源共享的范围和效果

2-2 虚拟仿真实验教学中心建设的必要性

我校的网络工程实体实验室建设处于国内同类院校先进水平，被校外同行所广为认同与赞赏。但即使是这样，也无法回避因为实体设备所带来的先天不足，主要表现在：

1. 网络运行机理的可见性差

实体网络设备通常以类似“黑匣子”方式运行，只能提供有限的状态灯指示和基于命令行或图形界面的指令输入、配置操作以及运行结果显示，网络设备对等实体之间的协议交互、数据包交换等运行过程与运行机理对操作者是不可见的，而这些对于学生掌握网络协议的工作原理与网络系统的运行机理，促进理论指导下的实践能力培养是至关重要的。

虚拟实验教学系统通过界面友好的软件仿真技术，不仅可以提供与实体设备相当的命令行或图形界面，还可通过对网络运行与数据传输过程中的数据包模拟、捕获与分析，解决网络运行机理不可见的问题。

2. 实验特性的可扩展性弱

网络设备类型、数量和所能支持的网络拓扑是反映与衡量网络实验教学功能与特性的三个重要因素，设备类型越丰富、数量越多、拓扑越多样，可提供的实验教学功能与特性越完备。由于成本因素，实体实验室可提供的设备数量往往有限，而且设备类型固定受限，一般局限于少数厂商、有限类型、固定配置的若干设备，可实现的设备组合少、特性丰富度低。这将导致：**1)实验教学规模受限**，每个实验可容纳的学生数、每个学生可用的设备类型与数量均受到限制；**2)网络拓扑构造与拓展的灵活性低**，只能支持有限类型的网络实验，难以支持多种不同网络拓扑形态的实验，特别是设备规模较大、类型较多的大中型实验项目；**3)难以支撑基于多厂商、多类型和多特性网络设备的综合性、设计性或创新性实验教学项目**。

而虚拟实验教学平台，通过有效的硬件虚拟、软件仿真和云计算平台作底层支撑，不仅设备类型不受限制，数量与规模扩大便捷，可支持灵活自主的网络拓扑构造，而且建设成本低，可很好地解决实体实验室可扩展性弱、完备性差的问题。

3. 建设与维护成本高

首先，网络工程实体实验设备通常**价格高昂**，不仅初期建设成本高，而且设备运行过程中的维修费用也相应较高；其次，网络技术变化快，**产品生命周期有限**、更新换代频繁，及时跟进更新需要大量的建设经费投入，若不及时更新则导致产品与技术陈旧过时，无法满足教学需要；第三，实体设备不仅**占有较大的物理空间**，而且**能耗指数高**，散热量大，运行维持成本高，也制约了实体实验室的长时间开放。

而虚拟仿真实验教学平台只用较低的设备成本，就可通过硬件虚拟、软件仿真的方式实现设备的更新换代，且更新周期短、频度高；借助于云计算技术，大量的虚拟化网络设备共同运行于数量有限的物理服务器上，可大幅降低能耗与运维成本，提供绿色、低碳、环保的实验环境。

4. 实验平台使用的便捷性差

使用网络工程实体实验室的设备资源，学习地点固定于实验室所提供的物理空间，学习时间受限于实验室的开放时间，而且通常只能通过机房给定的**PC主机**，依赖指定的操作系统使用与访问网络设备，**无法实现随时、随地地访问与利用设备资源**，**也不能支持通过多种可选终端使用实验设备资源**。

而虚拟实验平台提供了一年**365天**、每天**24小时**的全天候开放，学生可通过网络随时、随地访问平台中的虚拟实验教学资源，并可使用台式**PC**、笔记本电脑、手持智能移动终端等多种访问工具；为学生根据自己的学习兴趣、学习能力与学习节奏，选择个性化的学习内容、学习与学习地点提供了现实可行性。

5. 资源的开放共享性差

国内现有**330多所**地方本科院校设有网络工程专业，其中历史不满五年的新建专业占了近一半，受经费投入的限制，尚无法基于实体设备提供涵盖主要课程的实验教学条件与环境。而我校的网络工程实体实验教学中心尽管教学条件与教学支撑能力在地方本科院校中处于先进水平，但由于实体设备的物理空间限制，**难以实现非同城的校际开放与共享**。来校参观考察的兄弟院校同行在羡慕我校网络工程实体实验教学条件的同时，不少人提出了通过虚拟仿真实验教学平台共享优质实验教学资源的需求。

基于上述原因，我们实施了网络工程虚拟仿真实验教学中心建设，通过提供基于虚拟仿真实验教学的**E-Doing**服务，解决实体实验室的不足与限制，实现实体与虚拟

实验之间的优势互补，并提供校内外开放共享的实验教学服务。图 4 给出了实体实验室与虚拟仿真实验室在若干重要教学功能与特性上的比较。

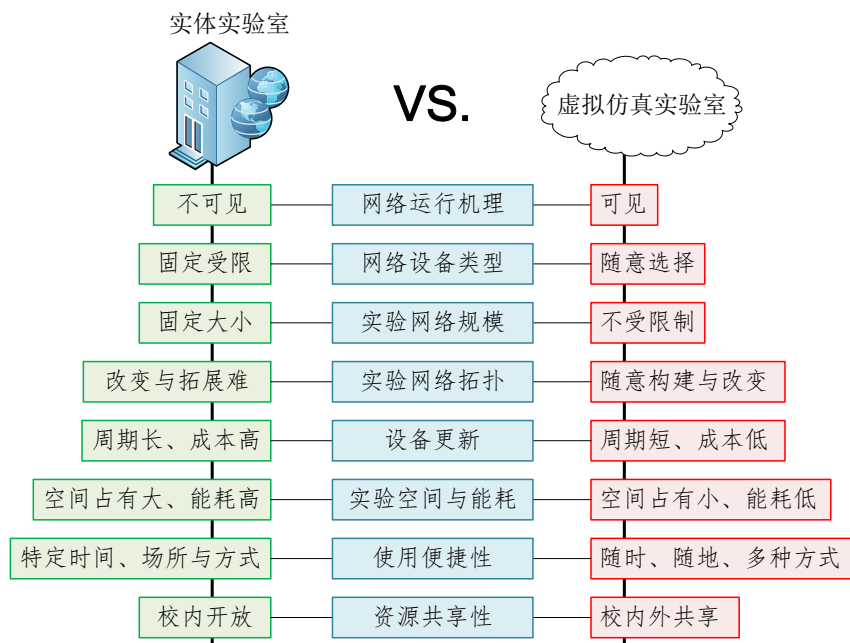


图 4 网络工程实体实验与虚拟仿真实验的教学功能与特性对比

2-3 虚拟仿真实验教学资源（罗列实验项目、功能及效果等）

一、数量丰富、工程应用特色鲜明的项目资源

虚拟中心的项目资源建设立足于地方本科院校工程应用型人才培养，强调了工程应用内涵与特色。主要体现在：

(1) **覆盖了应用型网络工程师的主要能力范畴**，包括其工程能力链条中的规划与设计、部署与实施、测试与验证能力；

(2) **支撑了主流的网络技术与产品**，包括路由交换、网络安全、统一协作、无线网络、数据中心、运营商网络等相关技术，支持对 Cisco、Juniper、H3C 与华为等主流厂商网络设备的虚拟或仿真，VMware、Citrix 等主流厂商的服务器虚拟化软件，以及 Windows、Linux 等主流操作系统；

(3) **大量借鉴了工程实际案例**。在项目库建设过程中，以合作企业所提供的工程案例资源为素材，提炼了大量的综合设计性虚拟实践教学项目，同时也从中分解得到了一批基本型的实验教学项目。使得所提供的虚拟实践教学项目更加对接工程应用的“地气”。

目前已经完成建设的实验教学项目共有 306 项，表 3 给出了以网络工程专业课程与课外实践教育活动为主线的项目分类统计。其中，标志“*”的课程表示同时面向其他专业的课程。关于项目的具体列表详见附件 3-2。

表 3 已建设实验项目的分类统计

学期	课程或活动性质	课程/活动名称	项目数			
			演示 认知型	分析 验证型	综合创新 设计型	合计
四	基础课程实验	计算机网络基础 *	4	4	0	8
五	专业课程实验	路由与交换 *	6	3	8	17
		TCP/IP 协议分析 *	2	3	1	6

六		计算机网络安全	1	3	5	9	
		无线与移动网技术*	0	4	5	9	
		网络性能测试与分析	1	4	4	9	
		课程设计	TCP/IP 协议分析课程设计	0	0	3	3
	专业课程实验	IP 统一通信技术	0	2	6	8	
		网络测试自动化	0	0	6	6	
		计算机网络规划与设计*	0	0	7	7	
		数据中心与云计算*	0	3	4	7	
		综合实践课程	网络工程部署与实施综合实践	0	0	6	6
			网络性能测试与优化综合实践	0	0	2	2
			数据中心与云计算综合实践	0	0	2	2
			网络规划与设计综合实践	0	0	5	5
	七	综合实践课程	网络工程创新技能开发	0	0	14	14
		专业实践课程	专业实习（设计与验证阶段）	无固定项目			
	八	专业实践课程	毕业设计（建模与设计阶段）	无固定项目			
四至六	课外实践与创新教育活动	开放实验项目	12	32	58	102	
		职业工程师认证	0	13	32	45	
		学生科技创新项目	0	0	25	25	
		网络工程专业技能竞赛	0	0	15	15	
总计			26	71	209	306	

二、虚实互动的资源使用模式

依托虚拟中心与实体中心的互相支撑，在专业人才培养方案的框架下，建立并实施了**虚实高度互补、有机互动**的资源使用模式。虚拟实验教学的利用涉及了网络工程专业大二到大四的专业基础课、专业课、课程设计或综合实践课等课内课程，以及开放实验项目、学生科技创新项目、职业工程师认证、专业技能竞赛等课外创新实践教育活动（如表 3）。

图 5 给出了从大二到大四、从课内课程教学至课外实践与创新教育各主要教学环节的虚实互动教学模式的简单示意。其中，大二下的专业基础课“计算机网络基础”主要将虚拟实验平台用于课前的预习与课后的扩展，课中使用了实体实验室。大三的专业课程根据课程实验教学项目的不同分为两种使用模式，课程基本实验采用与前面的“计算机网络基础”课程相同的模式，课程相关的综合设计性实验则多数采用了虚拟仿真实验平台完成；大三期间，四个独立设置的综合实践课程以及课外实践与创新活动如开放实验项目、学生科技创新项目等，采用了虚实相结合的方式，虚拟用于方案的设计，实体用于方案的实际效果测试。即使学生在大四期间进入企业学习（包括专业实习与毕业设计），仍然使用了该平台进行实习项目或毕业设计项目中的一些系统建模、方案设计与结果预验证。从整个人才培养过程来看，随着专业教育阶段的逐步深入，实践能力培养目标也逐步提升，所涉及实验的设备多样性、拓扑复杂度随之提升。相应地，所依托的实验环境也由以实体中心为主，逐渐过渡为虚实结合，最终过渡到以虚拟中心为主。表 4 简要给出了课内课程与课外活动如何使用虚实互动模式的说明。

三、 实验项目的主要类型

根据虚拟实验项目与实体实验间的关系，以及运用方式的不同，虚拟实验项目可分为以下三种类型：

1. **实体实验项目的再现**。此类项目在虚拟仿真实验教学平台和实体实验室中都能完成。在虚拟仿真实验教学平台中设置此类项目是为了方便学生实验在宿舍或自习室等场合通过远程桌面进行课前预习和课后学习；
2. **实体实验项目的扩展**。此类项目在实体实验室中基本能够完成，但在实验规模、开放时间、开放容量等方面受到限制。设置此类实验项目是为了解除实验规模的限制，全时间段大面积向校内外提供开放共享，其中多数项目属于开放实验项目。
3. **虚拟中心专有、填补实体实验空白的实验项目**。该类项目涉及多厂商、多特性、多类型的高端网络设备，由于成本原因在一般高校的实体实验室中几乎无法开设。该类实验室项目的设置是为了支持以实际网络工程项目和案例为主要内容的综合实践教学。

根据技术实现路线与特点的不同，虚拟实验项目可分为四种类型：**软件仿真、远程桌面、硬件虚拟、硬件虚拟与软件仿真结合**。表 5 给出了四种类型的简要说明。关于每类项目的具体实现细节与展示请参见附件 3-3。

表 5 实验项目的主要技术实现类型

技术实现类型	软件仿真	远程桌面	硬件虚拟	硬件虚拟+软件仿真
主要功能	通过基于原理性的互动仿真和工程性的界面仿真，实现实体实验环境所无法提供的网络协议与运行机理的可感知性。	后台由 Spirent 网络性能测试仪表、MRV 串口服务器、MRV 物理层交换机等组成，前台用户通过安装了网络测试客户端的虚拟桌面进行远程实验。	自主开发的路由交换互连引擎分为服务端和客户端。服务端实现了对路由器和交换机的硬件虚拟，并支持与扩展虚拟设备的互连；客户端实现了对实验网络拓扑的构造和对虚拟网络设备的配置。	硬件虚拟服务端实现了对不同系列、跨厂商、混合特性的网络设备的硬件虚拟；软件仿真客户端实现了对实验网络拓扑的构造和可视化呈现，以及对虚拟网络设备的配置。
开发要点与主要创新	二次开发，为每个实验项目开发了对应基本技能、进阶技能以及创新活动等 Activity 库。	自主开发，在后台实现了虚实设备并存的测试网络，提供了远程构建与调整被测网络拓扑与设备的能力，在前台提供了虚拟桌面访问实验平台的功能。	自主开发，实现了硬件虚拟化服务端——路由交换互连引擎；并完成了该引擎其它虚拟主机、虚拟网络设备之间的桥接。	联合定制开发，针对第三方网络设备对硬件虚拟生成服务引擎进行了扩展；拓展了软件仿真客户端的可视化视图的类型。
已完成建设项目数量	50	23	201	28
涉及的课程或教学活动	计算机网络基础 TCP/IP 协议分析与设计 TCP/IP 协议分析课程设计 路由与交换 无线与移动网络技术	网络性能测试与分析 测试自动化 网络测试与优化综合实践	路由与交换技术 计算机网络安全 IP 统一通信技术 无线与移动网技术 数据中心与云计算 网络规划与设计 开放实验项目 职业资格认证 学生科技创新项目 网络工程专业技能竞赛	网络部署与实施综合实践 数据中心与云计算综合实践 网络规划与设计综合实践 网络工程创新技能开发训练 开放实验项目 职业资格认证 专业实习、毕业设计
使用方式	教师发布预先定制好的实验练习活动(Activity)，学生根据实验要求添加或修改设备类型、模块以及网络连接，对网络设备进行配置，最后验证其连通性，检查任务完成的进度和正确性	学生通过图形用户界面，运用相应的测试方法，控制物理层交换机远程进行被测网络拓扑的连接调整，配置测试仪表和被测设备，生成测试流量，收集与分析测试结果	课内实验部分，用于专业课程实验的课前预习和课后学练习的主要载体； 课外实践部分，网络互连实验平台是开放实验项目、职业资格认证、专业技能竞赛和学生科技创新项目等课外活动的主要支撑。	根据企业工程项目的需求与问题，运用该平台就方案设计或者部署该平台进行可行性验证，通过多次“设计->部署->验证->修正设计”的反复，确定符合用户需求的最优解决方案以及部署配置原型
使用效果	以直观、友好的人机界面改善了学生的实验体验，还针对网络工程的专业特点，进行了多用户协作、逐步调试以及对照自评等独有的教	基于以物理层交换机为核心的被测设备全互连结构，通过 Web 客户端灵活地定制被测实验网络的拓扑结构，远程进行各种不同的手	路由交换互连引擎创建虚拟网络的成本非常低，在同时支持多组实验方面具有巨大的潜力； 具有与真实设备有一致的	虚拟互连路由实验室引擎创建虚拟网络的成本极低； 实现了对大规模、跨厂商、多类型和混合特性网络设备的虚拟仿真

	学设计,吸引了学生浓厚的兴趣	工或自动化测试实验	交互体验、不受限制自主构建网络拓扑、随时保存当前实验进度	
--	----------------	-----------	------------------------------	--

四、项目资源的使用效果评价

1. 教学规模

虚拟中心已经建成的实验教学项目共 306 项,覆盖校内 7 个专业的多门课程。其中包括计算机科学与技术、信息管理与信息系统等 2 个专业两个年级的 6 门课程,通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、电气工程自动化等 4 个专业的 2 门课程,以及网络工程专业的 16 门课程和相关课外实践与创新活动。

虚拟中心自开放以来,年均有效注册的学生总数超过 900 人,面向校内学生年均开放人时数在 91950 左右,相当于网络工程实验教学分中心实体实验室开放总规模的 3 倍左右。此外,面向校外兄弟院校年均开放人时数约为 12000 左右,还先后多次承担多家 IT 企业的员工培训。

2. 学生培养成效

丰富的项目资源,虚实有机互动的教学模式有效促进了学生的工程实践能力培养。以网络工程专业学生为例,近年来在高层次网络技术大赛中屡屡获奖,如表 6 所示(附件 4-1);2012、2013、和 2014 届网络工程毕业生的职业工程师认证通过率达到了 80% 以上,如表 7 所示(附件 4-2),其中包括网络工程领域的顶级职业工程师资格认证。多名毕业生因为突出的工程实践能力被阿里巴巴、百度、阿尔卡特-朗讯、思博伦等知名 IT 企业聘为系统工程师(附件 4-3)。

表 6 网络技术大赛获奖名单

竞赛	奖项	获奖者
思科亚太区 2012 年 NetRiders 大学生网络技术大赛	冠军	张建、王正中
思科网院杯 2014 年度全国大学生网络技术大赛	一等奖	项克佩、邓熊、林伟
思科网院杯 2012 年度全国大学生网络技术大赛	冠军	张建、苏杰、王家乐
思科网院杯 2011 年度全国大学生网络技术大赛	冠军	徐明明、肖俊
思科网院杯 2011 年度全国大学生网络技术大赛	冠军	陈信泽、丁毅、郭龙
思科网院杯 2013 年度全国大学生网络技术大赛	二等奖	任彬、林敬安、叶冬冬
思科网院杯 2014 年度全国大学生网络技术大赛	三等奖	金轩伊、雷祥利、施伟文
思科网院杯 2013 年度全国大学生网络技术大赛	三等奖	姚成才、王贵、杨勇
思科网院杯 2010 年度全国大学生网络技术大赛	三等奖	朱海欢、钱旭北、施宗举
H3C 杯 2014 年全国大学生网络技术大赛	三等奖	刘昌信

表 7 职业资格认证统计

职业资格认证名称与等级	人次
思科认证互联网专家(CCIE)	11
华为认证互联网专家(HCIE)	1
VMware 认证虚拟化专家(VCP)	1
全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试—网络工程师	139
思科认证网络支撑工程师(CCNA)	83
思科认证网络资深工程师(CCNP)	
思博伦认证测试工程师(SCPT)	54

3. 成本节省分析

实体实验需要大量专用网络设备和软件投入，而虚拟仿真实验仅需要提供用于硬件虚拟、软件仿真实现的服务器、存储和相关的系统软件，而支持一个较大规模的实验项目所消耗计算资源（服务器、存储）量较低，因此可显著节省设备成本。

以“企业异地数据中心网络双活互连设计”实验项目为例进行评估，该实验项目的网络拓扑如图 6 所示，其中包含了数据中心交换机(NX-OS)、运营商核心路由器(IOS-XE)、企业边缘网络路由器(IOS-XR)以及防火墙(SRX)，共 13 台网络设备，若采用实体设备，投入成本不低于 300 万元。而在本平台中，通过硬件虚拟及软件仿真实现方式，后台只需要一个内存配额为 20GB、CPU 配额为 Intel L5639 的 4 核（主频 2.13GHz, 双线程）虚拟主机，各种虚拟设备消耗计算资源的平均值如表 8 所示。虚拟仿真实验所需的服务器投入不超过 5 万元，而且还有闲置的计算能力可以用于支持其它虚拟实验项目。

四年来，虚拟中心软硬件建设与开发总投入约 200 万元，**仅相当于网络工程实验教学分中心 900 万元总投资的 22%，却提供了相当于三个实体实验室投资规模的服务能力**，更重要的是提供了大量实体实验室设备所无法提供的大型综合设计性实验教学项目。

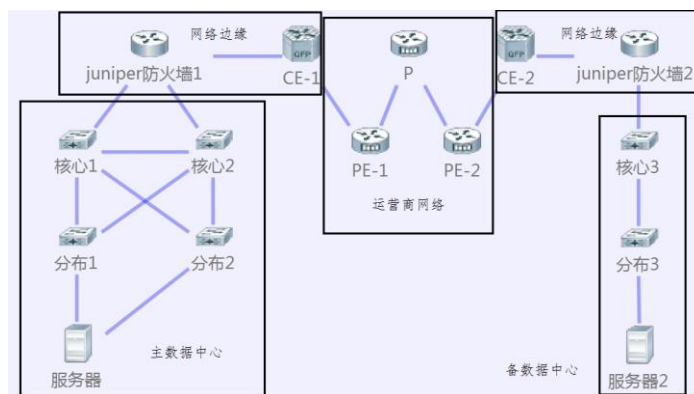


图 6 “异地数据中心网络双活互连设计”实验拓扑

表 8 VIRL 引擎的计算资源消耗

系统	类型	CPU 占用率	内存 占用率
IOSv	园区网路由器、交换机	13%	1.4%
XRv	运营商核心路由器	18%	1.2%
NX-OS	数据中心交换机	4%	4.9%
CSRv	企业边缘路由器	31%	13.4%
vSRX	Juniper 防火墙	35%	5.2%

2-4 虚拟仿真实验的教学平台（平台功能、信息化设备、网络与信息安全等）

一、 教学平台架构与功能

虚拟中心的教学平台分两部分：管理平台与技术平台。B/S 架构的管理平台提供虚拟仿真教学的门户网站、教学资源管理、教学信息管理等管理功能，并提供进入技术平台的用户入口；同时支持 B/S 和 C/S 架构的技术平台提供基于硬件虚拟、软件仿真、云计算平台支撑的虚拟仿真实验教学功能。

教学平台的建设体现了灵活性、健壮性、安全性、可扩展性与可管理性的要求：

- 灵活性：允许学生在任意地点使用任意设备的浏览器或客户端访问虚拟仿真实验服务；
- 健壮性：确保用户能够在任意时间无障碍地访问虚拟仿真实验服务；
- 安全性：保护平台中的内容与数据不受到非法用户的入侵与威胁；
- 可扩展性：确保系统能适应持续增长的教学项目、教学内容与用户规模扩张，以支撑校内外的广泛共享；
- 可管理性：云计算底层支持虚拟仿真实验教学的配置管理和过程管理。

1. 管理平台

管理平台完全由虚拟中心教师团队自主开发。图 7 给出了教学管理平台完整的功能三级列表。图 8 给出了管理平台为学生、教师和系统管理员、三类不同角色用户提供的主要功能。

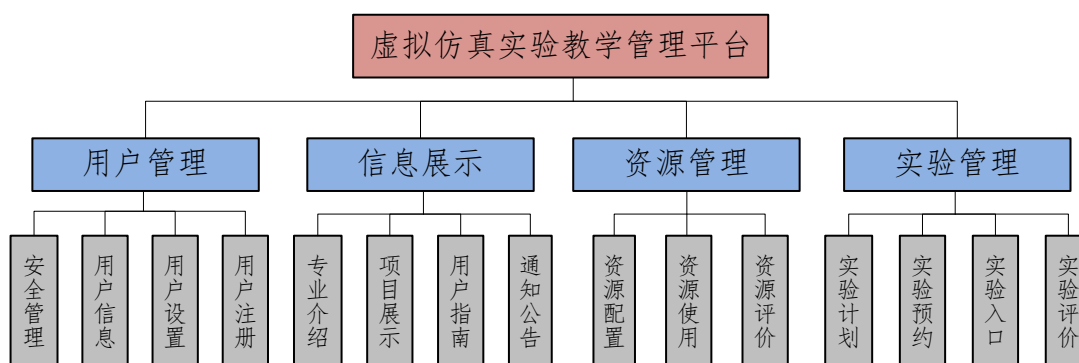


图 7 虚拟仿真实验教学管理平台功能框架

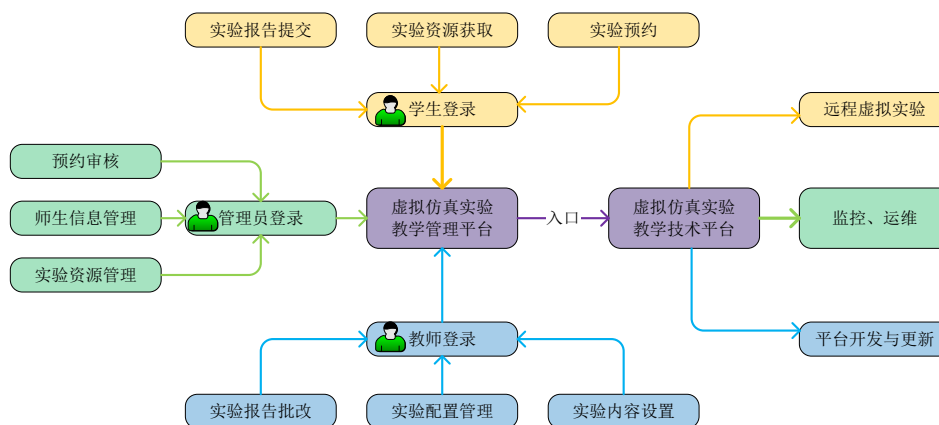


图 8 虚拟仿真实验教学管理平台的主要功能

2. 技术平台

虚拟中心技术平台由云平台基础设施、云平台运行维护、桌面云以及网络互连服务端等四大部分组成，图 9 给出了虚拟中心技术平台的基本架构。表 9 给出了各功能模块的作用、核心技术、实现途径。

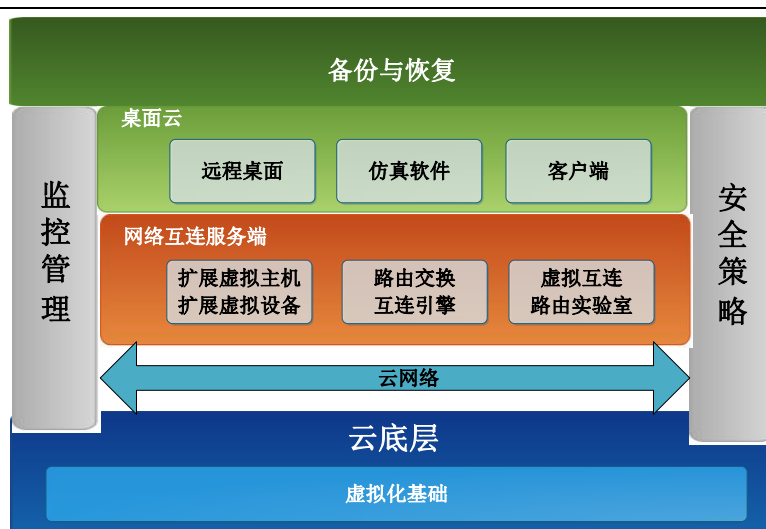


图 9 技术平台的体系结构

表 9 技术平台的功能模块

功能模块		作用	核心技术	实现途径与自主开发的内容
云平台基础设施	虚拟化基础	承载所有的虚拟主机，复用计算资源，提高利用率	主机虚拟 硬件虚拟	购买云计算套件，自主设计私有云的基础架构，并部署资源调度策略
	云底层	将所有计算资源抽象化、池化，实现实验计算资源的动态调度	云计算	
	云网络	提供虚拟数据中心的网络架构，实现教学平台之间的安全隔离和接入控制	网络虚拟化	
云平台运行维护	安全策略	对虚拟主机/设备操作系统和虚拟数据中心进行安全保护	网络安全	购买相应软件系统结合私有云基础架构自行进行安装与部署
	监控管理	监测虚拟主机的健康状况，分析数据并提供决策支持	主机虚拟	
	备份与恢复	对实验平台进行定期备份，根据需要进行恢复，保护其数据安全	数据备份	
桌面云	远程桌面	Windows 桌面的远程延伸，是所有实验开放共享的基础	虚拟桌面	购买虚拟桌面套件，结合云基础架构设计后自行设计与部署
	仿真软件	对网络协议和网络系统运行机理的模拟，提供友好的人机界面	软件仿真	思科公司免费提供，通过二次开发构建自有的 Activity 库
	客户端	图形用户界面的管理端，驱动服务端的互连引擎创建虚拟网络拓扑，并提供仿真的命令行终端	计算机软件	与思科公司联合定制开发，实现网络运行机理的多视图可视化

网络互连服务	扩展虚拟主机 扩展虚拟设备	不可以被路由交换互连引擎管理的网络服务器或网络设备	硬件虚拟	自主开发, 建立与互连引擎的桥梁
	路由交换互连引擎	将路由器和交换机硬件虚拟化, 按客户端驱动创建相应的虚拟网络设备运行实例, 形成虚拟的网络连接, 加载相应的操作系统。	硬件虚拟	自主开发, 实现自定义的虚拟路由交换实验网络核心
	综合互连引擎	将多种网络设备硬件虚拟化, 按客户端驱动创建相应的虚拟网络设备运行实例, 形成虚拟的网络连接, 加载相应的操作系统, 使用可视化服务绘制不同的网络视图	硬件虚拟 软件仿真	思科公司免费提供, 联合定制开发, 拓展第三方厂商设备的支持

专任教师和实验管理人员被赋予相应的管理权限后可以登陆平台进行实验内容的管理和实验环境的管理, 如图 10 所示; 学生使用技术平台的基本形式是使用浏览器访问桌面云环境登陆自己的私有桌面, 如图 11 所示。关于项目的使用说明详见附件 3-5。



图 10 技术平台管理界面

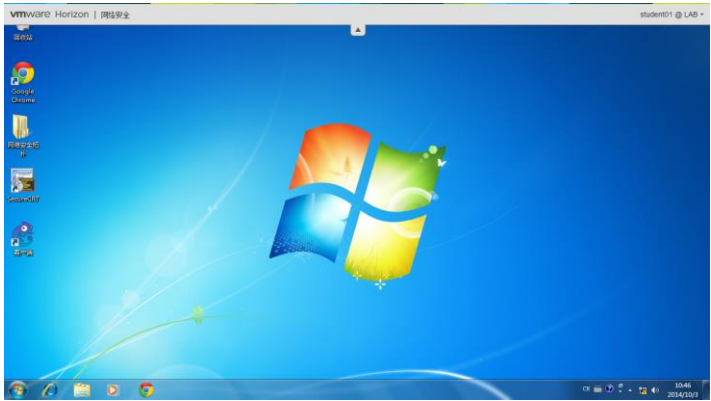


图 11 基于浏览器访问的虚拟桌面

二、信息化设备

1. 虚拟中心的信息化设备

虚拟中心采用的硬件虚拟、软件仿真、云平台支撑在计算机资源上实现主要依赖于服务器、存储设备等硬件设备和云计算套件等软件。表 10 给出了相关的服务器与存

储设备列表，表 11 给出了相应的软件清单。依托这些设备与软件，已经形成由 16 颗 Intel E5 2609v3 CPU、内存总量 2TB、存储总量 16TB 组成的高性能数据中心，为虚拟仿真实验教学的运作提供了充足的保障。

表 10 计算资源清单

序号	设备名称	品牌	型号	规格	数量	金额 (万元)
1	服务器	惠普	DL388G7	2*E5645/4*4G/3*300G	2	8.6
2	服务器	惠普	DL388G7	2*E564916*4G/3*300G	2	10.6
3	服务器	惠普	DL180G6	2*L5639*16G/3*500G	4	13.6
4	服务器	惠普	DL360G7	E5620*2/300G SAS*4/2GB*8	1	3.3
5	存储	华为	S2600	2*2TB	2	18
6	机柜	思科	UCS 5108	8*10Gb 端口	2	6.7
7	服务器刀片	思科	UCS B200M4-S	2*E5 2609v3, 256GB, 2*300GB	8	31.1
8	线路交换机	思科	UCS 6248UP	6*SFP+端口, 带二层子卡	2	5
9	汇聚层交换机	思科	Nexus 5548UP	4*SFP+端口, 16 端口、三层模块	2	23.1
10	接入层交换机	思科	Nexus 2248TP-E	8*10Gb 扩展端口	2	5.1
11	核心层交换机	思科	Nexus 7004	三层以及二层子卡, 24 端口	1	26.8
12	存储	NetApp	FAS2250	6GB 缓存, 24*600GB 10K SAS	1	20.6
13	存储交换机	思科	MDS 9148	16*4Gb 的 SFP 端口	2	2.8
合计						175.3

表 11 云计算软件套件清单

名称	品牌	版本	功能	金额 (万元)
vSphere	VMWare	标准版	服务器虚拟化	4.4
vCops	VMWare	标准版	管理与监控	2.5
vCloud	VMWare	标准版	私有云	18.8
backup & replication	Veeam	标准版	容灾备份	6.2
Micro Deep Security	Trend	标准版	信息安全	4.8
合计				36.7

2. 温州大学校园网的信息化条件

到 2013 年底，温州大学完成三个校区间的网络千兆互联，形成了一个双核千兆主干、千兆到楼宇、百兆到桌面的校园网络体系，完成学生宿舍共 3 万余个信息点的宽带网络建设。校园网主控机房拥有服务器 136 台，其中刀片服务器 30 台，存储系统 5 套，容量共计 54TB。

虚拟中心通过 2Gbps 带宽光纤从中心机房所在楼层通过连接到大楼交换机，大楼交换机通过 10Gbps 带宽的光纤连接至温州大学校园网核心，校园网出口链路达到 6.01G 带宽网络带宽，完全能够满足校内外用户对虚拟中心的网络访问需求。

三、网络与信息安全

1. 教学管理平台安全设计

在管理平台的设计上制定了两个层面的安全策略。

(1) 应用程序层面安全策略：用户登录本平台时，要求提供用户名和密码，实现对用户身份验证，平台支持 **LDAP** 等方式的统一身份认证机制；

(2) 业务层面安全策略：平台采用按角色授权机制，提供全方位、多角度的授权机制，用户角色变化则权限自动调整，无须人工干预。

2. 教学技术平台安全设计

技术平台的安全设计主要包括两个方面：云底层内在的安全特性、部署云安全软件与策略。

云底层从多个方面为信息安全进行了特殊设计：

- 通过网络虚拟化将技术平台与边界保护、端口级防火墙以及 **NAT** 和 **DHCP** 服务等技术集成，支持虚拟化的安全保护，简化应用部署并满足合规性标准；
- 支持单点登陆以简化管理，用户只需登录一次，即可访问所有实例，而无需再进行身份验证；
- 将用户分组到可代表任何策略组的各个组织中，如课程责任教师、开发人员或学生等。使每个组织能够拥有隔离的虚拟资源、独立的 **LDAP** 身份验证机制、特定的策略控制以及独有的目录；
- 可让不同用户在技术平台中具有不同功能访问级别的模型来实现授权使用，设置配额、租约和限制以防止超出规定边界的使用情况。

云安全软件是一种在虚拟化、云计算平台上实现统一安全性的服务器和应用程序防护软件。它帮助预防针对虚拟主机操作系统和应用程序漏洞的非法入侵，监控系统的完整性，并集中管理风险日志。它可以保护虚拟仿真实验教学技术平台中处于运行和休眠状态的虚拟主机，同时提供集中的控管平台，获得最大化的性能和操作灵活性。

3. 校园网安全保障

温州大学校园网中心选用路由器对 **Internet** 与校园网进行隔离，用来加强网络之间的访问控制，防止网络外部用户以非法手段访问内部网络资源，在出口路由器进行 **NAT** 转换，并实现 **VPN** 的功能，使用路由器来实现校园网内外的数据包过滤。

校园网中心利用防火墙实现了虚拟仿真实验教学中心服务器群的保护，其中关键服务器放在 **DMZ** 区与内网进行有效隔离。通过防火墙的边界整体防护，提高中心的安全级别，做到了高效的黑客入侵防护。既保护内网资源不被外部非授权用户非法访问或破坏，也能够对发生在网络中的安全事件进行跟踪和审计。

校园网中心在内网核心交换机上部署了网络入侵检测系统，用于监控内部服务器区、**Internet** 出口线路。通过实时截获网络数据流，能够识别、记录入侵和破坏性代码流，寻找网络违规模式和未授权的网络访问尝试。当发现网络违规模式和未授权的网络访问时，入侵检测系统能够根据系统安全策略做出反应，包括实时报警、事件登录，自动阻断通信连接或执行用户自定义的安全策略等。对于那些经常出现攻击行为的 **IP** 地址，则将其加入系统黑名单，拒绝这些 **IP** 地址访问非授权网络和应用。

2-5 合作企业的概况、参与程度和合作成果

依托校企合作、产学深度联动实施工程应用型人才培养是温州大学网络工程专业的办学特色，并因此积累了丰富的优质企业资源。虚拟中心建设主要选择了三家行业领军企业进行了合作(附件 2-3、2-4)。

1. 思科系统（中国）网络技术有限公司

该公司是全球领先的互联网解决方案供应商，行业排名第一。与我校的合作有着长达 12 年的历史，涉及网络互连领域的课程共建、工程化师资队伍建设、实验室与实践教育基地建设。

本次虚拟中心建设中，双方的主要合作内容包括了虚拟仿真教学技术平台的建设、实验教学项目的建设，该公司的主要贡献在于免费提供了网络仿真软件 PacketTracer、虚拟互连路由实验室（VIRL）引擎、提供了大量网络互连工程案例作为虚拟实验教学项目的原始素材，以及与派出研发工程师参与 VIRL 引擎对第三方厂商设备支持的拓展开发。

在后续建设中，双方将着重于继续深入拓展 VIRL 引擎对包括华三、华为等公司在内的第三方网络厂商的路由器、交换机和防火墙等主流网络设备的硬件虚拟的支持，以及与一线支持工程师合作开发更丰富的实践教学项目。

2. 思博伦通信科技（北京）有限公司

该公司是通信测试技术和相关设备的供应商，在以太网测试市场全球排名第一。与我校有着长达 7 年的合作历史，涉及网络测试领域的课程共建、工程化师资队伍建设、实验室与实践教育基地建设。双方合作完成的“网络性能测试与分析”课程与教材填补了国内同类课程与教材的空白。

本次虚拟中心建设中，双方的主要合作内容包括虚拟仿真教学技术平台的建设、实验教学项目的建设，该公司的主要贡献在于免费提供了 iTest、iLO 和 iTE 等网络性能测试系统的软件组件（虚拟主机形态），提供了大量网络性能测试的工程案例作为虚拟实验教学项目的原始素材。

在后续建设中，双方将着重于建设测试自动化的虚拟实验教学平台，扩大网络测试自动化虚拟教学资源建设。

3. 思杰系统信息技术（北京）有限公司

该公司是全球领先的应用交付基础架构解决方案提供商，在桌面虚拟化行业排名第一。与我校的合作有着长达 4 年的历史，涉及课程共建、工程化师资队伍建设、实验室与实践教育基地建设。双方共建的“温州大学思杰 IT 学院”是我国首个虚拟化与云计算领域的校企合作教学项目。

本次虚拟中心建设中，双方的主要合作内容包括虚拟仿真教学技术平台的建设、实验室教学项目的建设，该公司的主要贡献在于免费提供了 XenDesktop、XenApp 等虚拟桌面软件，免费提供了服务器虚拟化、桌面与应用虚拟化实验练习环境（软件），以及提供了大量数据中心虚拟化和桌面虚拟化的工程案例。

在后续建设中，双方着重于联合开发云底层平台的自助编排、自动化管理系统，提升云平台的管理智能。

表 12 给出了三家公司参与虚拟仿真实验教学中心建设的基本情况。

表 12 产学研合作共建虚拟仿真实验教学中心

公司名称	思科	思博伦	思杰
研发工程师 加盟开发队伍	6 人	3 人	2 人
提供实际工程 项□案例	24 项	6 项	4 项
免费提供的软件	仿真软件 PacketTracer 综合互连引□VIRL	性能测试虚拟主机 iTest、iLO、iTE	桌面、应用虚拟化 XenDesktop、XenApp
参与虚拟中心 技术架构的设计	√	√	√
未来合作计划	联合定制开发以拓展 VIRL 对更多第三方设备 的支持	合建与物理设备无 关的测试自动化虚 拟实验平台	联合开发，提升云底层 管理智能

2-6 虚拟仿真实验教学和管理队伍

一、教师队伍结构

依托多元协同，虚拟中心建立了一支由 22 位专业教师、4 位实验室管理人员、11 位企业高管与工程师共同组成的虚拟实验教学与管理队伍，承担虚拟中心相关的教学与研究、建设与开发、运行与维护工作。其中，高级职称 21 人，博士学位 14 人。图 12 给出了教师队伍的来源结构与比例，图 13 给出了专职教师与实验室管理人员的职称与学位构成。表 13、表 14 和表 15 分别给出了三类人员的详细信息。

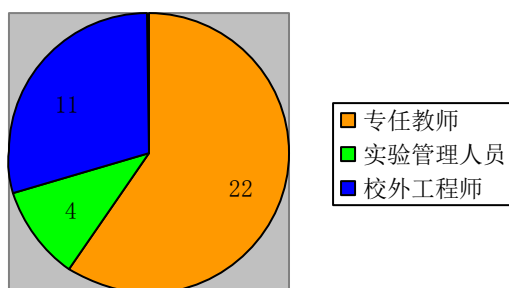


图 12 中心教学与管理队伍的组成结构

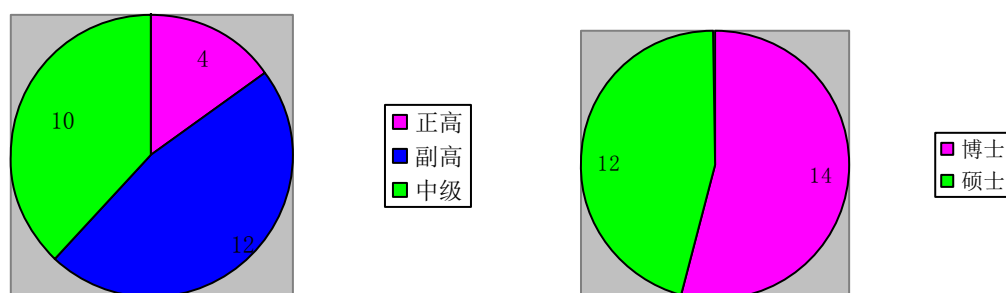


图 13 教师队伍的职称与学位组成

表 13 专业教师列表

序号	姓名	性别	出生年月	学位	毕业学校	职称	职责
1	施晓秋	女	1964 年 9 月	硕士	浙江大学	教授	计算机实验教学示范 中心主任 虚拟中心主任 网络工程专业负责人
2	刘军	男	1975 年 9 月	博士	中山大学	副教授	虚拟中心执行主任 课外实践与创新教学 责任教师
3	李怀忠	男	1964 年 1 月	博士	Newcastle 大学	教授	课程责任教师
4	刘文斌	男	1969 年 6 月	博士	华中科技大学	教授	课程责任教师
5	林川	女	1965 年 4 月	硕士	北京邮电大学	副教授	课程责任教师
6	唐震洲	男	1978 年 10 月	硕士	浙江大学	副教授	课程责任教师
7	童长飞	男	1980 年 12 月	博士	浙江大学	副教授	课程责任教师
8	徐玉	男	1982 年 1 月	博士	浙江大学	副教授	课程责任教师
9	金可仲	男	1979 年 6 月	硕士	浙江工业大学	讲师	课程责任教师
10	曾令华	男	1968 年 8 月	硕士	南京工业大学	讲师	课程责任教师
11	李昌	男	1973 年 6 月	硕士	北京邮电大学	讲师	课程责任教师
12	阮秀凯	男	1979 年 9 月	博士	南京邮电大学	副教授	课程责任教师
13	刘桂	男	1975 年 5 月	博士	武汉大学	副教授	课程责任教师
14	赵汉理	男	1982 年 9 月	博士	浙江大学	副教授	课程责任教师
15	陈慧灵	男	1983 年 4 月	博士	吉林大学	副教授	课程责任教师
16	吴承文	男	1974 年 12 月	博士	浙江大学	讲师	课程责任教师
17	李俊	男	1982 年 10 月	博士	浙江大学	副教授	课程责任教师
18	徐赢颖	女	1987 年 1 月	博士	北京交通大学	讲师	课程责任教师
19	李益明	男	1969 年 6 月	博士	武汉理工大学	教授	现代教育中心主任
20	姚渺波	男	1976 年 9 月	硕士	浙江工业大学	讲师	现代教育中心网络安 全负责人
21	励龙昌	男	1966 年 1 月	博士	北京林业大学	副教授	教学技术平台开发负 责人
22	叶晓丰	男	1973 年 12 月	硕士	杭州电子科技 大学	讲师	教学管理平台开发负 责人

表 14 实验技术人员列表

序号	姓名	性别	出生年月	学位	毕业学校	职称	职责
1	黄长城	男	1963 年 10 月	硕士	华东化工学院	高工	教学平台管理
2	黄海隆	男	1979 年 8 月	硕士	杭州电子科技大学	实验师	教学平台管理
3	黄辉	男	1982 年 3 月	硕士	浙江工业大学	实验师	设备管理
4	厉旭杰	男	1981 年 9 月	硕士	宁波大学	实验师	设备管理

表 15 参与的校外工程师列表

序号	姓名	就职企业	职业认证/技术	职业工程师年限	参与的中心建设工作
1	宁琛	思科系统公司	CCIE、系统工程师	15	中心架构、项目库建设
2	胡波	思博伦通信公司	SCPE、技术事业部主管	13	中心架构、项目库建设
3	李少猷	思杰公司	培训工程师	13	中心架构、项目库建设
4	田宁一	思杰公司	培训工程师	12	项目库建设
5	田波	思科系统公司	CCIE、系统工程师	10	中心架构、项目库建设
6	傅儒松	思科系统公司	系统工程师	9	项目库建设
7	谢靖	思博伦通信公司	SCPE、测试工程师	9	项目库建设
8	涂怀年	思科系统公司	CCNP、系统工程师	8	项目库建设
9	武勇	思博伦通信公司	SCPE、测试工程师	8	项目库建设
10	许华俊	思科系统公司	系统工程师	7	项目库建设
11	章瑜	思科系统公司	系统工程师	7	项目库建设

二、教师水平

1. 教师队伍教学成果

紧密围绕网络工程应用型人才培养，以专业、课程、教材和实践教学建设中的核心问题为主题进行了系统深入的教学研究与改革实践，为虚拟实验中心的教学建设提供了有力支撑。表 16 给出了教师队伍近年来主持的省级以上（含）教学成果与教学项目（附件 5）。

表 16 主持的省部级以上(含)教学成果与教学项目

序号	类别	项目名称	成果或项目来源	时间
1	教学成果	产学深度联动的网络工程应用型人才培养探索与实践	浙江省高等教育教学成果一等奖	2014. 09
2		计算机网络教学改革的研究与实践	浙江省高等教育教学成果一等奖	2004. 09
3	专业建设	网络工程（专业）	国家专业综合改革试点专业	2013. 06
4		网络工程（专业）	教育部“卓越工程师教育培养计划”试点专业	2011. 09
5		网络工程（专业）	浙江省教育厅，浙江省本科院校“十二五”优势专业	2012. 05
6	课程建设	计算机网络基础（课程）	国家精品资源共享课程	2013. 12

7	设	计算机网络（课程）	浙江省精品课程	2009.09
8	教学研究 与改革	依托产学合作的地方本科院校工程应用型人才培养模式改革	浙江省教育厅,浙江省教育改革和开放试点项目	2011.05
9		面向应用型人才培养的计算机网络实践教学体系的改革与创新	浙江省教育厅,浙江省新世纪高等教育教学改革项目	2007.08
10		基于企业生态系统的分布式工程实践教育中心建设模式探索与实践	浙江省教育厅,浙江省高等教育教学改革项目	2013.01
11		面向卓越工程师培养的产学三级联动实践教学模式的研究与实践——以网络工程为例	浙江省教育厅,浙江省新世纪高等教育教学改革项目	2010.08
12		基于虚拟化的网络工程综合实践平台建设	浙江省高校实验室工作研究重点项目	2013.06
13		网络工程师和网络架构师为目标的网络工程应用型人才培养模式研究	“十一五”国家教育科学规划重大课题子项目	2009.05
14		计算机网络技术(教材)	教育部,普通高等教育“十一五”国家级本科规划教材	2006.08
15	教材	计算机网络技术(教材)	教育部,普通高等教育“十二五”国家级本科规划教材	2012.05
16		网络工程实践教程(教材)	浙江省高校重点建设教材	2012.05
17		计算机网络实训(教材)	浙江省高校重点建设教材	2004.07
18		网络性能测试与分析(教材)	浙江省高校重点建设教材	2009.11
19		网络互连技术(教材)	浙江省高校重点建设教材	2011.02
20		无线与移动网技术(教材)	浙江省高校重点建设教材	2011.02
21	实验示范中心	计算机实验教学中心	浙江省实验教学示范中心建设项目	2010.12
22	实验室建设	“虚拟化与云计算”实验室	浙江省提高地方高校办学水平专项项目	2013.11

2. 教师队伍科研成果

以温州大学计算机科学与技术一级学科硕士点为依托,教师队伍具有较强的科研与开发能力。近年来,虚拟中心教师团队所承担的省部级以上(含)科研项目 19 项,如表 17 所示,到位科研经费 413 万元。依托教学与科研的协同,将科研方法与开发经验运用于虚拟中心建设,将部分科研成果转化为虚拟实验教学项目,现有约 20%的综合性、设计性实验项目来自于此。

表 17 主持的省级及以上科研项目

序号	项目名称	项目编号	作者	项目来源	立项年份
----	------	------	----	------	------

1	基于非同步的大规模无线自组织网动态包时延测量理论与关键技术	61373166	李怀忠	国家基金面上项目	2013
2	概率布尔网络长程相关性的相关理论及应用研究	61272018	刘文斌	国家基金面上项目	2012
3	基于迭代测距整合的无线网络定位与可定位性研究	60970118	施晓秋	国家基金面上项目	2008
4	自适应的基于分布式索引缓存的无结构P2P快速搜索算法的研究	60573140	施晓秋	国家基金面上项目	2006
5	服务生态网络中服务协同的可信性机制与关键技术研究	61402337	李俊	国家基金青年项目	2014
6	抗射频非规则传播影响的三维无线传感器网络无人飞行器辅助定位方法	61303211	徐玉	国家基金青年项目	2013
7	无线多跳网络中基于网络编码的新型汇播机制研究	61303210	唐震洲	国家基金青年项目	2013
8	面向医学诊断的智能决策新方法研究	61303113	陈慧灵	国家基金青年项目	2013
9	图像与视频的纹理风格迁移关键技术研究	61100146	赵汉理	国家基金青年项目	2011
10	突发短帧信号直接盲检测的储备池计算方法	61201426	阮秀凯	国家基金青年项目	2011
11	复杂生物网络集中的频繁模式挖掘技术研究	R1110261	刘文斌	省基金一般项目	2011
12	大数据的海量字符数据处理算法及关键技术研究	Y13F020104	吴承文	省基金青年项目	2013
13	服务网络中服务的可信机制与算法研究	Q13F020036	李俊	省基金青年项目	2013
14	基于数据驱动的公交网络性能监测及影响因素分析	Q13G010025	童长飞	省基金青年项目	2013
15	自主飞行信标节点辅助的无线传感器网络分布式三维定位算法研究	Q13F020035	徐玉	省基金青年项目	2013
16	基于点云采样逼近的三维模型布尔运算加速算法研究	LQ12F02010	黄辉	省基金青年项目	2012
17	交互式纹理风格迁移技术研究	Y1110004	赵汉理	省基金青年项目	2011
18	超宽带室内无线精确定位关键技术及装备研发	2012C21048	吴承文	省科技计划项目	2012
19	多汇聚大规模无线传感器网络子域管理关键技术的研究	2011C31029	唐震洲	省科技计划项目	2011

三、虚拟仿真实验教学与研发水平

虚拟仿真实验中心教学团队主要来自温州大学网络工程专业教学团队，并吸纳部分合作企业工程师。由他们承担虚拟实验教学研究、资源开发、教学实施与教学评价等工作，从教学、研究和工程能力等不同侧面保障了虚拟实验教学与教学资源开发的水平。该团队对地方本科院校网络工程应用型人才培养有着深刻的理解与丰富的教学

基础，先期已经通过所承担的两项浙江省高等教育教学改革项目“面向应用型人才培养的计算机网络实践教学体系的改革与创新”、“面向卓越工程师培养的产学三级联动实践教学模式的研究与实践—以网络工程为例”，建立了面向地方院校网络工程应用型人才培养的网络工程实践教学体系，其相关内容还被《网络工程专业规范（建议稿）》所采纳；先期所出版的三部实践教材《网络工程实践教程》、《计算机网络实训》、《网络性能测试与分析》（注：均为浙江省高校重点建设教材）已经被全国 150 多所院校所使用；来自合作企业的工程师拥有丰富的工程实践经验与工程案例资源。

虚拟中心的技术平台开发团队由实验室专业技术人员、部分企业工程师和专业教师组成，由于得天独厚的计算机学科背景，他们都是网络技术、虚拟化技术或云计算技术方面的行家，所开发的教学平台有以下特点或优势：

1. **虚实网络互连**。路由与交换互连引擎以及综合互连引擎所生成的虚拟网络中的任何位置都能通过桥接与现有实体网络进行连接，引入暂时无法硬件虚拟化的网络设备，例如 IP 电话和无线 AP 等，以满足相应的实验需求；
2. **编排自动化**。自主开发的路由与交换互连引擎可以根据图形用户界面的编排自动创建多个虚拟网络设备的运行实例，指定其设备类型，自动为其分配所需的计算资源，自动完成相关虚拟接口之间的映射，加载相应的操作系统映像。
3. **调度与管理自动化**。通过嵌套虚拟化，将四个实验教学模块的虚拟桌面、互连引擎以及其它扩展虚拟主机/设备以虚拟数据中心的形式封装于共同的云底层平台，不仅实现了计算资源的统一动态调度，还实现了平台的统一管理。

2-7 虚拟仿真实验教学中心的管理体系（组织保障、制度保障、管理规范等）

一、组织保障

1. 学校针对虚拟仿真实验教学的组织建设

学校积极推进虚拟实验教学中心的建设，成立了“温州大学虚拟仿真实验教学中心工作指导委员会”（附件 1），制度了委员会的工作章程。该委员会不定期召开虚拟仿真实验教学相关的工作会议。

2. 虚拟中心的组织机构

虚拟中心作为一个由学校教务处和温州大学计算机实验示范中心共同管理的一个教学实体，如图 14 所示，学校任命了计算机实验教学中心主任兼任虚拟仿真实验教学中心的主任。中心实行主任负责制，由实验教学中心主任会同网络工程专业负责人、计算机实验教学示范中心主任和相关课程的任课教师，制定中心的发展规划、教师队伍建设、新技术应用，和各相关课程的虚拟实验教学项目建设。并根据用户（本校学生、外校学生、培训人员）的应用反馈，改进中心的各项工作。

同时，中心任命了一名专门的执行主任，负责中心的技术开发和日常运行管理工作。中心执行主任刘军博士（副教授），毕业于中山大学通信与信息系统专业，拥有 CCIE-DC（思科认证数据中心专家）、VCP-DV（VMware 认证数据中心虚拟化专家）、VCP-Cloud（VMware 认证云计算专家）、CCSI（思科认证系统讲师）、CCAI（思科网络学院认证讲师-CCNP）等资质与认证，在虚拟化与云计算方面具有很强的设计与开发能力。

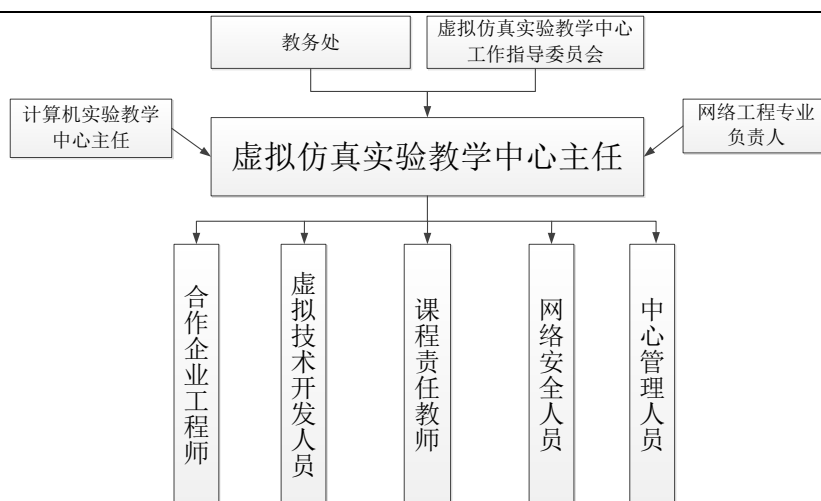


图 14 实验教学中心组织机构

二、中心制度全面、管理规范

为了切实保障实验教学建设，提高实验实践教学质量，学校制订并实施了完备的管理制度与规范。为促进虚拟仿真实验教学工作，学校还于 2012 年专门推出了《温州大学关于推进虚拟实验教学中心建设的实施意见》，针对虚拟仿真实验教学特点制订了专门的管理规范，包括《温州大学虚拟仿真实验室建设工作指导委员会章程》、《温州大学虚拟仿真实验教学实验室（中心）管理办法》、《温州大学虚拟仿真实验室校企合作管理规定》，全面推进虚拟仿真实验中心的建设。

学校制定的相关制度与规范的文件如下(附件 7)：

- (1) 温州大学实验室工作委员会章程
- (2) 温州大学实验教学管理规程
- (3) 温州大学实验室开放管理办法
- (4) 温州大学实验技术岗位设置与管理实施细则
- (5) 温州大学实验室工作人员岗位职责
- (6) 温州大学实验教学中心学生实验守则
- (7) 温州大学仪器设备管理办法
- (8) 温州大学大型贵重精密仪器设备开放共享管理办法
- (9) 温州大学低值易耗品管理办法
- (10) 温州大学低值耐用品管理办法
- (11) 温州大学实验教学实验室绩效考核办法
- (12) 温州大学实验室基本信息收集整理制度
- (13) 温州大学实验室工作档案管理制度
- (14) 温州大学实验课教学质量评分表
- (15) 温州大学实验室安全管理规定
- (16) 温州大学关于推进虚拟仿真实验教学中心建设的实施意见
- (17) 温州大学虚拟仿真实验室建设工作指导委员会章程
- (18) 温州大学虚拟仿真实验室校企合作管理规定
- (19) 温州大学虚拟仿真实验教学实验室（中心）管理办法

2-8 虚拟仿真实验教学中心的特色与创新

针对虚拟仿真教学特点，形成了“学生发展为中心、工程应用为特色、先进技术作支撑、多元协同搭平台、虚实互动增成效、开放共享促辐射”的良好建设格局。主要的特色与创新在于：

1. **建立了硬件虚拟、软件仿真、云平台支撑，实验教学功能与特性丰富的网络工程虚拟实验教学平台。**以低成本实现了对实体实验室的扩展与补充，系统具有较高的可用性、可扩展性、安全性和灵活性。自主开发了虚拟中心技术平台中的核心功能部件，包括路由交换互连引擎、虚拟互连网实验室引擎的第三方设备支持扩展、Activity（教学活动）库等，以及利用私有云技术构建虚拟仿真实验教学底层平台，均具有很大的创新性。
2. **建立并实施了学生主角、虚实互动的虚拟仿真实验教学模式。**面向学生实践能力培养全过程，融合课内与课外教学，实现了随时随地自主学习与个性化学习，学生实践能力提升成效显著；吸纳学生参与项目库建设、平台使用效果评价、平台开发与改进，多方位支撑了学生中心教学理念的落地。
3. **实现了多元协同的虚拟中心建设模式。**引入优质企业资源参与中心建设，强化了中心建设的工程应用内涵与特色；依托校企协同、教学与科研协同、教学研究与教学实践协同，建立了一支教学与研究、开发与管理并举的虚拟仿真实验教学与管理队伍。
4. **实现了面向校内外开放共享的虚拟中心运行模式。**充分考虑了兄弟院校相关专业的资源共享需求，提供了面向校外开放的运行机制。以云计算技术为支撑，不仅提供了基于统一调度和自动化编排的大规模共享能力；更为重要的是为其他院校提供了零成本的共享服务，所有共享该平台的其他院校均无需任何的设备投入、开发投入与运维投入，大大增强了虚拟中心的示范与辐射作用。

3. 资源共享

3-1 目前教学资源共享的范围和效果

一、校内共享

每年有网络工程专业的约 200 名学生通过本平台进行相关的实验教学活动，同时该中心还向开设有“计算机网络”课程的其他 6 个专业开放，年受益学生 900 人左右。两类合计，虚拟中心年人时数达 91950 以上。

虚拟实验教学平台的开通，使得学生中心的教学理念得到了更好的落地与体现，平台提供了 365 天每天 24 小时的全天候开放，学生使用自己的校园 ID 可随时、随地，使用台式 PC 机、笔记本电脑、手持 PAD 等智能设备访问平台，进行远程在线实验，并保存实验状态与结果。学生可根据自己的学习兴趣与节奏，选择个性化的学习内容、创建自己的私有项目库，自主选择学习时间与学习地点；还可在学习过程中，通过网络连线，寻求教师和企业工程师的在线帮助；即使学生在企业进行实习与毕业设计，也可随时随地使用该平台相关的建模、设计与验证工作。学生自主创建的优秀项目，通过自主推荐、教师审核筛选的方式进入平台的公有项目资源库，为其他学生所共享；学生还通过座谈会、意见箱、邮件与当面交流等方式，就平台的应用体验与改进提出了意见与建议。

二、校外共享

院校层面，迄今共有北京工业大学、湖南人文科技学院、许昌学院等 11 所高校无偿使用了中心平台进行相关的实验教学活动，年均使用 12000 人时。此外，思博伦通信、浙江豪联、浙江索思等 9 家企业使用了该平台进行员工远程培训。

虚拟中心的校外开放，为我校网络工程专业的教学成果推广与优质教学资源的校外共享提供了新的途径与载体，进一步提升了该专业作为国家专业综合改革试点专业的辐射力。

企业层面，合作企业工程师通过注册相应账号获得访问本平台的权限，开展了企业内部的员工技术培训，也有工程师利用将该平台用于其工程项目技术解决方案的前期建模与快速验证。

3-2 进一步实现共享的计划与安排

一、进一步拓宽资源共享的渠道

近年来，我校网络工程专业通过承办全国性计算机教学会议(附件 6-5)、承担全国性教师培训、精品课程与教材共享等方式，已经与国内近 100 家地方院校的网络专业建立了联系。因此，将首先在这个范围内，向更多的院校发出共享邀请；

其次，今年 9 月，在教育部计算机类专业教指委和全国高等学校计算机教育研究会联合推出的“高校计算机类专业应用技术型人才培养研究”工作中，我校被指定为网络工程专业的组长单位，该项工作中包括了实验教学与资源建设及推广的内容，因此，下步将借此工作，重点拓展一批地方新建本科院校。

二、进一步优化资源共享的内涵与深度

首先，通过校际协同，提高虚拟仿真实验教学资源的针对性。将针对两类不同层

次地方本科院校的需要，进一步细化实验教学资源的建设，提供更加个性化的教学资源。对于新建本科学校，重点提供更丰富、更细腻的基本实验教学资源；对于办学历史相对较长的本科院校，主要扩大实体实验室无法完成的综合性、创新性、设计性实验教学资源。

其次，通过扩大校企合作，在目前已经能够支持的主流厂商及其设备之外，与 H3C、华为等知名企业合作，将它们的网络设备通过硬件虚拟化引入到本平台，拓展本平台所能支持的主流厂商数量；另外，进一步深化与思科系统等相关企业的合作，将虚拟仿真实验教学环境的建设作为正在建设的网络工程分布式工程实践教育中心的重要组成部分。

三、进一步提升平台的共享能力

持续加大对实验教学平台的投入，提高实验内容编排的自动化和实验教学管理的智能化水平，进一步加强云底层平台的建设，分期逐级加大虚拟仿真实验开放的规模。计划在一年内，将云底层由私有云环境迁移至校园网计算中心；在二至三年内，根据发展情况租用相应规模的公有云资源，建成基于混合云的虚拟仿真实验教学技术平台。

四、进一步提供丰富多样的增值服务

根据需要，为共享教学平台的院校教师提供必要的教师培训；进一步完善平台使用指南和实验手册，提供使用指引相关的视频下载，设置专门的 Q&A 线上线下交流平台，提高用户对实验教学平台的使用能力。

在国家资源共享课程《计算机网络基础》的“爱课程网”平台上，提供到本虚拟教学中心的访问链接；在“十二五”国家重点教材《计算机网络技术》、省重点教材《网络性能测试与分析》、《无线与移动网技术》、《网络工程实践教程》等理论与实践教材中，提供到本平台的访问网址与访问账号，方便课程学习者和教材使用者本虚拟中心的教学资源。

4. 条件保障

4-1 基础条件（仪器设备配置情况、环境与安全、运行与维护等）

一、仪器设备配置情况

本虚拟中心所依托的网络工程实验教学分中心所拥有的专业仪器设备清单如表 18 所示。分中心每年均投入一定的经费用于仪器设备的更新改造，保证每年 20%的仪器设备更新。实验设备采用集中管理、统筹调配的方式实现资源共享，跟踪设备的运行使用情况，杜绝了实验设备重复购置和闲置现象。实验室设备、系统软件和环境维护有专项经费，能够确保设备完好。所有的实验系统软件能够随时升级，实验数据能够得到充分备份与及时更新。

表 18 网络工程实验教学分中心仪器设备清单

序号	名称	台套数	价值(万元)
1	路由器, CISC02911/K9	6	16.8
2	路由器, CISC02811-SEC/K9, 2811 Security Bundle Adv Security 64F/256D	22	38.5
3	路由器, CISC02811-2811 W/AC, 2811W/AC PWR 2FE 4HWICs 2PVDMs 1NME 64F/256D	14	23.8
4	路由器, CISC02821-2821 W/AC, 2821PWR 2GE 4HWICs 3PVDM 1NME_X 2AIM 64F/256D	8	15.76
5	路由器, CISC02600	28	57.96
6	交换机, CISCO WS-C35 60G-24 TS-S	2	5.3
7	交换机, WS-C3560-24Ts-S, 三层 Catalyst 3560 24 10/100 +2SFP Standard Image	16	15.52
8	交换机, WS-C2960-24TT-L, 二层 Catalyst2960 24 10/100+2 1000BTLAN Base Image	28	14.28
9	光电交换机, Cisco3524XL	2	3.7
10	光电交换机, Cisco2912A	10	9.2
11	光电交换机, CiscoDES1008	9	1.26
12	交换机, Cisco2950G-24	1	1.29
13	交换机, Cisco2950-24	19	9.88
14	交换机, 华为 3ComH3CE1	8	3.12
15	无线网络接入点, AIR-LAP1252AG-A-K9, 802.11a/g/n-d2.0 2.4/5-GHz Mod unified AP 6RP-TNC	24	12.72
16	无线网络接入点, AIR-LAP1522AG-C-K9, 802.11a b/g Outdoor Mesh AP china Cfg	3	4.92
17	无线控制器, AIR-WLC2106-K9, 2100 Series WLAN Controller for up to 6	6	6.06
18	防火墙, ASA5505-SSL10-K8(K9), VPN EDITION W/10 SSL Users 50 Firewall	8	6.88
19	网络协议教学系统软硬件, Simple NPTS	1	8.9
20	交换机, WS-C3560-8PC-S 8 端口, WS-C3560-8PC-S :Catalyst 3560 Compact 8 10/100 PoE	3	1.5

21	交换机, WS-C3560-12PC-S 12 端口, WS-C3560-12PC-S :Catalyst 3560 Compact 12 10/100 P	1	0.77
22	防火墙, 防火墙 ASA5510-SEC-B, ASA 5510 Security Plus Appl with SW HA 2GE+3FE	4	9.08
23	IP 语音呼叫处理管理器, UNIFIED-CM7.1 MCS781, CUCM 7.1 top level part number	3	18.96
24	语音网关相关模块 PVD2-3	5	10.8
25	模拟语音接入适配器 CISCO ATA186	1	0.28
26	无线语音路由器模块 RB493AH.R52.Hn	6	1.32
27	IP 电话机, CP-7975, Cisco Unified IP Phone 7975 Gig Ethernet Color	9	3.24
28	语音网络综合接入平台 ADTDAN ATLAS550	1	6.9
29	无线传感器节点, GAINS3 节点, 主芯片 低功耗微处理器芯片 射频芯片 超高频单片收	36	3.6
30	在线性网络万用表	10	17.4
31	数字式电缆认证分析仪	1	4.97
32	增强型分布式协议分析仪	1	9.9
33	思博伦测试设备, 思博伦 2U 高功率测试机箱+ EDM-1003B 模块	1	59.9
34	串口服务器 MRV LX-4016T-102AC	1	2.93
35	计算机, 联想启天 M8200, Intel Q9500 4GB DDRIII 18.5LCD	113	57.63
36	笔记本电脑	13	8.84
37	计算机, 联想开天 S	30	20.4
38	科士达机柜, 4IU 机柜	20	12.4
39	交换机 H3CS360	4	2.08
40	路由器 H3C msr3020	6	4.14
41	路由器串口模块	2	0.52
42	笔记本电脑	1	0.78
43	物理层交换机	1	49
44	华为 C&C08 数字程控交换机	1	182.6
45	ERX1410 宽带接入核心	1	25.3
46	阿尔卡特 DSLAM 7325 ADSL 接入设备	1	32.8
47	STM-1 分插复用设备	3	75.6
48	机房动力设备	1	6.96
49	EPON OLT (含分光器及 ONU)	1	5.7
50	电信设备机架	4	5.2
总计			897.35

二、环境与安全

分中心制定了规范化的安全、环境保护制度, 实验室内都张挂有《实验室防火责任要求》、《实验室安全操作规定》、《学生实验守则》等文件内容。

分中心现有实验用房 600 平方米。实验室环境整洁, 水电、照明符合国家安全标准。实验室每个房间都配有空调, 为学生提供良好舒适的实验环境。

分中心定期对实验室的安全情况进行监督检查,确保整个实验室的安全。学校定期组织全校学生进行实验室准入安全规划培训及考试,要求所有学生必须参加并通过考试后方可进入实验室。

三、运行与维护

虚拟中心实行实验设备专人维护管理,保证设备完好率达到要求。维护管理制度完善,措施落实到位。实验室技术人员每天都实验室进行巡查,发现问题及时维修,保障了实验教学的正常进行。实验设备日平均使用 10 小时,设备完好率达 98%以上。学校近 3 年来平均每年向虚拟中心投入仪器设备维修费 10 万元以上,保障了虚拟中心工作的正常运转。

4-2 经费来源及使用规划

一、经费来源:

三年内计划投入经费 400 万元,其中校拨经费 300 万元、专业建设经费 50 万元、国家及省财政专项经费 50 万元。

二、使用规划:

- 每年运行经费 20 万元,三年合计 60 万元,主要用于设备维护和其他日常工作;
- 教学资源建设 50 万元,主要用于开发技术平台的自动化编排系统,开发新的实验教学内容;
- 信息化设备购置 150 万元,主要用于购置技术平台服务软件、服务器刀片和网络安全设备;
- 学生课外研学创新活动和竞赛基金 60 万元,主要用于开设开放实验项目、科技创新项目;
- 校内外人员培训与服务 60 万元,主要用于支持教学团队成员到企业挂职锻炼、聘请企业工程师入校授课;
- 基础设施场地改造 20 万元,主要用于“数据中心与云计算”实验室的扩充改造。合计共 400 万元。

5. 学校和主管部门意见

学校意见	“网络工程虚拟仿真实验教学中心”以“十二五”国家综合改革试点专业、教育部“卓越工程师教育培养计划”专业和浙江省“十二五”优势建设专业为依托，以省级计算机实验教学示范中心为支撑，具有良好的建设基础和成果积累。该中心建设思路明确，教学理念先进，建设了硬件虚拟、软件仿真、云支撑的虚拟仿真实验教学技术平台，与合作企业共同开发和建设了“能力核心、应用特色的虚拟仿真实验教学体系与项目库”，形成了“学生主角、虚实互动的虚拟仿真实验教学模式”，通过虚拟仿真实验项目进一步提升了网络工程实践教学深度和广度，拓展了实验教学空间，形成了以虚拟和实训有机结合为特性的应用型工程人才实践教学体系。中心运行成效明显，学生工程实践能力显著提升，职业工程师认证与高层次学科大赛表现突出。中心已经向多所兄弟院校开放共享，发挥了应有的辐射和示范作用。 该中心拥有一支校企协同、结构合理、教学与开发能力强、工程经验丰富的建设队伍，为建设高水平的虚拟仿真实验教学中心提供了有力保障。 我校高度重视和支持该实验教学中心的建设，并郑重承诺为该中心建设提供所需的人、财、物和政策支持。 同意申报国家级虚拟仿真实验教学中心建设点项目。 负责人签字 (公章) 年 月 日
教育主管部门意见	负责人签字 (公章) 年 月 日

附：实验教学项目列表与示例

附表一 软件仿真实验

代码	实验名称	系列	性质	来源	关系
1	ARP 分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
2	ICMP 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
3	TCP 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
4	TELNET 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
5	SMTP 及 POP3 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
6	DHCP 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程实验	自建	再现
7	载波监听多路访问	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
8	集线器与交换机	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
9	交换式局域网	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
10	虚拟局域网	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
11	园区网络设计	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
12	路由信息协议	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
13	开放式最短路径优先协议	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
14	边界网关协议	计算机网络基础	课程实验	自建	再现
15	路由器的基本配置	路由与交换	课程实验	自建	再现
16	路由器的基本管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
17	静态路由与默认路由的配置	路由与交换	课程实验	自建	再现
18	RIPv1 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
19	RIPv2 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
20	单域 OSPF 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
21	多域 OSPF 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
22	BGP 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
23	路由重分布配置	路由与交换	课程实验	自建	再现
24	路由策略的配置	路由与交换	课程实验	自建	再现
25	交换机的基本配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
26	VLAN 的基本配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
27	VLAN 之间的通信	路由与交换	课程实验	自建	再现
28	STP 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
29	网关冗余与负载均衡的配置	路由与交换	课程实验	自建	再现
30	NAT 的配置与管理	路由与交换	课程实验	自建	再现
31	园区互连网络的综合设计	路由与交换	课程实验	自建	再现
32	点对点无线通信实验	无线与移动网	课程实验	自建	再现
33	Aloha 及 CSMA 协议的仿真	无线与移动网	课程实验	自建	再现
34	指定路由实验	无线与移动网	课程实验	自建	再现
35	基于 Flooding 的数据收集实验	无线与移动网	课程实验	自建	再现
36	TCP 与 UDP 性能分析	无线与移动网	课程实验	自建	再现
37	无线局域网基本配置与管理	无线与移动网	课程实验	自建	再现

代码	实验名称	系列	性质	来源	关系
38	无线局域网安全配置与管理	无线与移动网	课程实验	自建	再现
39	HTTP 协议与设计	TCP/IP 协议分析	课程设计	自建	再现
40	FTP 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程设计	自建	再现
41	DNS 协议分析与设计	TCP/IP 协议分析	课程设计	自建	再现
42	基于质心算法的无线传感器网络节点定位实验	无线与移动网	开放实验	科研	再现
43	基于 RSS 测距的无线传感器网络节点定位实验	无线与移动网	开放实验	科研	再现
44	基于移动信标节点与 RSS 极大值特征的无线传感器网络节点定位	无线与移动网	开放实验	科研	再现
45	Ad hoc 网络 DSR 路由协议的研究与仿真	无线与移动网	开放实验	自建	再现
46	Ad hoc 网络 AODV 路由协议的研究与仿真	无线与移动网	开放实验	自建	再现
47	无线传感器网络 B-MAC 协议的研究与仿真	无线与移动网	开放实验	自建	再现
48	线性网路编码在无线网络多跳汇播中的应用及其影响	无线与移动网	开放实验	科研	再现
49	基于帧成排序的被动式无线传感器网络 MAC 协议的性能评估	无线与移动网	开放实验	科研	再现
50	分簇无线传感器网络中密度感知的自适应占空比机制的研究	无线与移动网	开放实验	科研	再现

注 1：“关系”列中“再现”指该项目是实体实验项目的再现；“扩展”指该项目是对实体实验项目在实验规模、开放容量、开放时间方面的扩展；“专有”指该项目在实体实验环境中难以建设，弥补了实体实验项目的空白。

注 2：“来源”列中“自建”指该项目是校内教师自主建设；“科研”指该项目由教师的科研项目成果转化而来；“企业”指该项目是由企业工程师的工程实践项目与案例转化而来。

附表二 网络性能测试实验（远程桌面共享）

代码	实验名称	系列	性质	来源	关系
1	测试用例的设计及执行	测试与分析	课程实验	自建	再现
2	测试仪表基本配置及使用	测试与分析	课程实验	自建	再现
3	RFC2889 以太网转发性能测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
4	RFC2889 以太网地址处理性能测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
5	RFC2889 以太网广播转发性能测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
6	RFC2544 IP 吞吐量测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
7	RFC2544 IP 丢包率测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
8	RFC2544 IP 转发延迟测试	测试与分析	课程实验	自建	再现
9	路由测试环境的构建—仿真 OSPF	测试与分析	课程实验	自建	再现
10	Tcl 语言基础	测试自动化	课程实验	自建	再现
11	Tcl 语言进阶	测试自动化	课程实验	自建	再现
12	Tcl 脚本	测试自动化	课程实验	自建	再现
13	自动化测试环境搭建	测试自动化	课程实验	自建	再现
14	自动化测试用例—OSPF	测试自动化	课程实验	自建	再现
15	自动化测试用例—BGP	测试自动化	课程实验	自建	再现
16	单品及横向对比测试	测试分析与优化	综合实践	自建	再现
17	IP 网络综合应用性能评估测试	测试分析与优化	综合实践	自建	再现
18	路由表容量测试	测试与分析	开放实验	自建	再现
19	OSPF 路由振荡测试	测试与分析	开放实验	工程	再现
20	网络 4-7 层性能测试	测试与分析	开放实验	工程	再现
21	拒绝服务攻击（DDoS）的测试	创新技能	综合实践	工程	再现
22	基于 DSCP 的三层区分服务测试	创新技能	综合实践	工程	再现
23	网络性能测试的综合设计与实施	创新技能	综合实践	工程	再现

附表三 网络互连实验（硬件虚拟）

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
1	IP 与路由的规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
2	交换网络规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
3	网络安全的规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
4	无线网络规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
5	统一通信网络规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
6	数据中心网络规划设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
7	园区网综合方案设计与实施	规划与设计	课程实验	自建	再现
8	Nexus 1000V 配置基础	数据中心	课程实验	自建	再现
9	Nexus 1000V 之常规配置与管理	数据中心	课程实验	自建	再现
10	Nexus 1000V 之 Netflow 配置与管理	数据中心	课程实验	自建	再现
11	VSG 与 VNM 配置基础	数据中心	课程实验	自建	再现
12	ASA 1000V 的配置基础	数据中心	课程实验	自建	再现
13	VSG 与 ASA 1000V 服务链	数据中心	课程实验	自建	再现
14	CME 安装与基本配置	统一通信	课程实验	自建	再现
15	CME 图形化界面安装与配置	统一通信	课程实验	自建	再现
16	CME 高级呼叫特性配置	统一通信	课程实验	自建	再现
17	CME 网关控制配置	统一通信	课程实验	自建	再现
18	拥塞管理配置	统一通信	课程实验	自建	再现
19	拥塞避免配置	统一通信	课程实验	自建	再现
20	CUE 安装与语音邮件配置	统一通信	课程实验	自建	再现
21	CUE 自动应答配置与管理	统一通信	课程实验	自建	再现
22	数据包捕获软件的使用	网络安全	课程实验	自建	再现
23	AAA 配置与管理	网络安全	课程实验	自建	再现
24	IIS 中的安全认证	网络安全	课程实验	自建	再现
25	设备的安全	网络安全	课程实验	自建	再现
26	标准 ACL 的配置与管理	网络安全	课程实验	自建	再现
27	扩展 ACL 的配置与管理	网络安全	课程实验	自建	再现
28	防火墙的配置与管理	网络安全	课程实验	自建	再现
29	Ipsec-VPN 的配置与管理	网络安全	课程实验	自建	再现
30	园区网络安全的综合设计与实施	网络安全	课程实验	自建	再现
31	无线局域网组网	无线与移动	课程实验	自建	再现
32	基于 Web 的安全验证配置	无线与移动	课程实验	自建	再现
33	基于 WPA2 的安全验证配置	无线与移动	课程实验	自建	再现
34	无线漫游的配置与管理	无线与移动	课程实验	自建	再现
35	NTP 的配置与管理	路由与交换	开放实验	自建	再现
36	配置文件归档与替换	路由与交换	开放实验	自建	再现
37	系统日志的管理	路由与交换	开放实验	自建	再现
38	SNMP 的配置与管理	路由与交换	开放实验	自建	再现
39	DHCP 的配置与管理	路由与交换	开放实验	自建	再现

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
40	DNS-FTP 的应用层 NAT	路由与交换	开放实验	自建	再现
41	vSphere 安装与配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
42	vCSA 的部署与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
43	vCenter Server 的安装	数据中心	开放实验	自建	扩展
44	vCenter Server 配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
45	View 的安装	数据中心	开放实验	自建	扩展
46	View 的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
47	ThinApp 的安装	数据中心	开放实验	自建	扩展
48	ThinApp 的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
49	二层 VSM VEM 安装(手工与 VUM)	数据中心	开放实验	自建	扩展
50	三层 VSM VEM 安装(手工与 VUM)	数据中心	开放实验	自建	扩展
51	三层 VSM VEM 安装(InstallerApp)	数据中心	开放实验	自建	扩展
52	使用 TACACS+的 vTracker 与 AAA 验证	数据中心	开放实验	自建	扩展
53	SPAN 与 ERSPAN	数据中心	开放实验	自建	扩展
54	Port-Profile 角色	数据中心	开放实验	自建	扩展
55	私有 VLAN 的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
56	基于 ASA 9.1 的 Cisco TrustSec	数据中心	开放实验	自建	扩展
57	VNMC 的安装	数据中心	开放实验	自建	扩展
58	VSG 的三层安装	数据中心	开放实验	自建	扩展
59	VSG 的设备配置文件与计算防火墙	数据中心	开放实验	自建	扩展
60	基础安全配置文件与策略	数据中心	开放实验	自建	扩展
61	高级安全配置文件与策略	数据中心	开放实验	自建	扩展
62	VNMC 备份与恢复	数据中心	开放实验	自建	扩展
63	设备配置文件与边缘防火墙	数据中心	开放实验	自建	扩展
64	基础边缘安全配置文件与策略	数据中心	开放实验	自建	扩展
65	高级边缘安全配置文件与策略	数据中心	开放实验	自建	扩展
66	L2L IPSec VPN 的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
67	UCS 管理器入门	数据中心	开放实验	自建	扩展
68	部署服务配置文件	数据中心	开放实验	自建	扩展
69	服务配置文件高级配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
70	UCS 与 VM-FEX 的配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
71	以太网与 VPC 的配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
72	FabricPath 配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
73	存储交换机的基本配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
74	VSAN 中继与 NPV	数据中心	开放实验	自建	扩展
75	FCIP 与 IVR 的配置	数据中心	开放实验	自建	扩展
76	CFS 分发的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
77	Port-Profile 角色	数据中心	开放实验	自建	扩展
78	ACL 与端口安全	数据中心	开放实验	自建	扩展
79	DHCP 与交换安全	数据中心	开放实验	自建	扩展
80	QoS 的配置与管理	数据中心	开放实验	自建	扩展
81	CUCM 配置与管理	统一通信	开放实验	企业	扩展

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
82	统一通信网络多站点部署	统一通信	开放实验	企业	扩展
83	思科腾讯通的安装与部署	统一通信	开放实验	企业	扩展
84	IP 话机移动性的配置与测试	统一通信	开放实验	企业	扩展
85	统一通信网络 SRST 特性的部署	统一通信	开放实验	企业	扩展
86	DMVPN 之阶段 1 与阶段 2	网络安全	开放实验	企业	扩展
87	DMVPN 之阶段 3 之层次与汇总	网络安全	开放实验	企业	扩展
88	DMVPN 冗余之双 Hub 多云	网络安全	开放实验	企业	扩展
89	DMVPN 冗余-双 Hub 单云	网络安全	开放实验	企业	扩展
90	DMVPN 基于隧道的 QoS	网络安全	开放实验	企业	扩展
91	DMVPN 之 NHS 簇	网络安全	开放实验	企业	扩展
92	DMVPN 之 DHCP 隧道支持	网络安全	开放实验	企业	扩展
93	基于预共享密钥的路由器 EZVPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
94	基于证书的路由器 EZVPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
95	基于预共享密钥和证书的防火墙 EZVPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
96	EZVPN 连接与 XAuth 模式选项	网络安全	开放实验	自建	扩展
97	Router EZVPN 之网络扩展模式	网络安全	开放实验	自建	扩展
98	基于 DVTI 的 Router EZVPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
99	基于 cTCP 的 Router EZVPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
100	基于路由器的远程访问 IPSec VPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
101	基于预共享密钥的 L2L IPSec IKEv1	网络安全	开放实验	企业	扩展
102	基于证书的 L2L IPSec IKEv1	网络安全	开放实验	企业	扩展
103	基于静态 VTI 的 L2L IPSec IKEv1	网络安全	开放实验	企业	扩展
104	基于 VRF 的 L2L IPSec IKEv1	网络安全	开放实验	企业	扩展
105	基于防火墙的远程访问 IPSec VPN	网络安全	开放实验	自建	扩展
106	AnyConnect VPN 验证与授权	网络安全	开放实验	自建	扩展
107	NAT46 NAT64 DNS64 对象 NAT	网络安全	开放实验	自建	扩展
108	NAT46 NAT64 DNS64 双层 NAT	网络安全	开放实验	自建	扩展
109	vWLC 虚拟机的安装与配置	无线与移动	开放实验	自建	扩展
110	WLC 固件的更新	无线与移动	开放实验	自建	扩展
111	WLC 上的 TACACS 设备管理	无线与移动	开放实验	自建	扩展
112	使用 PEAP 进行 802.1x 和机器验证配置	无线与移动	开放实验	企业	扩展
113	使用 EAP-TLS 进行 802.1x 和机器验证配置	无线与移动	开放实验	企业	扩展
114	内置单 SSID 的配置与测试	无线与移动	开放实验	科研	扩展
115	内置双 SSID 的配置与测试	无线与移动	开放实验	科研	扩展
116	MPLS VPN 基础	运营商	开放实验	企业	扩展
117	MPLS VPN 基于 RIPv2 的 PE-CE	运营商	开放实验	企业	扩展
118	MPLS VPN 基于 EIGRP 的 PE-CE	运营商	开放实验	企业	扩展
119	MPLS VPN 之基于 OSPF 的 PE-CE	运营商	开放实验	企业	扩展
120	MPLS VPN 之基于 BGP 的 PE-CE	运营商	开放实验	企业	扩展
121	MPLS VPN 之高级拓扑	运营商	开放实验	企业	扩展
122	MPLS VPN 之受控的 CE	运营商	开放实验	企业	扩展

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
123	MPLS VPN 之免 VRF 的共享服务	运营商	开放实验	企业	扩展
124	MPLS VPN 之带 VRF 的共享服务	运营商	开放实验	企业	扩展
125	带 BGP 路由反射的 MPLS VPN	运营商	开放实验	企业	扩展
126	MPLS VPN 之多 VRF CE	运营商	开放实验	企业	扩展
127	MPLS TE 之流量工程基础	运营商	开放实验	科研	扩展
128	MPLS TE 之显式与动态路径	运营商	开放实验	科研	扩展
129	MPLS TE 之隧道转发	运营商	开放实验	科研	扩展
130	MPLS TE 之度量值	运营商	开放实验	科研	扩展
131	MPLS TE 之 LSP 属性与属性列表	运营商	开放实验	科研	扩展
132	MPLS TE 之快速重路由链路保护	运营商	开放实验	科研	扩展
133	MPLS TE 之快速重路由节点保护	运营商	开放实验	科研	扩展
134	MPLS 之 6PE	运营商	开放实验	企业	扩展
135	MPL 之 6VPE	运营商	开放实验	企业	扩展
136	MPL 之 EoMPLS	运营商	开放实验	企业	扩展
137	MPLS 之 ATom 互联	运营商	开放实验	企业	扩展
138	MPLS 之 ATom 流量工程	运营商	开放实验	企业	扩展
139	MPLS 之 QoS	运营商	开放实验	企业	扩展
140	MPLS 之组播 VPN	运营商	开放实验	企业	扩展
141	IPv6 编址之基本配置	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
142	IPv6 默认属性与静态路由	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
143	IPv6 编址之有状态自动配置	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
144	IPv6 之 HSRP 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
145	IPv6 之 RIPng 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
146	IPv6 之 EIGRP 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
147	IPv6 之 OSPFv3 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
148	IPv6 之 ISIS 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
149	IPv6 之 BGP 配置与管理	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
150	IPv6 之 NAT-PT	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
151	IPv6 之手工隧道与 GRE 隧道	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
152	IPv6 之 6to4 隧道	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
153	IPv6 之 6RD 隧道	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
154	IPv6 之 IPv4 兼容隧道	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
155	IPv6 之 ISATAP 隧道	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
156	IPv6 之 BGP 路径选择	路由与交换	学科竞赛	自建	扩展
157	BGP 邻居基本配置	路由与交换	职业认证	自建	扩展
158	BGP 路由宣告基本配置与管理	路由与交换	职业认证	自建	扩展
159	BGP 路由宣告高级配置与管理	路由与交换	职业认证	自建	扩展
160	BGP 路由汇总	路由与交换	职业认证	自建	扩展
161	BGP 对等体与模板的配置与管理	路由与交换	职业认证	自建	扩展
162	BGP 路由过滤	路由与交换	职业认证	自建	扩展
163	BGP 路径选择过程	路由与交换	职业认证	自建	扩展
164	BGP 路由震荡	路由与交换	职业认证	自建	扩展

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
165	BGP 组播	路由与交换	职业认证	自建	扩展
166	BGP 多跳与 TTL 安全	路由与交换	职业认证	自建	扩展
167	BGP 混杂特性的配置与管理	路由与交换	职业认证	自建	扩展
168	基于 BGP 的 QoS 策略部署	路由与交换	职业认证	企业	扩展
169	BGP 路由反射	路由与交换	职业认证	企业	扩展
170	BGP 联盟	路由与交换	职业认证	企业	扩展
171	vSphere 图形用户界面安装	数据中心	职业认证	自建	扩展
172	配置 ESXi	数据中心	职业认证	自建	扩展
173	虚拟机基本管理	数据中心	职业认证	自建	扩展
174	vCenter Server 的使用	数据中心	职业认证	自建	扩展
175	使用 Web Client 进行管理	数据中心	职业认证	自建	扩展
176	配置 vCenter 单点登陆	数据中心	职业认证	自建	扩展
177	在 vCenter Server 中创建文件夹	数据中心	职业认证	自建	扩展
178	标准虚拟交换机	数据中心	职业认证	自建	扩展
179	访问 IP 存储	数据中心	职业认证	自建	扩展
180	访问 NFS 存储	数据中心	职业认证	自建	扩展
181	管理 vStorage VMFS 数据库	数据中心	职业认证	自建	扩展
182	使用模板与克隆	数据中心	职业认证	自建	扩展
183	修改虚拟机配置	数据中心	职业认证	自建	扩展
184	移植虚拟机	数据中心	职业认证	自建	扩展
185	虚拟机高级管理	数据中心	职业认证	自建	扩展
186	管理 vApps	数据中心	职业认证	自建	扩展
187	用户权限管理	数据中心	职业认证	自建	扩展
188	资源池配置与管理	数据中心	职业认证	自建	扩展
189	监控虚拟机性能	数据中心	职业认证	自建	扩展
190	使用告警	数据中心	职业认证	自建	扩展
191	高可用性配置	数据中心	职业认证	企业	扩展
192	虚拟网络设计	数据中心	职业认证	企业	扩展
193	高可用性容错配置	数据中心	职业认证	企业	扩展
194	部署动态资源调度集群	数据中心	职业认证	企业	扩展
195	vSphere 更新管理器配置	数据中心	职业认证	自建	扩展
196	安装 vCenter Server 组件	数据中心	职业认证	自建	扩展
197	基本 LDP	运营商	职业认证	科研	扩展
198	Ping, Traceroute 与 MRU	运营商	职业认证	科研	扩展
199	LDP 标签宣告	运营商	职业认证	科研	扩展
200	LDP 验证	运营商	职业认证	科研	扩展
201	定向的 LDP	运营商	职业认证	科研	扩展

附表四 综合互连实验（硬件虚拟结合软件仿真）

序号	实验内容	系列	性质	来源	关系
1	基于 UCS 的 Nexus 1Kv	数据中心	综合实践	企业	扩展
2	多跳 FCOE	数据中心	综合实践	企业	扩展
3	VXLAN 与数据中心互连	数据中心	综合实践	企业	扩展
4	VoIP 网络设计	部署与实施	综合实践	企业	专有
5	无线局域网的应用	部署与实施	综合实践	企业	专有
6	网络负载均衡	部署与实施	综合实践	企业	专有
7	VPN 部署与实施	部署与实施	综合实践	企业	专有
8	园区网部署与实施	部署与实施	综合实践	企业	专有
9	人寿保险课程设计	部署与实施	综合实践	企业	专有
10	跨国企业网络的规划设计	规划与设计	综合实践	企业	专有
11	教育行业网络的规划设计	规划与设计	综合实践	企业	专有
12	网上交易平台的规划设计	规划与设计	综合实践	企业	专有
13	酒店网络的规划设计	规划与设计	综合实践	企业	专有
14	某厅二级网的规划	规划与设计	综合实践	企业	专有
15	异地数据中心双活互连案例解决方案	创新技能	工程实践	企业	专有
16	邮政综合计算网案例解决方案	创新技能	工程实践	企业	专有
17	思科协作解决方案	创新技能	工程实践	企业	专有
18	医疗机构无线网络解决方案	创新技能	工程实践	企业	专有
19	网银系统解决方案	创新技能	工程实践	企业	专有
20	企业呼叫中心的部署与管理	创新技能	工程实践	企业	专有
21	企业统一语音网络的部署	创新技能	工程实践	企业	专有
22	企业统一视频网络的部署	创新技能	工程实践	企业	专有
23	企业统一协作网络的部署	创新技能	工程实践	企业	专有
24	基于防火墙的 NAT 迁移	创新技能	工程实践	企业	专有
25	基于防火墙的对象 NAT	创新技能	工程实践	企业	专有
26	基于防火墙的双层 NAT	创新技能	工程实践	企业	专有
27	有线与无线终端基于 MAC 的免认证配置	创新技能	工程实践	企业	专有
28	支持 FlexConnect 的 802.1X 认证配置	创新技能	工程实践	企业	专有

附录 典型实验项目示例

- (1) 类型 1——基于软件仿真的实验.....44
- (2) 类型 2——基于远程桌面的网络性能测试实验.....50
- (3) 类型 3——基于硬件虚拟的网络互连实验.....52
- (4) 类型 4——硬件虚拟与软件仿真相结合的综合互连实验.....57

(1) 类型 1——基于软件仿真的实验

➤ 实现机理

基于软件仿真的实验由 3 至 4 个安装有协议仿真软件 **Modeler** 和网络仿真软件 **Packet Tracer** 的 Windows 7 虚拟桌面组成,通过局域网连接构成一个实验分组,如图 15 所示。

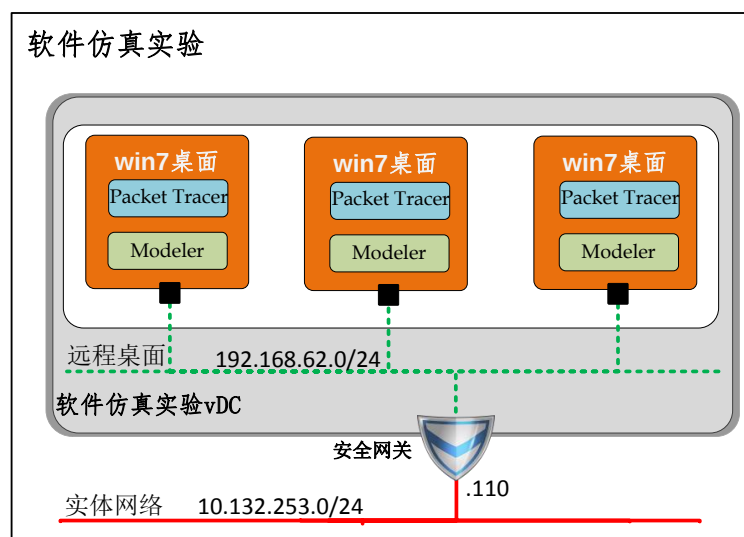


图 15 软件仿真实验的实现架构

➤ 主要功能与教学应用

通过基于原理性的互动仿真和工程性的界面仿真,旨在通过该平台克服传统的实体实验中协议运行的可感知性,突破学生学习中概念抽象、想象力和分析力要求高、不便于掌握的困难,为学生的基础性学习和探究性学习以及进一步深入了解和掌握网络技术在网络系统工程中的应用,提供互动、启发、探究式的研学辅助手段与工具。

教师发布预先定制好的实验练习活动(Activity),学生根据实验要求添加或修改设备类型、模块以及网络连接,使用图形用户界面或命令行界面对网络设备进行配置,最后验证其连通性,并根据验证结果返回修改网络设备的配置。整个过程中可以随时进行对照性评价,与教师的参考答案作逐项比对,查看自己的得分,帮助学生以自助方式快速掌握实验基本技能。

➤ 项目示例描述

以“路由与交换”课程中“RIPv1 的配置与管理”实验为例:

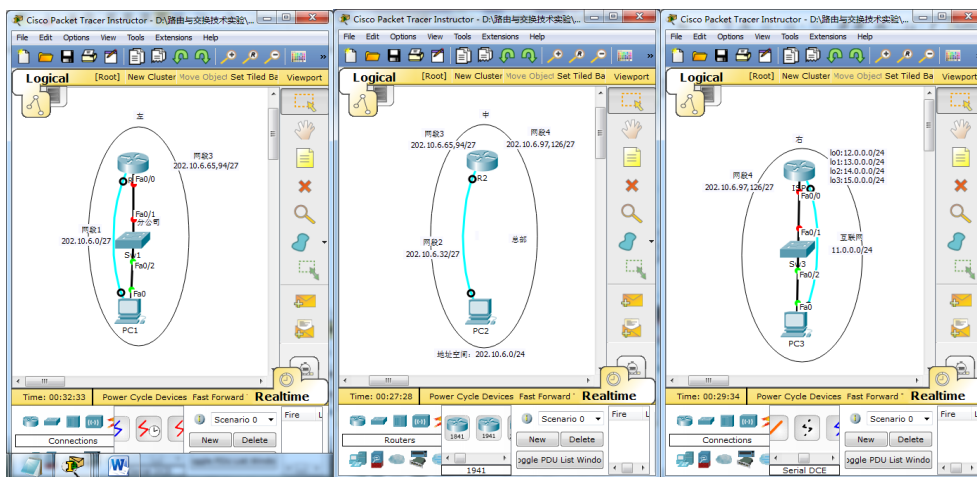


图 16 实验“RIPv1 的配置与管理”的拓扑结构（学生甲、乙、丙）

- 1) 学生打开教师事先布置好的实验练习活动文件，选择相应的网络拓扑，出现明确的实验要求，其中包括学习计时；

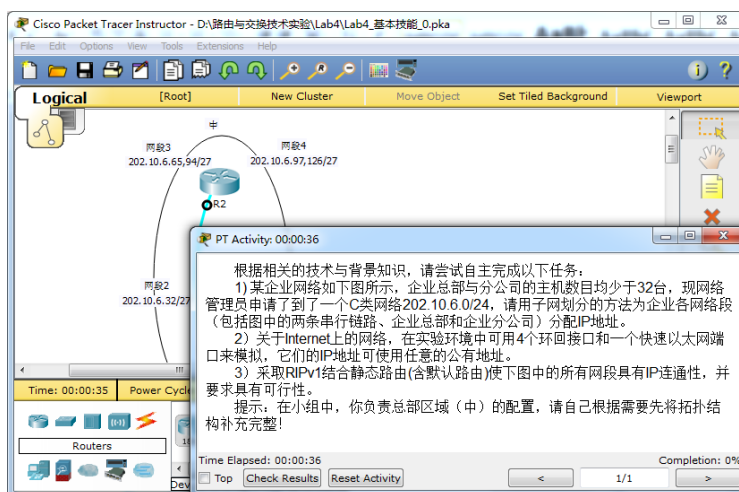


图 17 实验练习文件(学生乙)

- 2) 通过拖拽图标在实验网络拓扑中增加仿真网络设备，或者增减设备的接口模块；

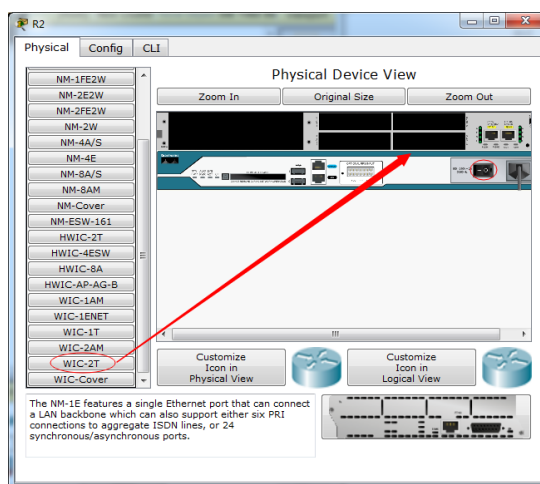




图 18 给路由器添加广域网接口模块

3) 选择正确的线缆类型和相应的接口，通过拖拽进行仿真网络设备间连接

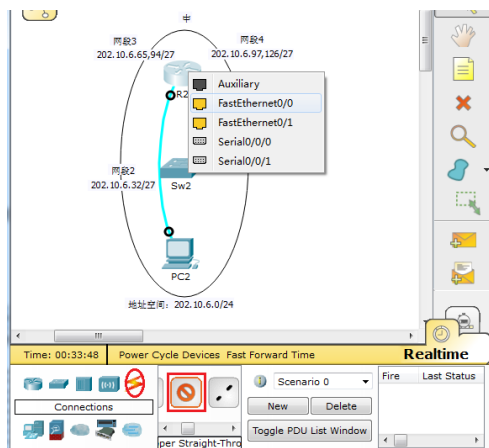


图 19 连接路由器与交换机(学生乙)

4) 使用组内伙伴的主机 IP 地址，在拓扑中添加与其仿真网络之间的桥接

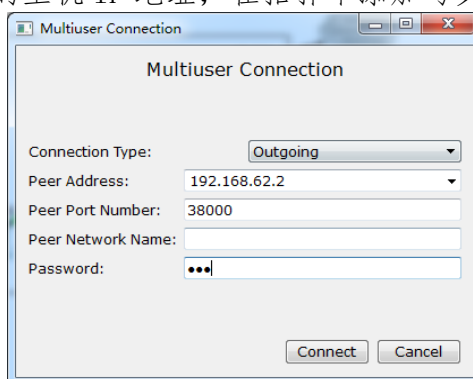


图 20 添加与学生乙仿真网络之间的桥接(学生丙)

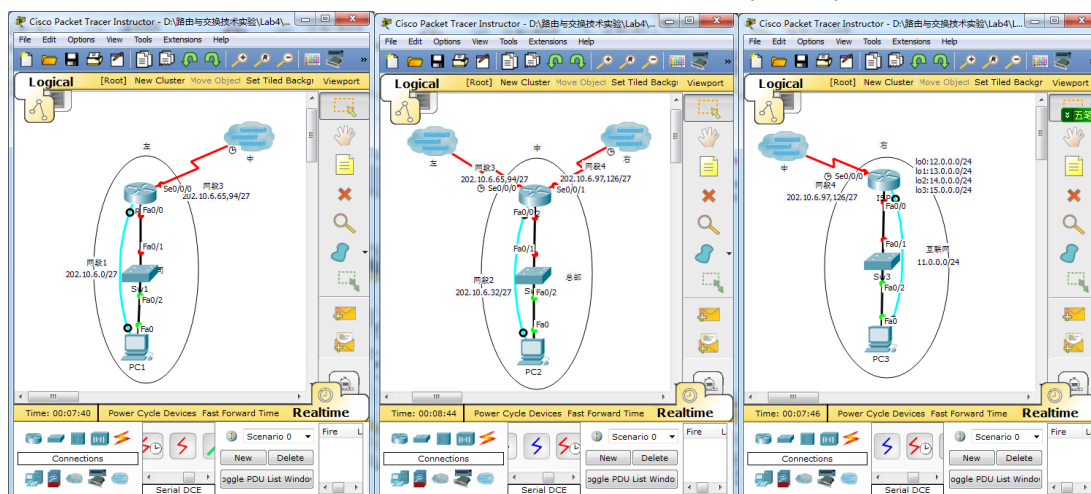


图 21 桥接成功的局部实验拓扑（学生甲、乙、丙）

- 5) 在物理仿真实验中，查看配线架，以及检查仿真网络设备之间是否存在线缆连接错误

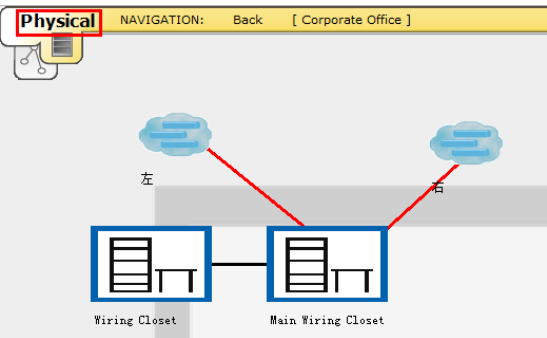


图 22 物理空间中的配线间(学生乙)

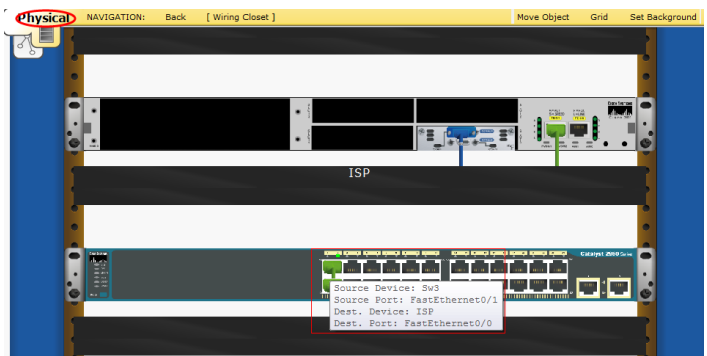


图 23 配线架上的网络设备(学生丙)

- 6) 通过图形用户界面进行网络设备或 PC 终端进行简单的配置

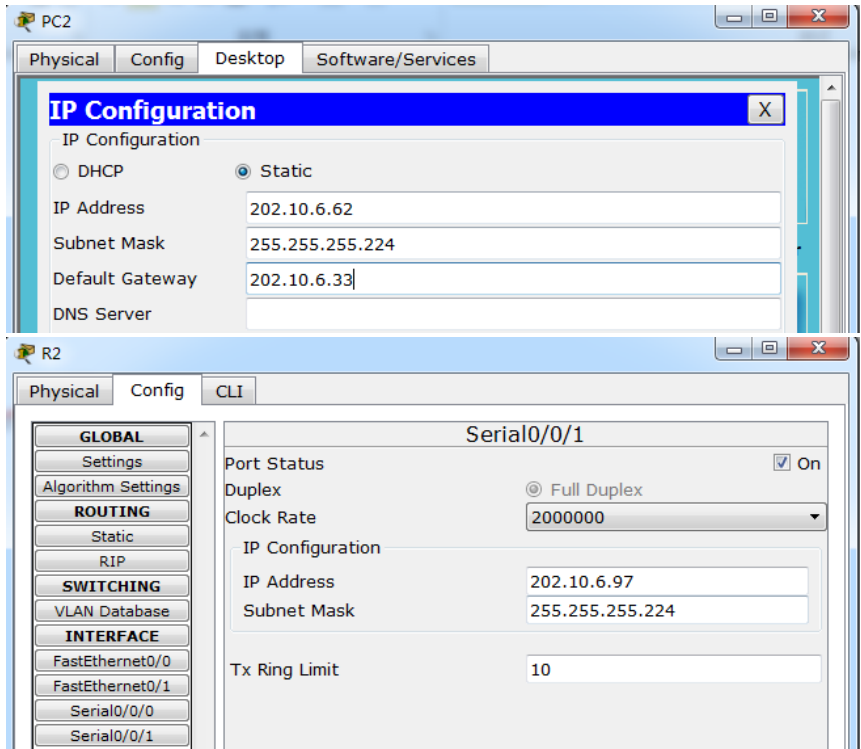


图 24 图形用户界面配置 PC 和路由器(学生乙)

7) 通过仿真的命令行界面进行网络协议与参数的配置

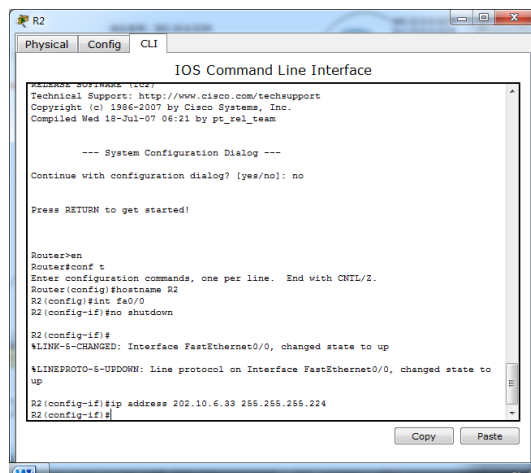


图 25 命令行界面配置路由器(学生乙)

8) 配置完成后，验证与其它部分的主机之间的连通性

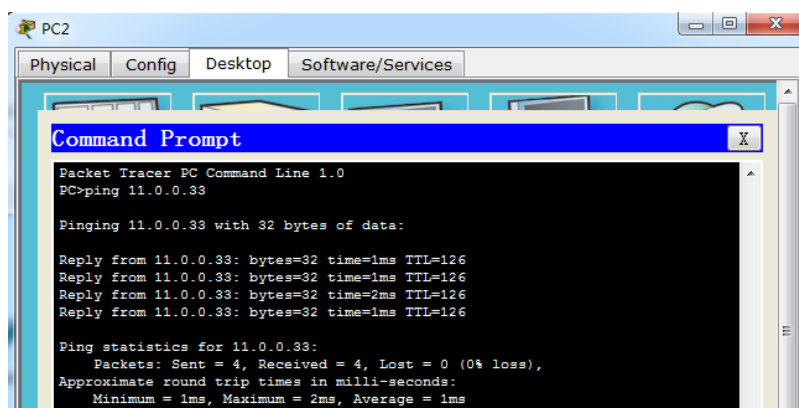


图 26 验证 PC2 与 PC3 的连通性(学生乙)

9) 在仿真模式中，使用逐步调试来观察网络协议运行的动态过程

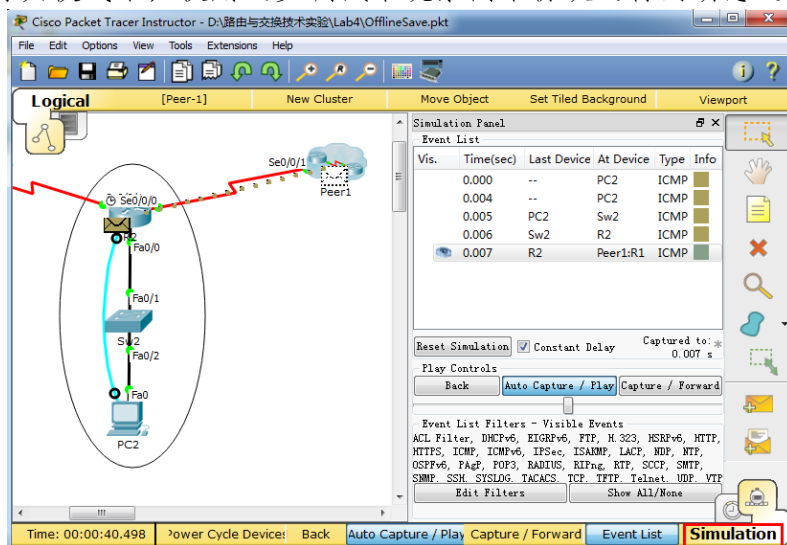


图 27 PC2 与 PC3 之间的数据包交互(学生乙)

10) 解析网络协议数据包的结构，与网络协议的工作原理相印证

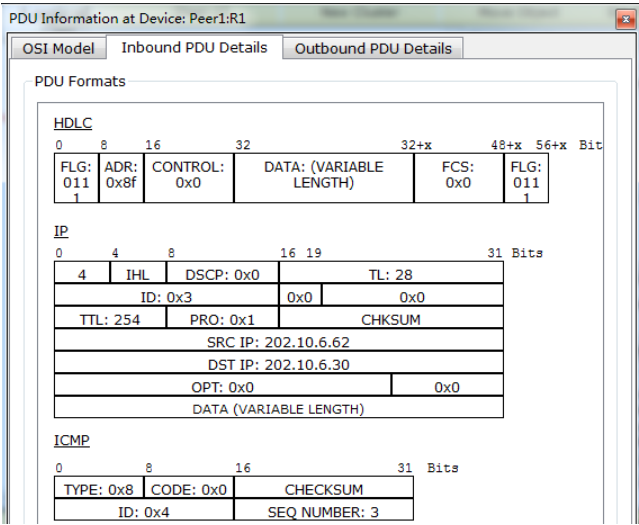


图 28 ICMP 数据包各层 PDU 图示

11) 配置过程中，随时对照检查配置的正确性



图 29 检查完成的进展情况

➤ 使用效果

软件仿真不仅以直观、友好的人机界面改善了学生的实验体验，还针对网络工程的专业特点，进行了多用户协作、逐步调试以及对照自评等独有的教学设计，吸引了学生浓厚的兴趣，也取得了极好的效果。在软件仿真实验项目的支持下，2011 年以来，网络工程专业每年均有 40% 以上的学生通过 CCNA 认证考试。

2011 年以来，网络工程专业四届学生连续参加了思科杯大学生网络技术大赛，赛前使用该软件仿真实验平台进行技能练习，受益明显，取得了全国冠军 4 项、亚军 1 项以及亚太区冠军 1 项的优异成绩。软件仿真实验教学也很好支撑了相关课程的建设与发展，其中“计算机网络基础”课程获得“国家精品共享课程”，“路由与交换”获得温州市精品课程。

(2) 类型 2——基于远程桌面的网络性能测试实验

➤ 实现机理

网络性能测试远程实验的后台由 Spirent 网络性能测试仪表、MRV 串口服务器、MRV 物理层交换机以及被测网络设备组成，用户通过安装了网络测试客户端的虚拟桌面进行实验活动，如图 30 所示。除了后台硬件设备购买外，该平台的其他部分均为自主开发。

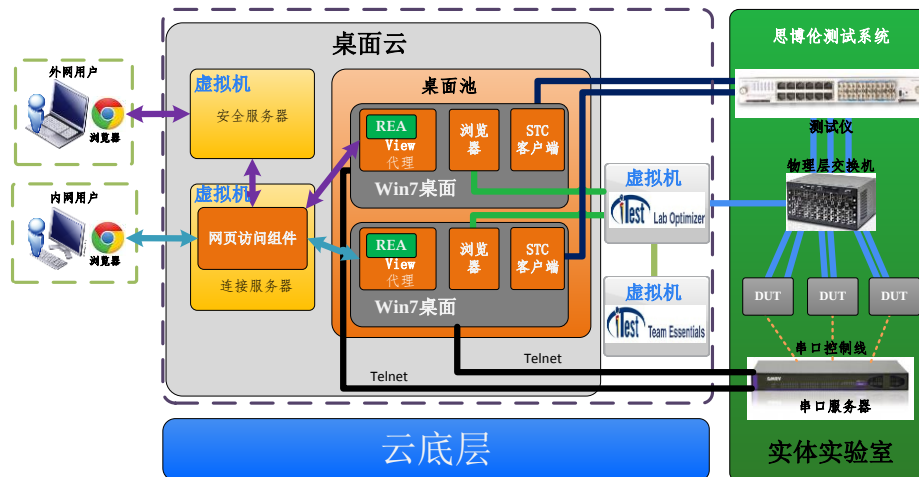


图 30 网络性能测试远程实验教学平台架构

➤ 主要功能与教学应用

可供校内外用户以远程虚拟方式进行“网络性能分析与测试”、“网络测试自动化”课程实验，以及网络工程创新技能训练、专业实习等其他教学环节中，与网络性能测试相关实验。所提供的 23 个项目涵盖了二层以太网、三层 IP 的转发、路由协议、四到七层协议、网络安全和网络服务质量的测试。

在此类实验中，学生通过图形用户界面，运用相应的测试方法，控制物理层交换机远程进行被测网络拓扑的连接调整，配置测试仪表和被测设备，生成测试流量，收集与分析测试结果，完成既定的实验教学目标。

➤ 项目示例描述

以“网络性能测试与分析”中实验“RFC2889 以太网转发性能测试”为例：

1) 被测网络拓扑结构。

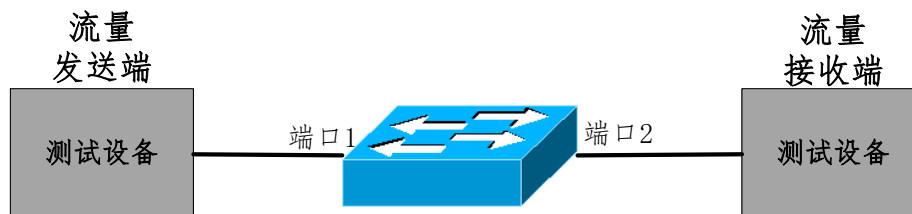


图 31 被测网络拓扑结构

2) 使用浏览器远程登陆到网络性能测试专用虚拟桌面

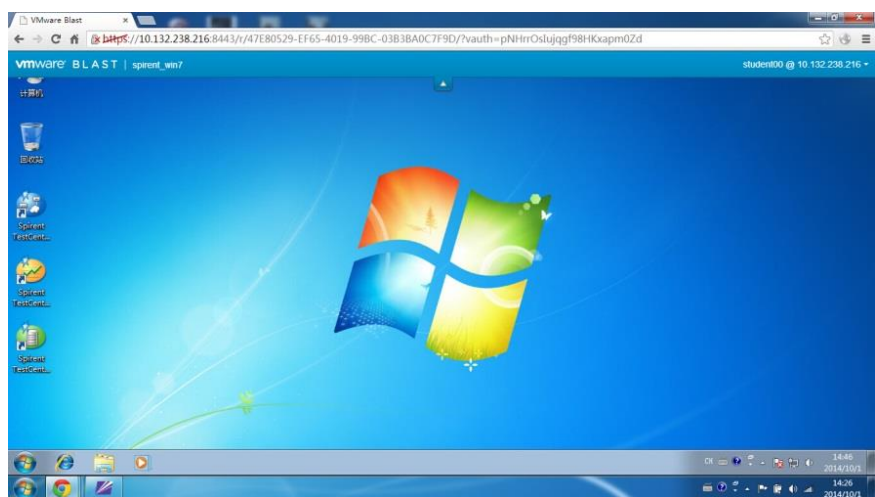


图 32 远程登陆

3) 初始化物理层交换机配置

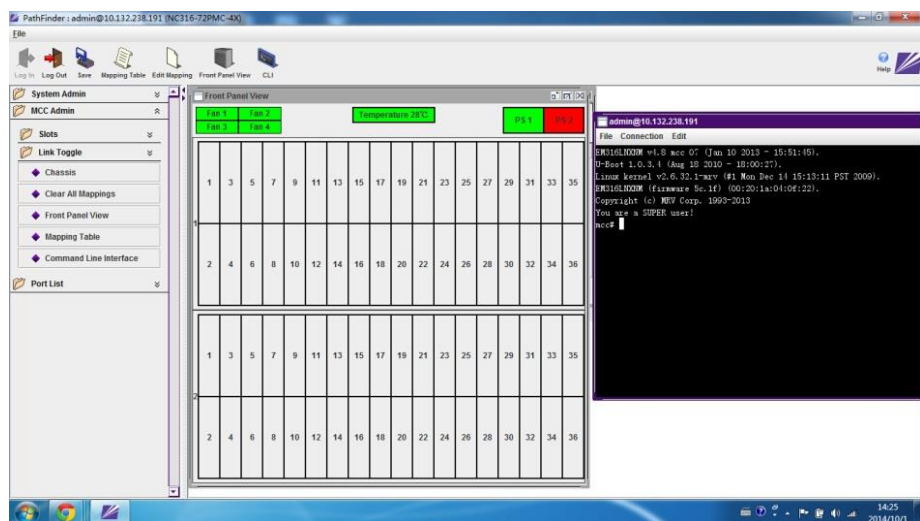


图 33 物理层交换机初始化配置

4) 使用浏览器登陆到物理层交换机的 Web 管理端，调整物理层交换机的连线策略，定义被测拓扑

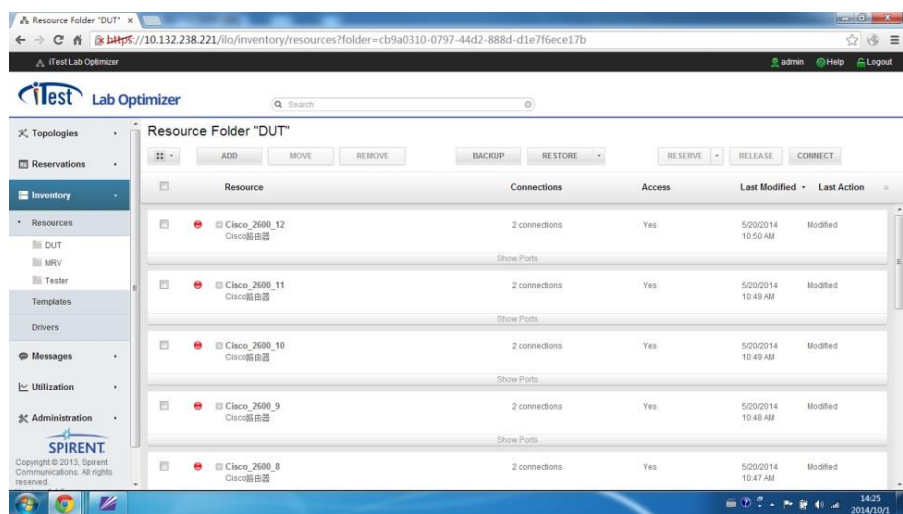
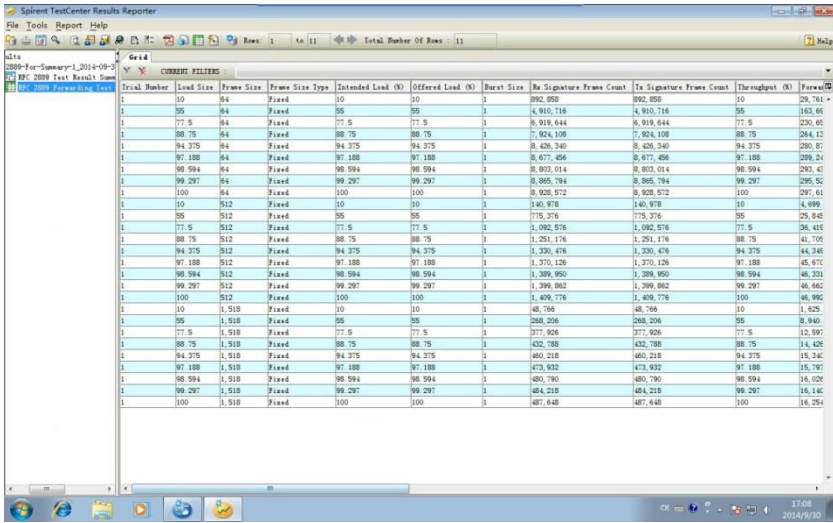


图 34 被测网络拓扑结构定义

5) 指定流量生成的参数，启动网络流量的生成，收集性能测试的结果



Trial Number	Load Size	Frame Size	Frame Size Type	Intended Load (K)	Offered Load (K)	Burst Size	Rx Signature Frame Count	Tx Signature Frame Count	Throughput (K)	Forward Rate
1	10	64	Fixed	10	10	1	892,850	892,850	10	29,761
1	95	64	Fixed	95	95	1	4,910,716	4,910,716	95	143,66
1	77.5	64	Fixed	77.5	77.5	1	6,919,644	6,919,644	77.5	230,60
1	88.75	64	Fixed	88.75	88.75	1	7,924,108	7,924,108	88.75	284,13
1	94.375	64	Fixed	94.375	94.375	1	8,426,340	8,426,340	94.375	280,87
1	97.188	64	Fixed	97.188	97.188	1	8,677,456	8,677,456	97.188	288,24
1	98.594	64	Fixed	98.594	98.594	1	8,803,014	8,803,014	98.594	293,47
1	99.297	64	Fixed	99.297	99.297	1	8,865,784	8,865,784	99.297	295,50
1	100	64	Fixed	100	100	1	8,928,972	8,928,972	100	297,41
1	10	512	Fixed	10	10	1	140,978	140,978	10	4,690
1	95	512	Fixed	95	95	1	775,376	775,376	95	25,845
1	77.5	512	Fixed	77.5	77.5	1	1,062,576	1,062,576	77.5	36,411
1	88.75	512	Fixed	88.75	88.75	1	1,291,176	1,291,176	88.75	41,705
1	94.375	512	Fixed	94.375	94.375	1	1,330,476	1,330,476	94.375	44,346
1	97.188	512	Fixed	97.188	97.188	1	1,370,126	1,370,126	97.188	45,675
1	98.594	512	Fixed	98.594	98.594	1	1,389,950	1,389,950	98.594	46,231
1	99.297	512	Fixed	99.297	99.297	1	1,399,862	1,399,862	99.297	46,465
1	100	512	Fixed	100	100	1	1,409,776	1,409,776	100	46,992
1	10	1,518	Fixed	10	10	1	48,766	48,766	10	1,625
1	95	1,518	Fixed	95	95	1	268,206	268,206	95	8,940
1	77.5	1,518	Fixed	77.5	77.5	1	377,626	377,626	77.5	12,597
1	88.75	1,518	Fixed	88.75	88.75	1	432,188	432,188	88.75	14,428
1	94.375	1,518	Fixed	94.375	94.375	1	460,218	460,218	94.375	15,340
1	97.188	1,518	Fixed	97.188	97.188	1	473,832	473,832	97.188	15,787
1	98.594	1,518	Fixed	98.594	98.594	1	480,790	480,790	98.594	16,028
1	99.297	1,518	Fixed	99.297	99.297	1	484,218	484,218	99.297	16,140
1	100	1,518	Fixed	100	100	1	487,648	487,648	100	16,254

图 35 网络性能测试结果

6) 使用图表等可视化分析工具呈现测试结果

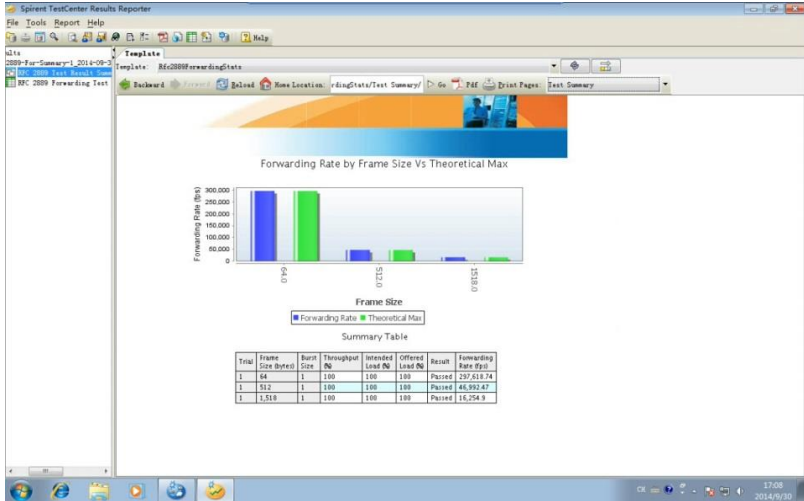


图 36 测试结果分析与展示

➤ 使用效果

远程共享实验平台中的物理层交换机用于建立被测设备间的全互联拓扑(俗称“万能拓扑”),通过基于 Web 的客户端可以灵活地调整 6 组被测实验网络的拓扑结构,远程进行各种不同手工或自动化测试实验。

提供此类项目的“网络性能测试与分析”远程虚拟实验室,支撑了多次面向全国高校的《网络性能测试与分析》课程骨干教师培训,并先后为北京工业大学等 11 间兄弟院校的学生提供了年达 12000 学时的远程实验教学开放,缓解了它们在网络性能测试实验室建设中暂时性的困难。

(3) 类型 3——基于硬件虚拟的网络互连实验

➤ 实现机理

网络互连实验平台以安装了专用客户端的 Windows 7 虚拟桌面为入口,以路由交换互连引擎为虚拟网络拓扑生成的核心,互连其它虚拟网络主机和虚拟网络设备,其架构如图 37 所示。

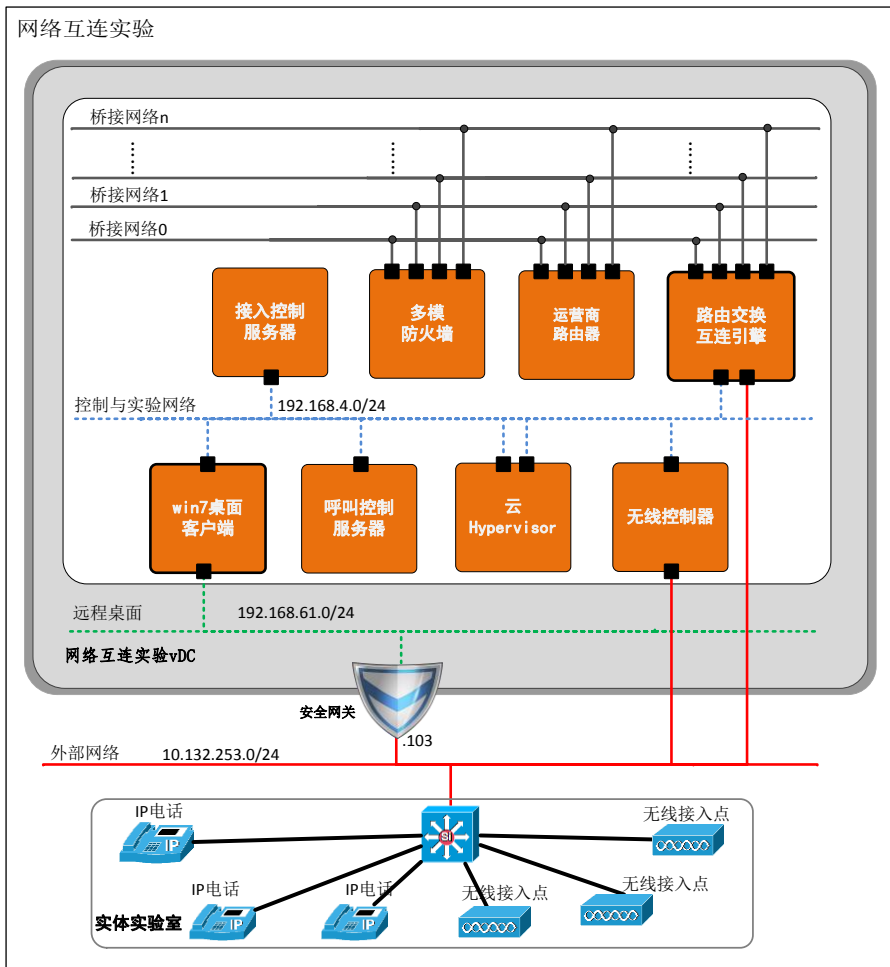


图 37 网络互连实验平台架构

其中路由交换互连引擎使用 **Python** 语言自主开发而成，实现了对路由器和交换机两种网络设备的硬件虚拟。在图形用户界面的客户端的编排驱动下，服务端构建虚拟网络设备的运行实例，加载三层网络操作系统（路由器）或二层网络操作系统（交换机），并完成虚拟网络设备之间的拓扑连接映射，形成基本的路由交换互联网络环境。路由交换互连引擎的客户端还可以支持 **PC** 终端的软件仿真，能被指定分布于网络拓扑中不同位置，用于在网络互连环境中测试网络的连通性。

路由交换互连引擎具有以下特点：

1. 加载真实的网络操作系统，支持几乎所有基于路由器和交换机的网络特性，包括路由交换、安全、语音、组播等；
2. 虚拟设备间连接通过端口映射的方式完成，轻松实现基于图形化界面的实验网络拓扑的自动编排；
3. 服务端支持通过端口映射与外部网络相连接，包括其它虚拟网络设备或虚拟主机，以及通过云 **Hypervisor** 的虚拟网络与实体网络设备互连，如图 38 所示；
4. 客户端支持与基于 **QEMU**、**VirtualBox** 或 **VMware workstation** 的虚拟网络设备或虚拟主机进行互连；
5. **CPU**、内存等计算资源消耗低，支持大量的虚拟网络设备实例同时运行。

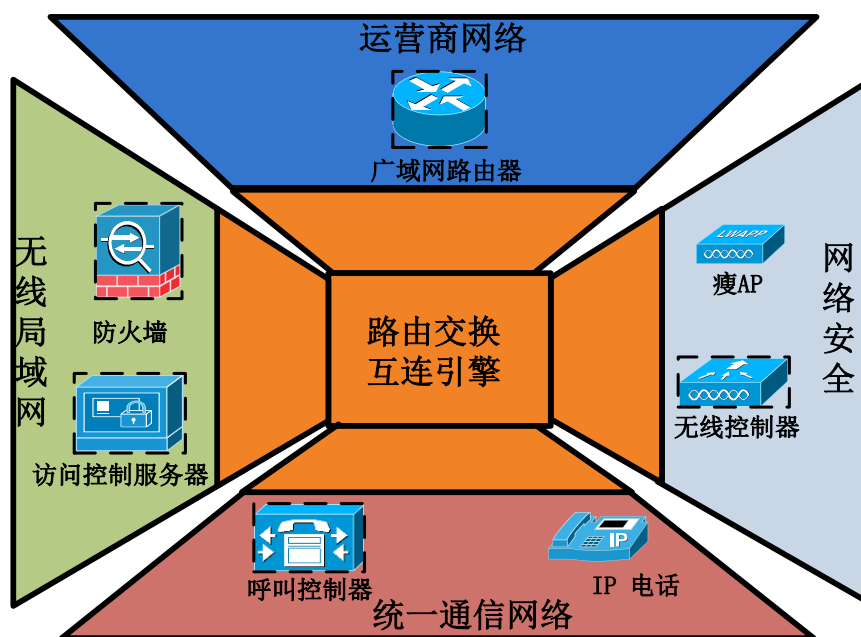


图 38 以路由交换为核心的网络互连实验

路由交换互连引擎所支持连接的扩展网络设备的详细信息如表 19 所示。

表 19 路由交换互连引擎的扩展网络设备

设备	品牌	软件/硬件	版本	形态	支持特性	互连模式
呼叫控制服务器	思科	CUCM	8.5	虚拟主机	统一通信	直连
无线控制器	思科	vWLC	7.3	虚拟设备	无线局域网	直连
接入控制器	思科	ACS Server	5.2	虚拟主机	网络安全	直连
多模防火墙	思科	ASAv	8.42	虚拟设备	网络安全	桥接
运营商路由器	思科	XRv	5.20	虚拟设备	运营商	桥接
路由器、交换机	H3C	Comware	7.0	嵌套虚拟	路由交换	桥接
路由器、交换机	华为	eNSP	1.2	嵌套虚拟	路由交换	桥接
无线接入点	思科	AIR 1252G		实体设备	无线局域网	外连
IP 电话终端	思科	IP Phone 7975G		实体设备	统一通信	外连
云 Hypervisor	VMware/Citrix/Microsoft			虚拟主机	数据中心	直连

➤ 主要功能与教学应用

课内实验部分，作为专业课程实验的课前预习和课后学习的主要载体，网络互连实验平台通过对路由器和交换机的硬件虚拟生成与实体实验室相一致的实验网络拓扑，加载与实体网络设备相同的网络操作系统，围绕既定的实验主题进行网络工程的部署与实施、验证与测试等训练，提高学生的综合实践能力。

课外实践部分，网络互连实验平台是开放实验项目、职业资格认证、专业技能竞赛和学生科技创新项目等课外活动的主要支撑，支持的网络规模与分组数超过实体实验室的限制，能同时容纳大量的项目小组和学生个人进行大中型网络工程项目的设计、配置与验证，以弥补实体实验条件的不足。

➤ 项目示例描述

以“园区网络安全的综合设计与实施”实验项目为例：

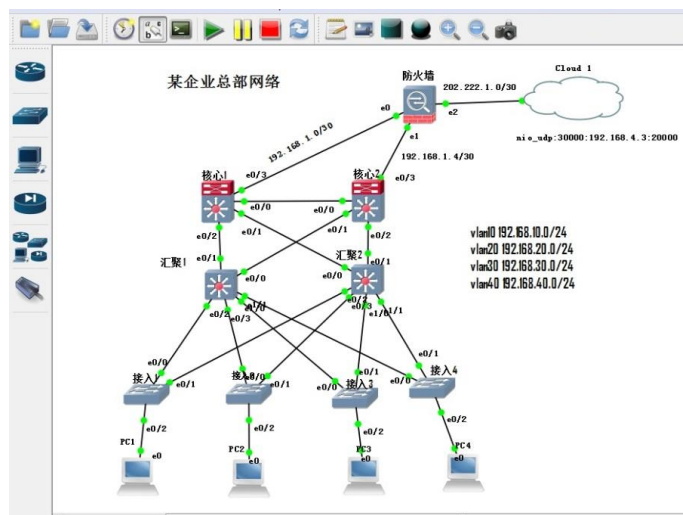


图 39 “园区网络安全的综合设计与实施” 总部网络拓扑

- 1) 登陆虚拟桌面后，在专用客户端中指定 “路由交换互连引擎” 服务端的地址与端口。

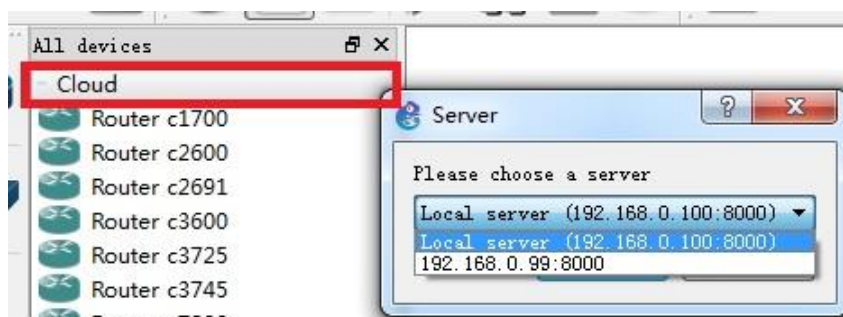


图 40 指定远端的互连引擎

- 2) 在网络拓扑空间中创建虚拟网络设备，指定其以太网和广域网接口模块的数量、操作系统映像的类型与版本，为虚拟网络设备选择加载初始运行配置文件。

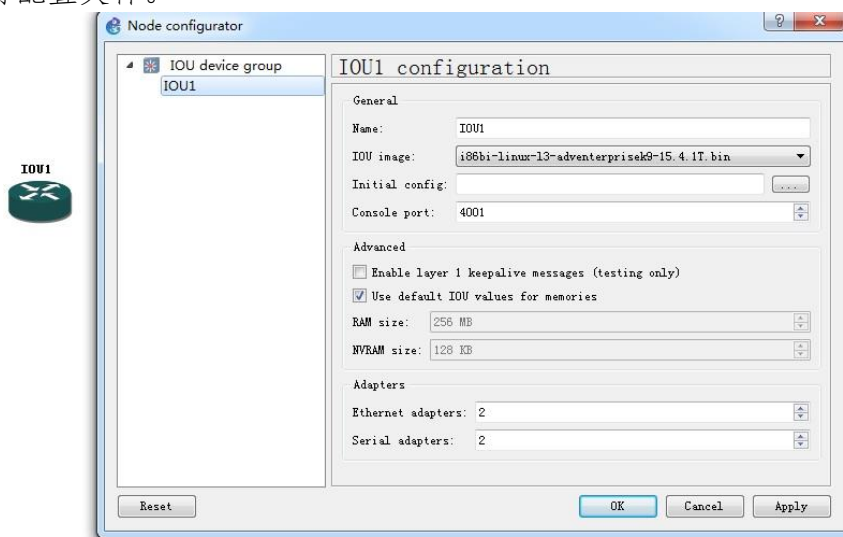


图 41 创建虚拟网络设备

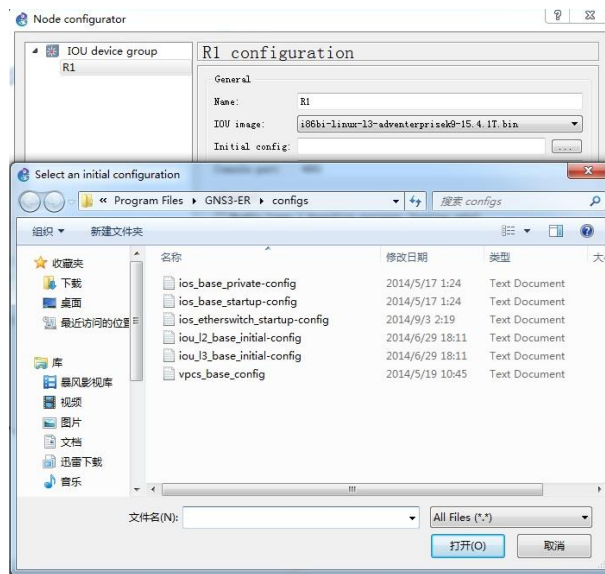


图 42 指定虚拟网络设备的初始运行配置文件

3) 通过拖拽定义虚拟网络设备间的连接。

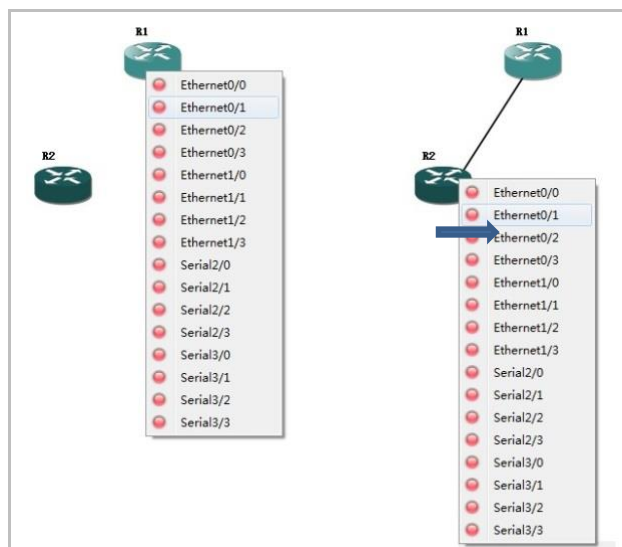


图 43 连接虚拟网络设备

4) 添加用于测试网络连通性的虚拟 PC 终端。

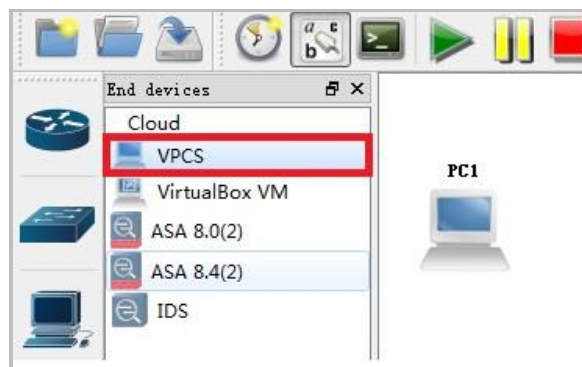


图 44 连接虚拟 PC 终端

5) 添加虚拟 PC 终端在客户端中启动整个实验拓扑，路由交换互连引擎在后台生成相关的虚拟网络设备实例，跟在实体实验室一样，使用命令行终

端、浏览器或设备专用客户端对虚拟网络拓扑进行配置、测试等实验任务。

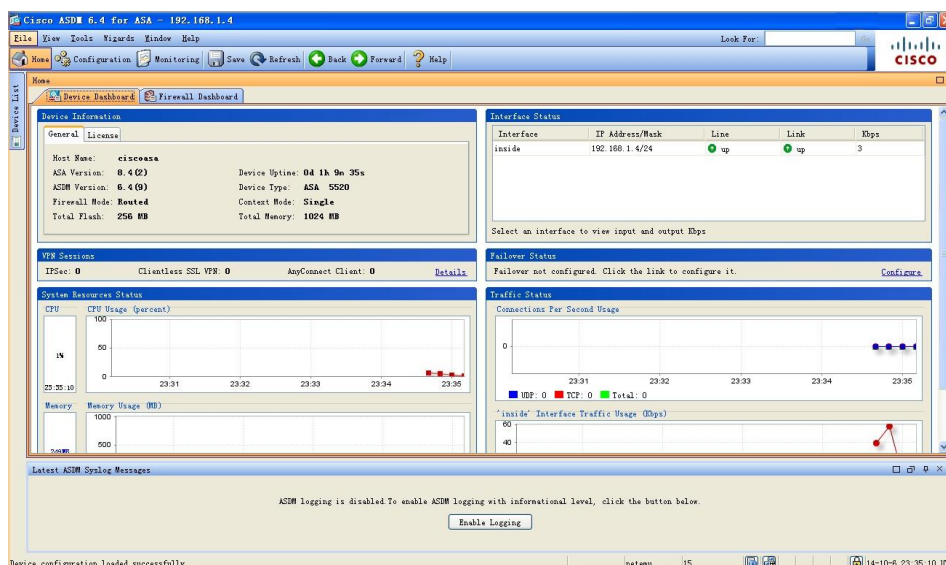


图 45 使用 ASDM 配置和管理虚拟防火墙

➤ 使用效果

与真实设备有一致的交互体验、不受限制自主构建网络拓扑、保存当前实验进度以及使用便捷等优点使得网络互连实验平台备受学生欢迎，80%以上的学生首选使用该平台进行网络互连相关的开放实验项目的研究与探索。

(4) 类型 4——硬件虚拟与软件仿真相结合的综合互连实验

➤ 实现机理

综合互连实验平台以思科公司提供的虚拟互连路由实验室（Virtual Internet Routing Lab, VIRL）为硬件虚拟服务引擎，以图形用户界面的编排软件 VM Maestro 为软件仿真客户端，如图 46 所示。

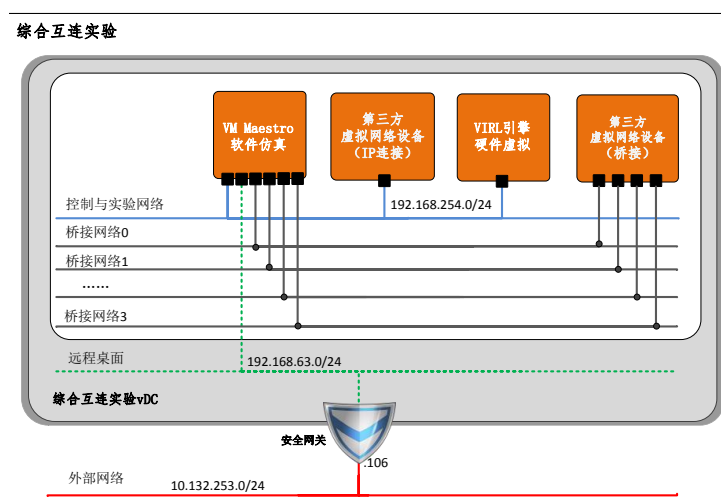


图 46 综合互连实验教学平台架构

VIRL 引擎支持对路由交换网络、运营商网络、企业边缘网络以及数据中心网络等各类网络设备的模拟，以及 Juniper SRX 系列以及其它第三方厂商网络设备

的模拟。此外，VIRL 引擎还通过对大中小不同计算资源规模的虚拟主机的管理，来支持以 Linux 主机形式交付的网络设备或网络服务软件，如图 47 所示。



图 47 VIRL 所支持的网络设备与操作系统

除系统内置外，在综合互连实验平台中，还通过二次开发，对 VIRL 引擎所能管理与支持的网络设备类型进行了扩展与定制，使其支持对 H3C、Juniper 等第三方网络设备的硬件虚拟。到目前为止，该平台所能支持的虚拟设备的完整清单如图 48 所示。

Node Subtypes

Note: this list will grow automatically when new subtypes are autodetected.

Name	Icon	Show in Palette	Interface name format	Min interface	Max interface
ASAv		asav	false	GigabitEthernet0/0	026
BGP				0	39
CSR1000v		csr1000v	true	GigabitEthernet0	215
EXT-ROUTER		access_point	false	link0	01
FLAT		cloud	false	link0	01
IOS XRv		ios_xrv	true	GigabitEthernet0/0/0/0	026
IOSv		iosv	true	GigabitEthernet0/0	114
IOSv_unmanaged		iosv	false	GigabitEthernet0/0	027
NX-OSv		nx_osv	true	Ethernet2/0	127
server		app_server	true	eth0	125
server_unmanaged		app_server	false	eth0	025
SNAT		cloud	false	link0	31
StarOS		staros	false	ethernet 1/0	1021
transport		waas_node	false	eth0	12
Tunnel				0	39
VLAN				0	39
vSRX		router	true	ge-0/0/0	18
Vyatta		router	true	eth0	326

图 48 扩展后 VIRL 所支持的虚拟网络设备类型

VIRL 引擎的软件仿真客户端 VM Maestro 的可视化绘图功能可以从数十个不同的特性角度绘制特定网络系统的视图，以此直观地发现和分析网络设计中存在的问题，然后快速进行修正，图 49 给出了其中一部分视图的名称。

> bgp	> ipv6
> ebgp_v6	> input
> ebgp_v4	> ipv4
> ebgp	> input_directed
> graphics	> I3_conn
> isis	> mpls_ldp
> ip	> nidb
> ibgp_v6	> ospf
> ibgp_v4	> phy
> ibgp_vpn_v4	> vrf

图 49 VIRL 可视化服务的部分视图

➤ 主要功能与教学应用

提供了涵盖路由交换、网络安全、统一协作网络、运营商网络、数据中心网络等网络工程主要技术,支持使用多厂商多类型设备,聚焦网络工程规划与设计、部署与实施、验证与测试综合实践能力培养的大型综合性、设计性与创新性实验,其基本流程如图 50 所示。

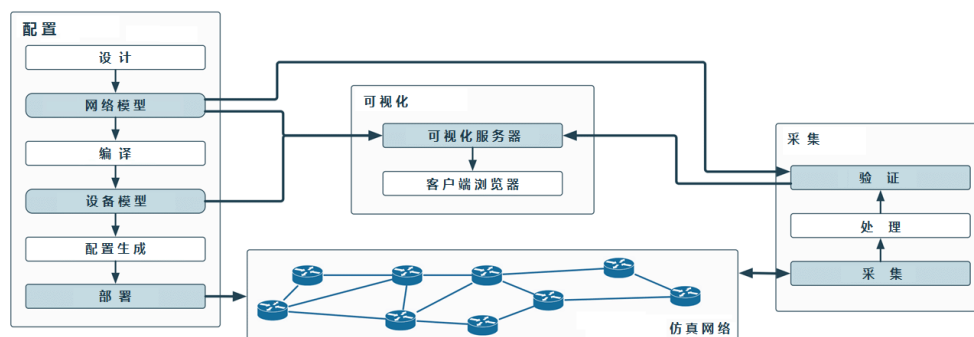


图 50 综合互连实验的基本流程

主要用于“网络工程部署与实施综合实践”、“数据中心与云计算综合实践”、“网络规划与设计综合实践”以及“网络工程创新技能开发训练”等独立设置的综合实践类课程教学,也被学生用于专业实习与毕业设计过程中的系统建模、方案设计与验证。全部项目的原始素材均来自于企业工程师从自己工作实践中精心挑选的工程项目和案例,并与校内课程责任教师共同进行了必要的梳理、开发与归整。

➤ 项目示例描述

以“网络规划与设计综合实践”课程实验项目“邮政综合计算网解决方案”为例:

- 1) 在软件仿真客户端的设计空间中,通过拖拽鼠标进行相应虚拟网络设备节点的选型和放置,按拓扑结构进行虚拟网络设备间的连接,完成实验网络拓扑结构。

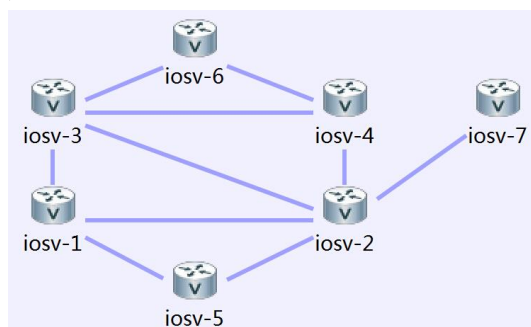


图 51 “邮政综合计算网案例解决方案”实验拓扑

- 2) 按物理位置将虚拟设备组合为场点,检查场点间连接是否正确。

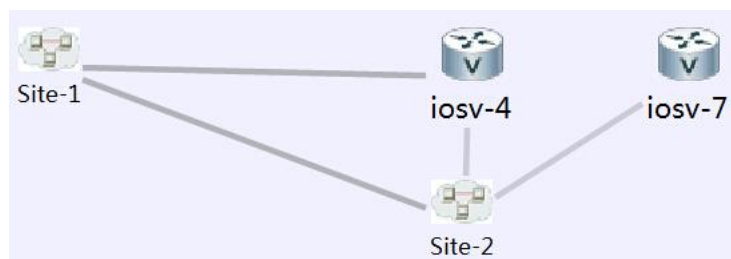


图 52 用场点简化整体拓扑

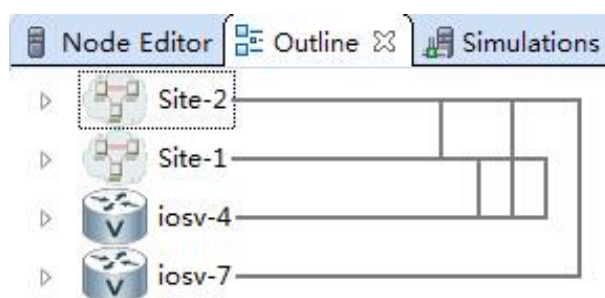


图 53 场点之间的连接性图示

- 3) 使用图形用户界面编辑全局属性，包括 IP 地址空间、路由协议等

图 54 编辑拓扑的全局属性

- 4) 使用图形用户界面编辑节点的属性，包括内部网关路由协议、BGP 等。

图 55 编辑节点的属性

- 5) 启动硬件虚拟，激活网络拓扑中所有虚拟网络设备的运行实例，应用编辑过的属性，系统会自动为每个节点生成详细的初始运行配置，并导入到相应的实例中。如果属性被重新编辑，系统会自动对前后两份运行配置做详细比对，以便于检查。

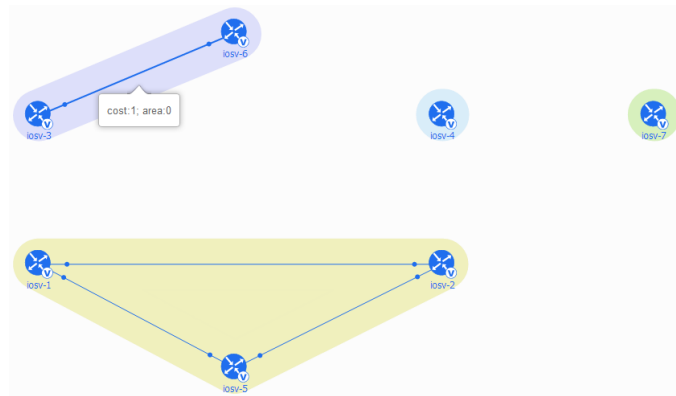


图 59 可视化结果——OSPF 区域视图

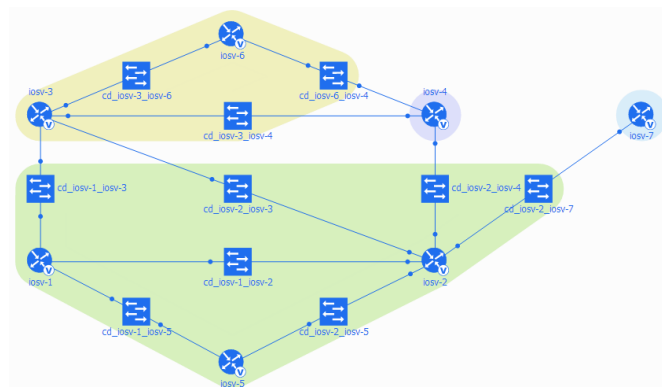


图 60 可视化结果——IPv4 连通性视图

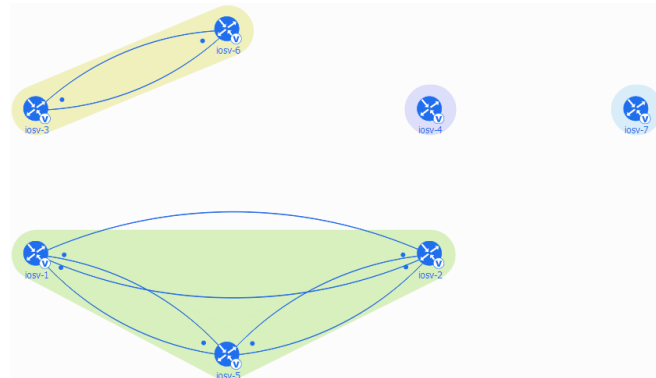


图 61 可视化结果——IBGP 对等体关系视图

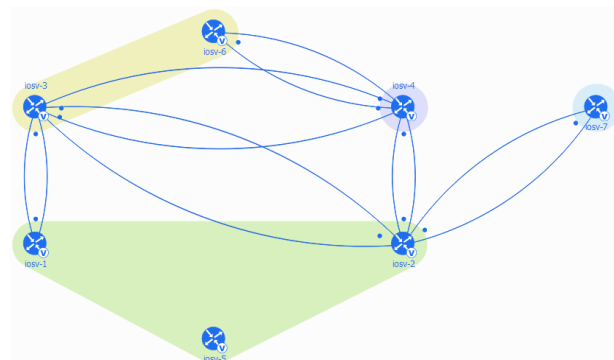


图 62 可视化结果——EBGP 对等体关系视图

➤ 使用效果

使用效果明显，实现了对**大规模、跨厂商、多类型和混合特性网络设备的虚拟仿真**，大量基于网络工程项目与案例的实验教学项目转向运用该平台。不仅网络工程专业的多门综合实践课程从实体实验室迁移到了该平台。不少大四学生在专业实习和毕业设计中，根据企业工程项目的需求与问题，运用该平台就方案设计或者部署该平台进行可行性验证，通过多次“设计(仿真)→部署(虚拟)→验证(仿真)→修改设计(虚拟)”的反复，确定符合用户需求的最优解决方案以及部署配置原型，然后再应用到具体的工程项目中。