

计算机网络在线实验教学 的研究与实践

张力军

- ljzhang@buaa.edu.cn
- 北京航空航天大学计算机学院

北航计算机学院

目录



1 课程建设的背景和目标



2 硬件类在线实验教学平台



3 在线网络实验教学实践

educg.net

计算机类专业实验教学的需求和存在问题

- **专业能力培养对实验教学提出2方面需求**
 - ◆ 对于学生：除了基本的实验课，还必须为学生提供充足的**课下实验时间**
 - ◆ 对于教师：**精准**管理实验过程，**精准**发现学习难点，**精准**评估学习效果
- **问题1：在线实验（尤其是硬件在线实验）教学资源匮乏**
 - ◆ 理论教学在线课程资源非常丰富
 - ◆ 2017年教育部公示的51门计算机类国家精品在线开放课程，未见提供硬件在线实验资源
 - ◆ 浙大、南大、东南、哈工大等均在开展在线实验研究与建设工作
- **问题2：学生开展实验缺乏足够的灵活性和时间保障**
 - ◆ 时间：实验室开放时间均在白天，学生学习则趋于集中在下午和晚上
 - ◆ 管理：设备管理制度难以允许学生长时间或长期占用设备资源
- **问题3：实验教学评价相对粗糙**
 - ◆ 通常仅依赖于单一的成绩指标，缺乏细粒度的过程性数据
 - ◆ 难以精确定位学习难点，难以精确量化学习效果，难以及时反馈给教学设计

□ 总体目标：

- ◆ “**任何人、任何时间、任何地点**” 均能开展硬件类实验学习
- ◆ 将MOOC教学理念应用于**硬件类**在线实验教学
- ◆ 以 “**虚实结合、能实不虚**” 为原则建设在线实验平台
- ◆ 注重**在线实验体验、工程实践性、功能完整性、可靠性**等

□ 工作思路：**四位一体**

- ◆ 在线实验平台，在线实验体系，
- ◆ 在线实验评价指标体系，在线实验过程控制

□ 教学方法：**实验MOOC、微观量化**

- ◆ 在线实验MOOC教学、在线实验与实验室翻转课堂教学相结合
- ◆ 以细粒度全过程数据为基础，运用科学方法研究教学中的具体细节问题

目录



1 课程建设的背景和目标



2 硬件类在线实验教学平台



3 在线网络实验教学实践

educg.net

北航硬件在线实验平台（虚实结合、能实不虚）

建设目标：建设一个全时空、在线式、全实物的硬件云平台。



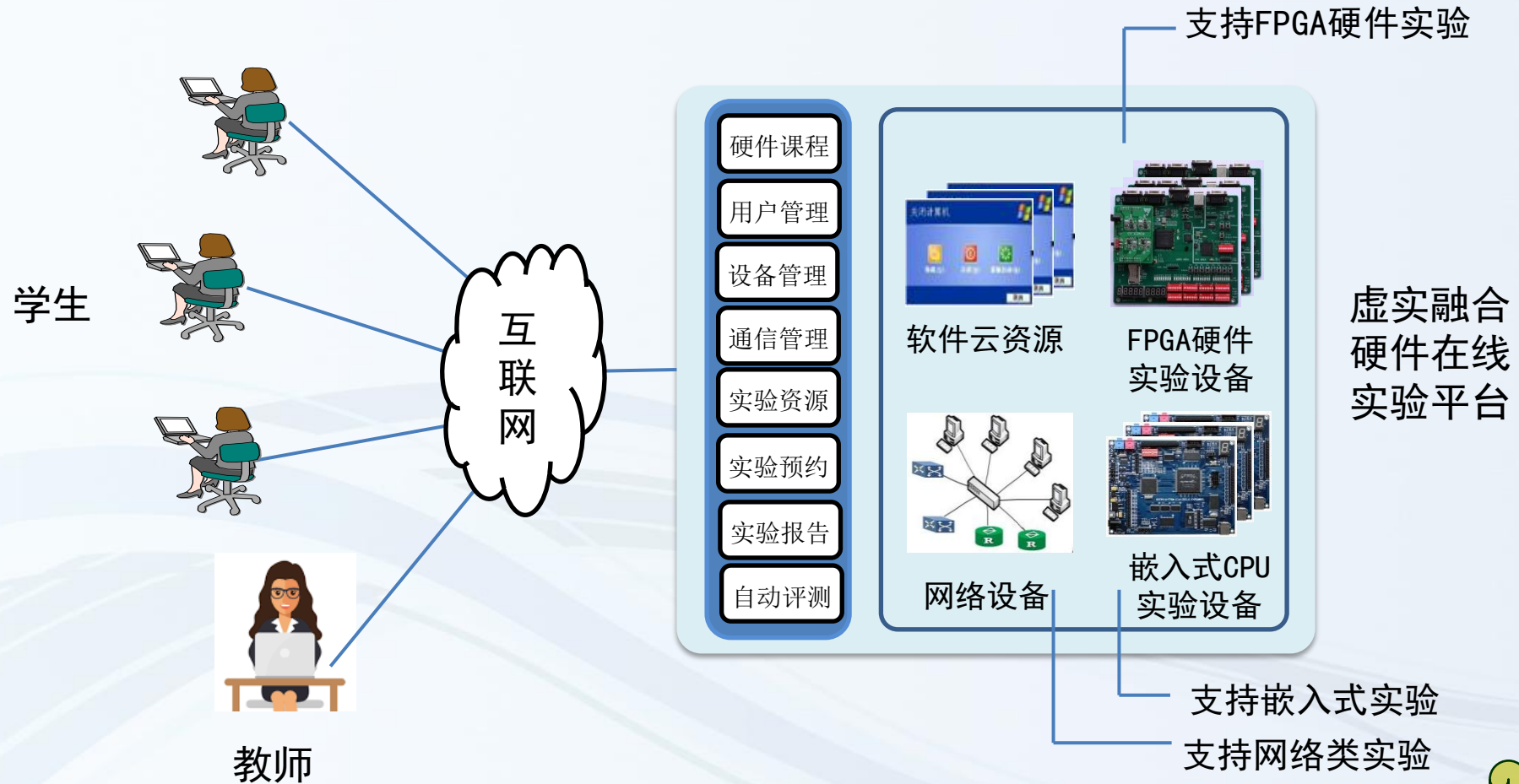
MOOC V2.0 = 理论MOOC+实验MOOC

educg.net



北航硬件在线实验平台

北航硬件在线实验平台



硬件云平台；学生随时、随地做实验；实验体验
多人远程异地联合实验，教师远程同步指导与考核

■ **FPGA硬件在线实验平台**

- ◆ 《数字逻辑实验》
- ◆ 《计算机组成实验》
- ◆ 《计算机EDA设计》
- ◆ 《计算机接口与通信》
- ◆ 《FPGA多核并行计算》
- ◆ 《数字系统设计》

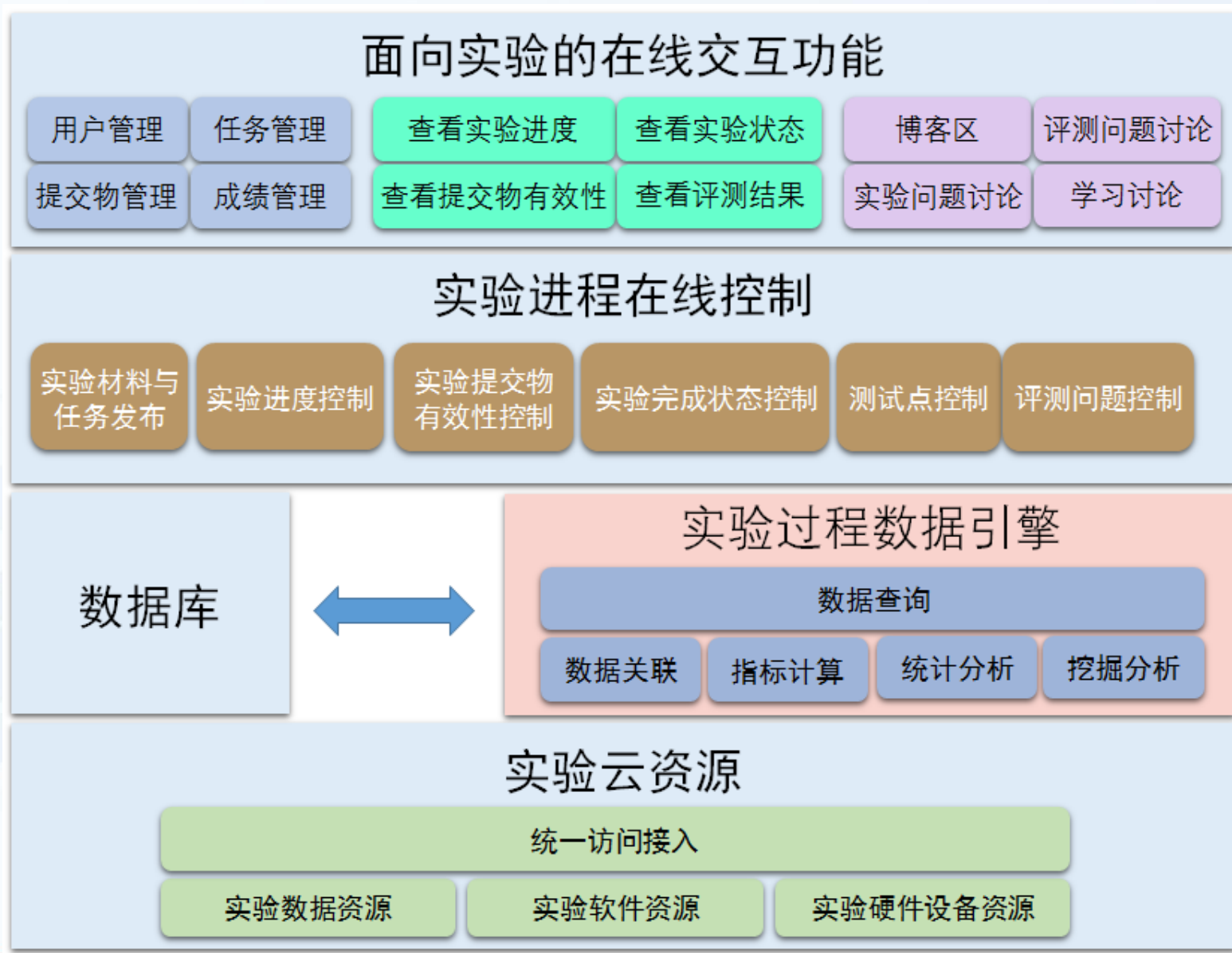
■ **移动计算与嵌入式在线实验平台**

- ◆ 《移动计算》
- ◆ 《嵌入式系统》

■ **计算机网络在线实验平台**

- ◆ 《计算机网络实验》（本科生）
- ◆ 《计算机网络与通信实验》（研究生）

北航硬件在线实验平台架构



educg.net

北航学堂MOOC平台架构



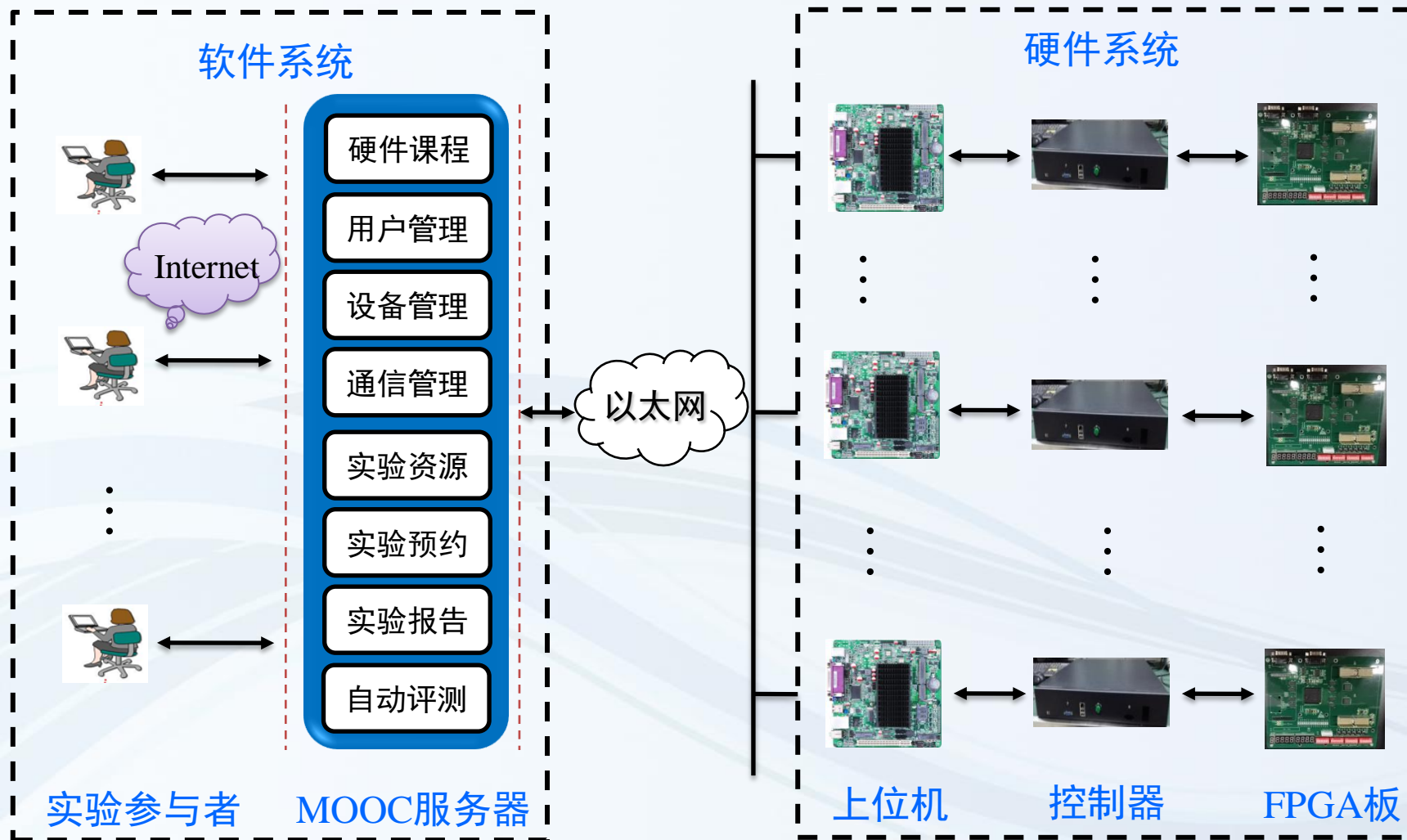
实现理论MOOC平台和实验MOOC平台的无缝连接

educg.net

北航计算机在线实验平台建设进度

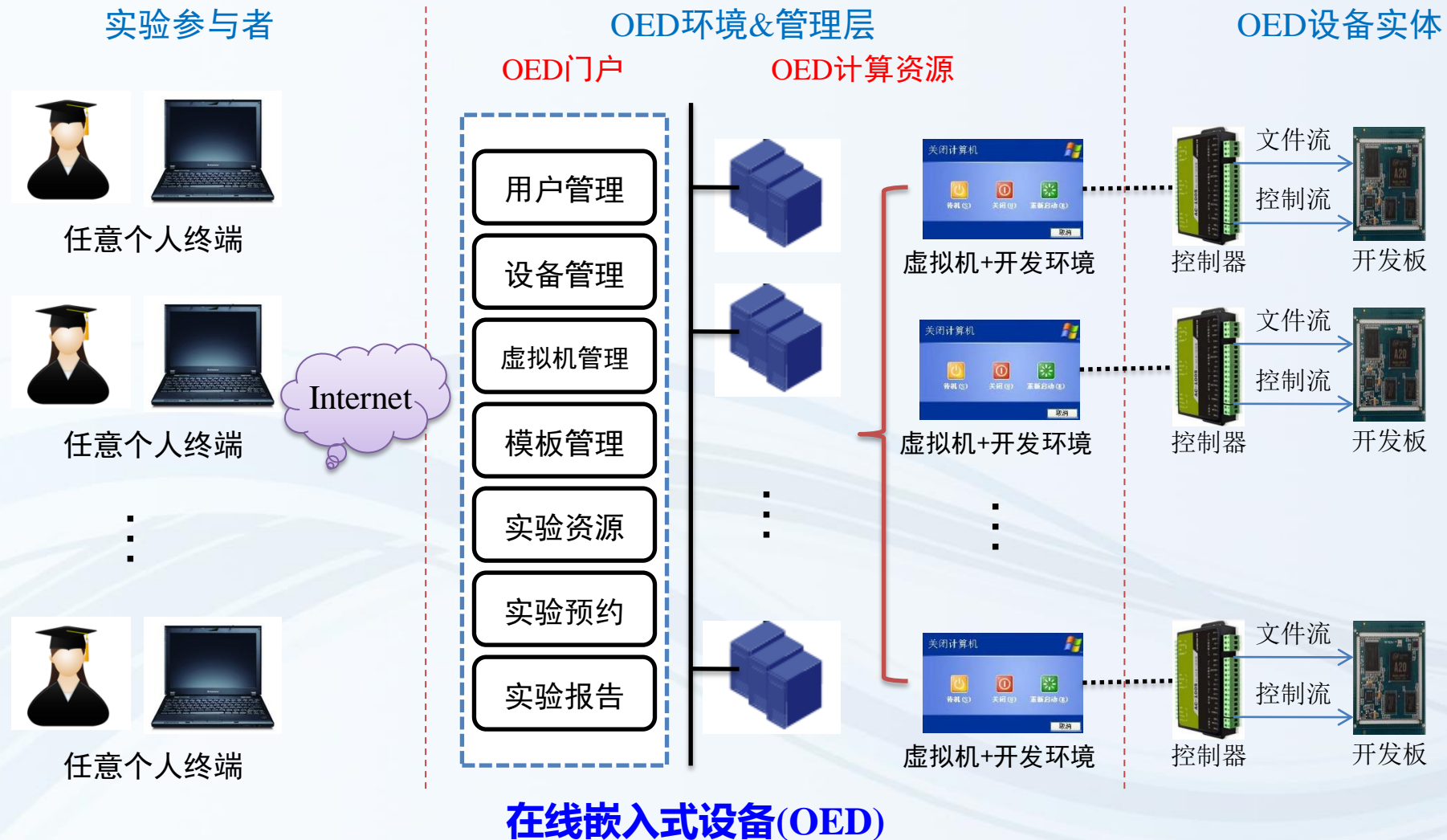


FPGA硬件在线实验平台整体架构



educg.net

嵌入式在线实验平台整体架构



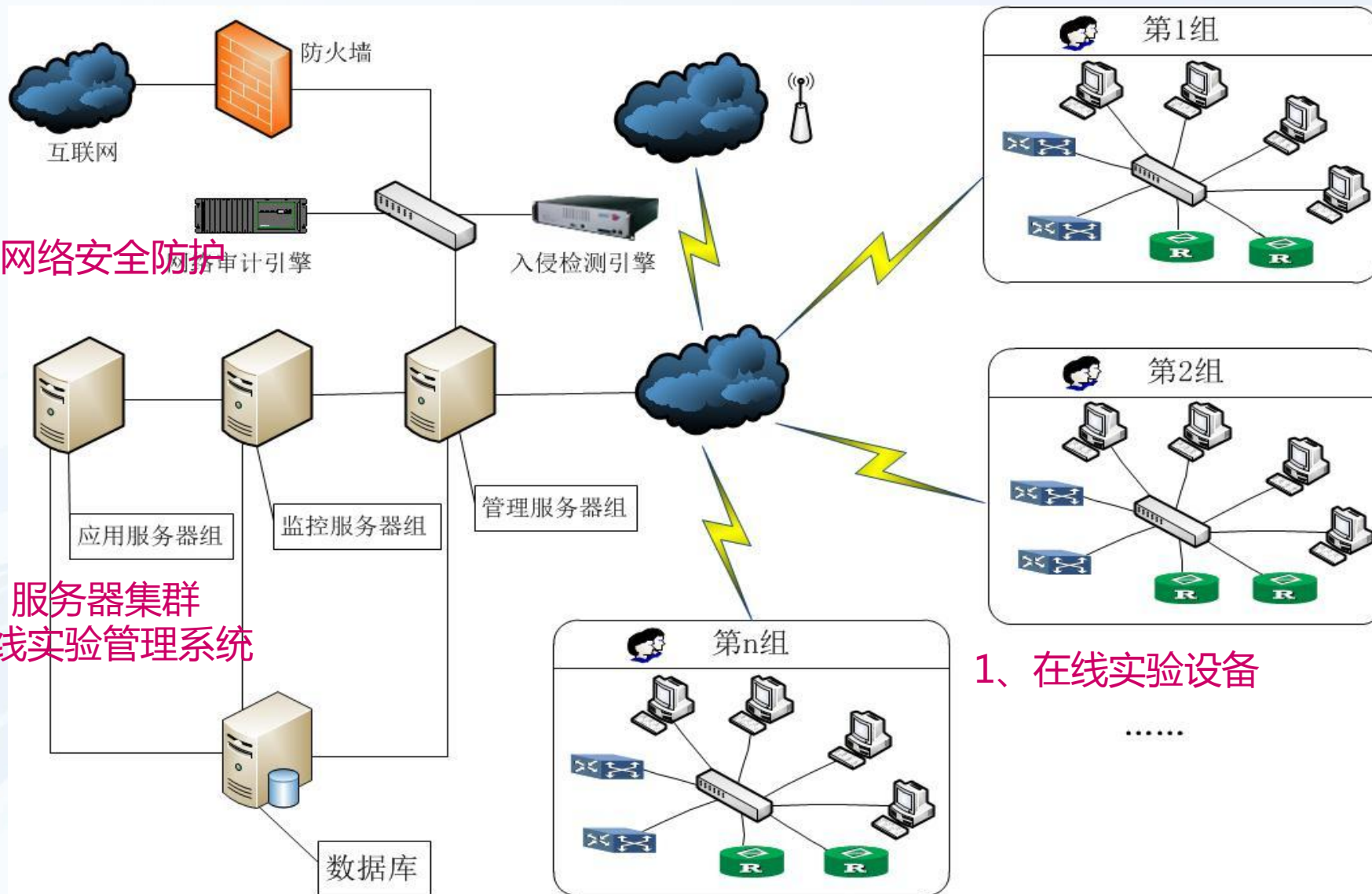
educg.net

计算机网络在线实验平台

3、网络安全防护

2、服务器集群 在线实验管理系统

1、在线实验设备



ducg.net

计算机网络在线实验平台

实现功能：实现整个实验过程的网络化、在线化、智能化

- ① “云”网络实验室，将真实的路由器和交换机部署到网上
- ② 学生远程异地协同完成实验，教师远程在线同步指导；
- ③ 探索多院校合作共建在线实验类课程新模式。

（北京工业大学投入60万元设备共建本平台）

硬件资源：面向校内、校外开放

- ①提供24组设备，每组4台虚拟机、2台路由器、2台3层交换机的硬件资源
- ②支持96人同时在线操作
- ③ 北航本科生和研究生约600人/学年选修MOOC实验课程。

educg.net

计算机网络在线实验平台的使用

学生使用流程：①在线提交申请、预约设备 ②获取硬件资源和软件资源 ③在线完成实验、实时与教师交流 ④获取实验结果和数据分析

< 01 预约设备



计算机网络
在线实验平台

预约单

实验室：	网络实验室0
设备组：	vms0-g1
操作系统：	winxp
实验时间：	2014-12-14 : 11:00 - 12:00
助手人数：	3人

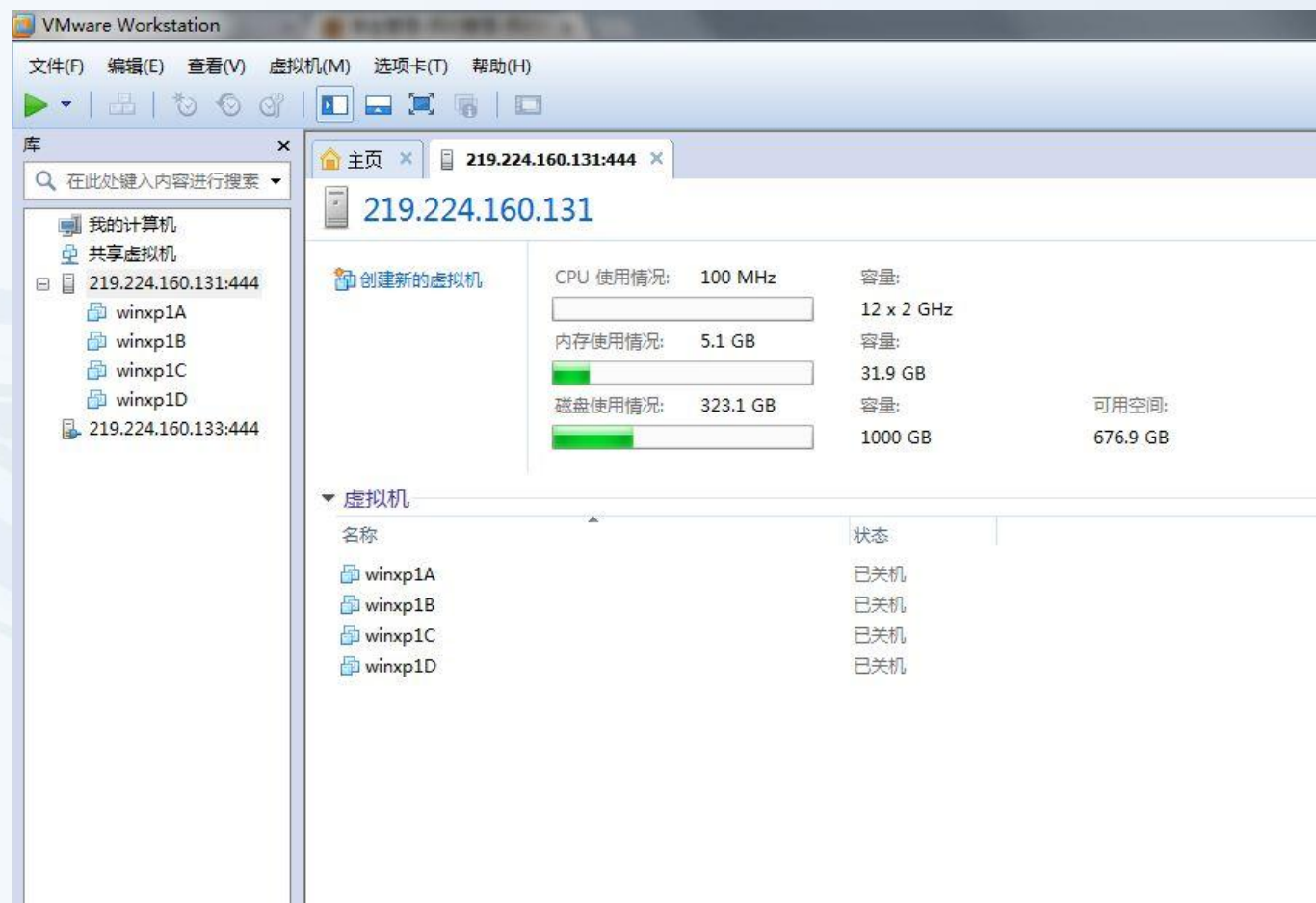
首页 > 我的预约 > 预约结果

预约成功

实验时间：	2014-12-14:11:00-12:00
登录IP:端口：	219.224.160.131:444
登录账号 (密码)：	vms0-g10-141112(10dz)
助手账号 (密码)：	vms0-g10-141112-A[1~n] (i7i0)
提示：拷贝账号与密码时请去掉前后的空格。	
(1) 本实验需要使用vmware公司的vmware workstation软件，请下载并安装软件。	
(2) 软件安装后，请使用“连接到远程服务器”功能连接到上面给定的登录IP和端口，进行远程实验。	
(3) 下载地址： http://www.vmware.com/cn/products/workstation/workstation-evaluation ；	

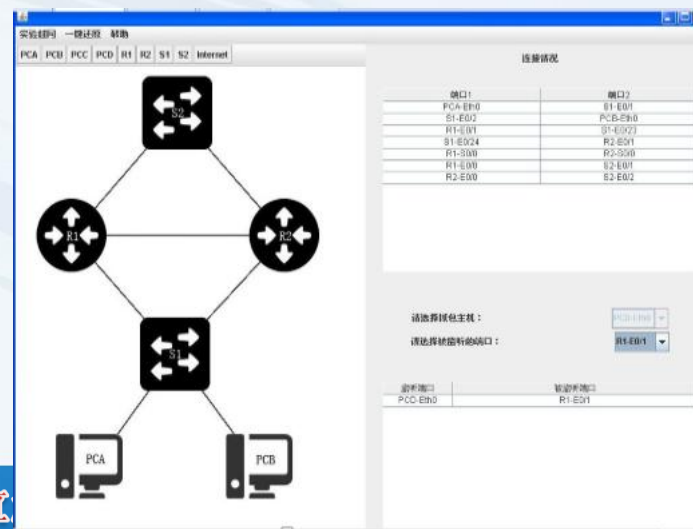
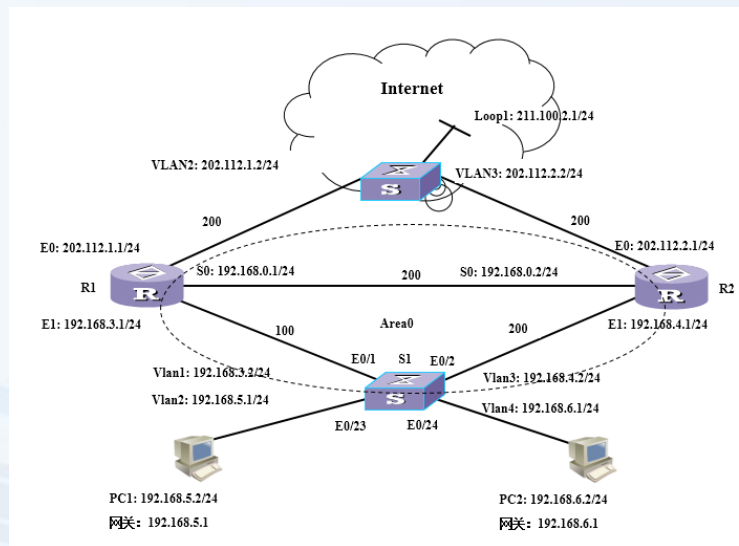
计算机网络在线实验平台的使用

学生使用流程：①在线提交申请、预约设备 ②获取硬件资源和软件资源
③ 在线完成实验、实时与教师交流 ④获取实验结果和数据分析



计算机网络在线实验平台的使用

学生使用流程：①在线提交申请、预约设备 ②获取硬件资源和软件资源
③ 在线完成实验、实时与教师交流 ④获取实验结果和数据分析

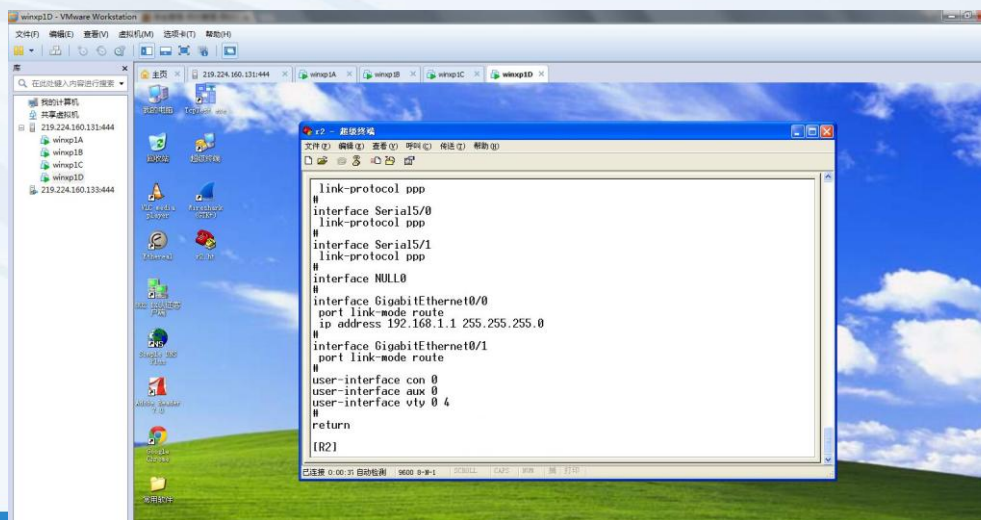
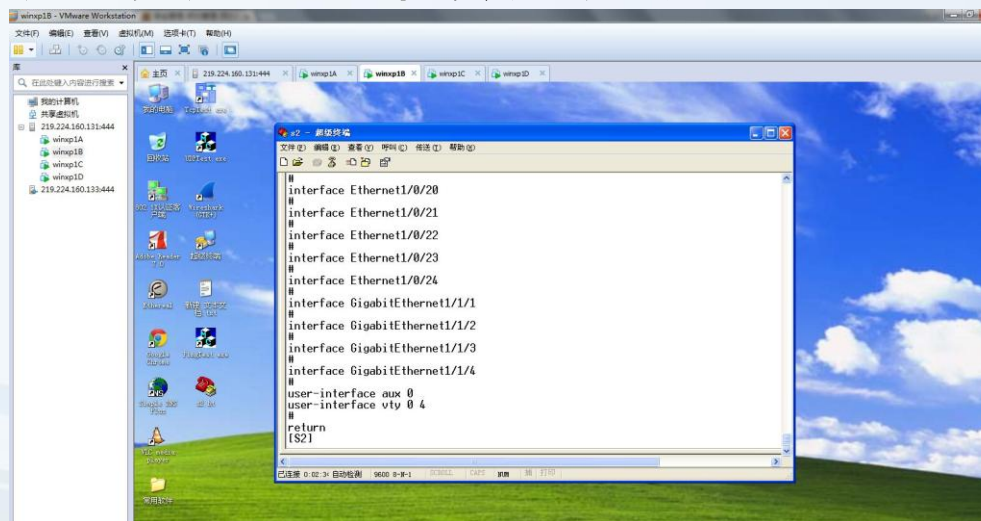


远程连线组网

educg.net

计算机网络在线实验平台的使用

学生使用流程：①在线提交申请、预约设备 ②获取硬件资源和软件资源
③ 在线完成实验、实时与教师交流 ④获取实验结果和数据分析

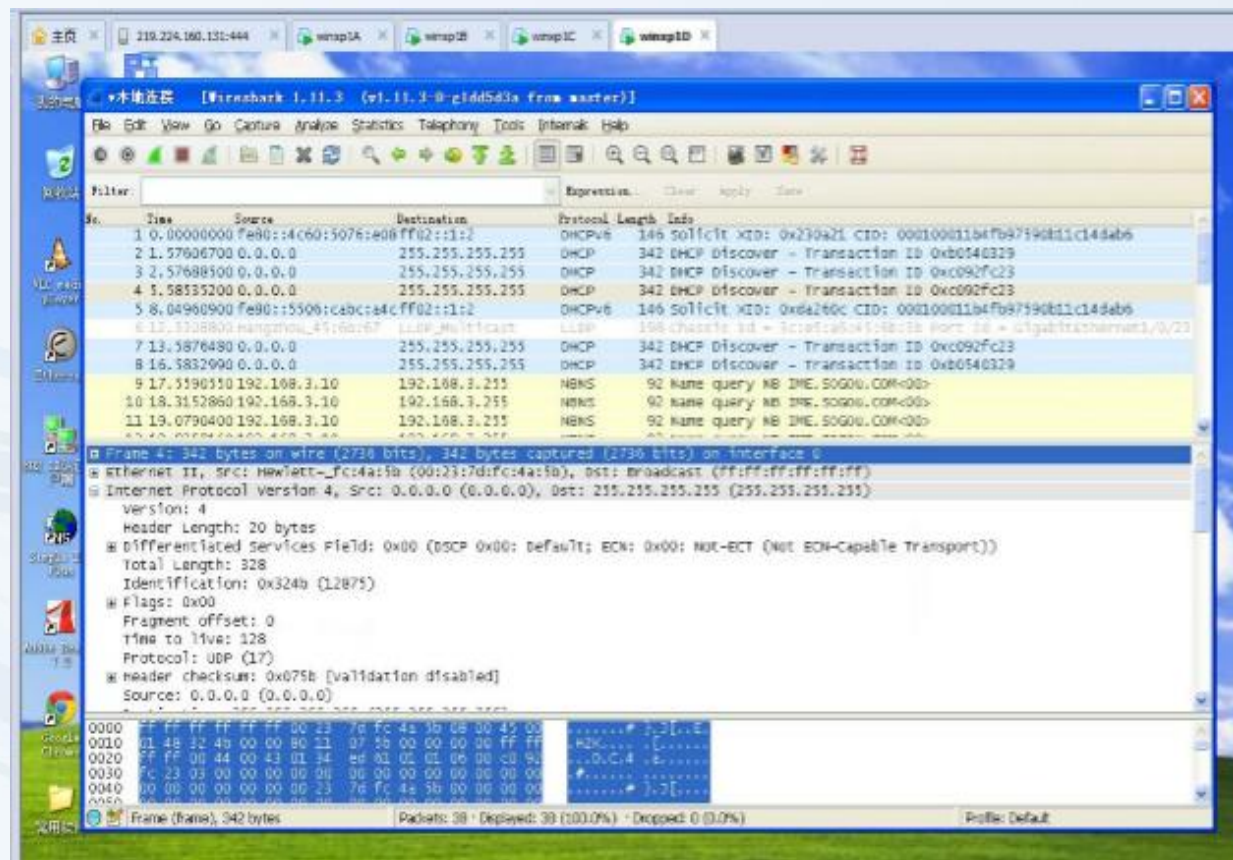


远程配置路由器交换机

ucg.net

计算机网络在线实验平台的使用

学生使用流程：①在线提交申请、预约设备 ②获取硬件资源和软件资源
③ 在线完成实验、实时与教师交流 ④获取实验结果和数据分析



educg.net

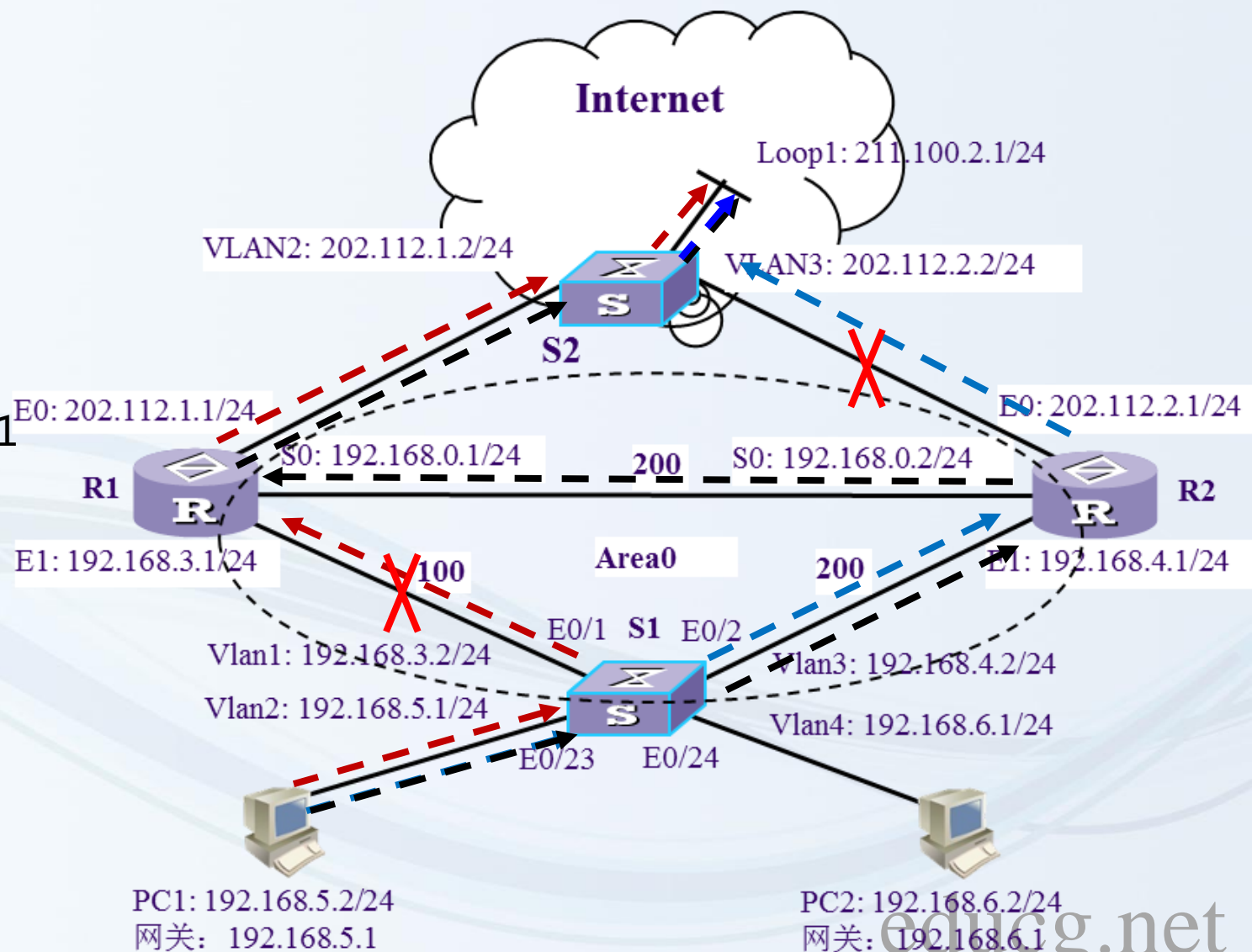
举例：OSPF路由备份设计型实验

■ 设计要求

- ◆ 全网互通
- ◆ PC通往互联网有3条路径
- ◆ 3条路径设置不同的优先级
- ◆ 第一：PC—S1—R1—S2—Loop1
- ◆ 第二：PC—S1—R2—S2—Loop1
- ◆ 第三：PC—S1—R2—R1—S2—Loop1

■ 实验设计

- ◆ OSPF基本设置
- ◆ 静态路由设计（路由聚合）
- ◆ OSPF路由引入（静态、直连）



在线网络实验平台的特点（1）

- **实现了“云网络实验室”**

- 将由**路由器、交换机和网络实验专用教学软件**所组成的网络实验系统部署到了互联网上；
- 学生在宿舍、家里能够远程自由组网和配置；
- 实验体验与实验室几乎一样。

- **实验平台的方便实用和可维护性**

- 实验设备的预约、多用户角色管理，24小时运行；
- 虚拟机软件的配置，方便使用，提高效率；
- 虚拟机自动还原，路由器和交换机的自动清空；
- 虚拟机可灵活选择linux、WinXP、Win7系统。

educg.net

在线网络实验平台的特点（2）

- **实验平台具有良好的可扩展性**

- 支持网络设备与网络模拟器的虚实结合实验
- 虚拟机配置双网卡，安装H3C网络模拟器软件后，该虚拟机就可以作为一台路由器使用；
- 创造条件开设先进技术和更大规模的网络实验

- **支持自主型实验、创新型实验**

- 为自主型、创新型实验提供一个“云”实验平台
- 自主设计开发网络协议或算法，并利用平台设备，进行远程开发与验证。突破传统的时间和场地的限制。

educg.net

创新
实践基金

创新型实验

研究型实验
该平台能满足北航多层次网络实验教学的要求

网络基本原理实验

计算机网络实验层次结构图
北航计算机学院

educg.net

计算机网络实验体系



目录



1 课程建设的背景和目标



2 硬件类在线实验教学平台



3 在线网络实验教学实践

educg.net

课程资源建设

□ 计算机网络在线实验平台

- ◆ <http://network-lab.mooc.buaa.edu.cn>

□ 网络实验MOOC课程两门（北航学堂）

- ◆ <http://www.mooc.buaa.edu.cn>

- ◆ 计算机网络实验MOOC课程（本科生）

- ◆ 计算机网络与通信实验MOOC课程（研究生）

□ 网络实验MOOC教材

- ◆ 《计算机网络实验教程（第二版）》高等教育出版社，2017年9月。北京市精品教材



educg.net

北航网络实验MOOC课程

- 北航学堂：www.mooc.buaa.edu.cn
- 计算机网络实验（本科生，32学时，2学分）
- 计算机网络与通信实验（研究生，48学时，3学分）



educg.net

计算机网络实验（本科生）MOOC网站

教员视图

《计算机网络实验》课程宣传片

课程宣传片

《计算机网络实验》课程介绍

远程在线计算机网络实验平台介绍

实验1 网络实验入门

实验2 数据链路层实验

实验3 网络层实验

实验4 RIP路由协议实验

实验5 OSPF协议实验

实验6 传输层实验

实验7 应用层实验

实验8 综合网络组建实验

实验9 无线网络实验

实验10 网络编程实验



在职员界面查看单元

课程宣传片



0:45 / 1:23



速度 1.0x



工作人员调试信息

课程宣传片

课程宣传片

课程介绍与说明

北航远程在线计算机网络实验平台介绍

实验1 网络实验入门

实验2 链路层和网络层实验

实验3 OSPF协议实验

实验4 BGP协议实验

实验5 网络管理实验

实验6 传输层实验

实验7 组播技术实验

实验8 IPv6技术实验

实验9 无线网络实验

实验10 综合网络组建实验

实验11 网络编程实验



在职员界面查看单元

VIDEO

工作人员调试信息



计算机网络实验

- ✓ 远程在线网络实验平台的介绍与使用
- ✓ 路由器和交换机的基本配置
- ✓ 报文分析软件Wireshark的使用



计算机网络实验

- ✓ 以太网帧格式分析
- ✓ 交换机MAC地址表和端口聚合
- ✓ VLAN配置与分析
- ✓ PPP协议分析



计算机网络实验



计算机网络实验

- ✓ 静态路由的配置
- ✓ RIP协议基本分析
- ✓ 距离矢量（DV）算法分析
- ✓ 触发更新与水平分割的作用分析



计算机网络实验

OSI在其标准（ISO 7498-4）中提出了网络管理标准的框架，将网络管理分为：

- ✓ 系统管理（管理整个OSI系统）
- ✓ 层管理（管理某一层次）
- ✓ 层操作（对一个层次中管理通信的一个实例进行管理）

- **实验预习**

- 课下观看实验讲解视频、PPT和实验操作录像
- 填写预习报告，网上答题

- **在线实验（安排教师、助教远程指导）**

- **北航学生**，部分基础、简单实验，**总学时1/3**
- **外校学生**，全部实验在线完成
- 实验报告评判

- **课堂实验（实验室，北航学生，总学时2/3）**

- 综合型、设计型、自主型实验，尝试翻转课堂

- **实验考核（实验室单独闭卷上机考试，1.5小时/人）**

- **MOOC视频观看情况**
 - 记录观看时长
 - 记录交互次数
 - 作为考勤参考
- **测试题完成情况**
 - 每个实验8-10道不定项选择题
 - 完成度和正确率作为成绩参考
- **互评题完成情况（设计型实验：自网络层实验开始）**
- **在线实验平台的预约与使用情况**

□ 层次式的评价指标体系核心特征：

可微观量化、可进阶

- ◆ 涵盖了实验各个阶段活动：包括学习实验资料、预习、提交实验结果和报告、检查完成情况、讨论参与等各个方面
- ◆ 能够从微观角度对实验效果和学生的能力获得情况进行量化评价
 - 对于学生：为学生学习和提升定义了台阶
 - 对于老师：从3个层次分析学生的能力获得分布情况，并改进教学设计



三层次实验教学的指标体系

构建四个层次的实验内容和网络工程技术能力培养目标



■ 网络协议的设计与开发能力（少数拔尖学生）

- 面向全校硕士生和博士生（含保研和直博的本科生）
- 发布申请指南，10万元/年，资助8-10个创新实践项目。

■ 网络协议的设计与开发能力（少数拔尖学生）

- 设计并实现新的网络协议、算法或系统
- 项目制管理（选题、定期讨论、中期检查、验收答辩）

■ 网络协议理解与应用能力和工程实践能力（全体学生）

- 网络综合设计实验、复杂网络工程设计实验
- MPLS VPN技术、无线传感器网络技术、
- OSPF协议、BGP协议、IPv6技术、组播技术

■ 核心知识理解与应用能力和工程实践能力（全体学生）

- 应用层（DNS、HTTP、邮件协议、DHCP） 网络管理
- 传输层（TCP、拥塞控制、UDP） 无线网络
- 网络层（IP、ARP、ICMP、分片等） RIP路由协议
- 实验入门 数据链路层（以太网、VLAN、广域网PPP）

在线网络实验教学效果（本科生）

有效促进了教学内容在广度、深度和难度上的提升

表 《计算机网络》实验教学内容

序号	实验套件1 (基础型)	实验套件2 (提高型)
1	网络实验入门	网络实验入门
2	链路层实验	链路层实验
3	网络层实验	网络层实验
4	RIP协议实验	RIP协议实验
5	传输层实验	OSPF协议实验
6	应用层实验	传输层实验
7	综合组网实验	应用层实验
8	网络应用编程	网络应用编程
9		无线网络实验
10	单独上机考试	单独上机考试

本科生 教学效果对比

2015年前

- 提供两套实验
- 实验套件2比实验套件1难度偏大
- 年均30~40人(占20%)选择实验套件2。
- 期末考试以基础型RIP为主
- 题库25套

2015年后

- 仅提供难度较大的实验套件2
- 所有人(100%)都必须做实验套件2
- 期末考试以提高型OSPF为主
- 题库35套。

37

educg.net

关于实验成绩和考试

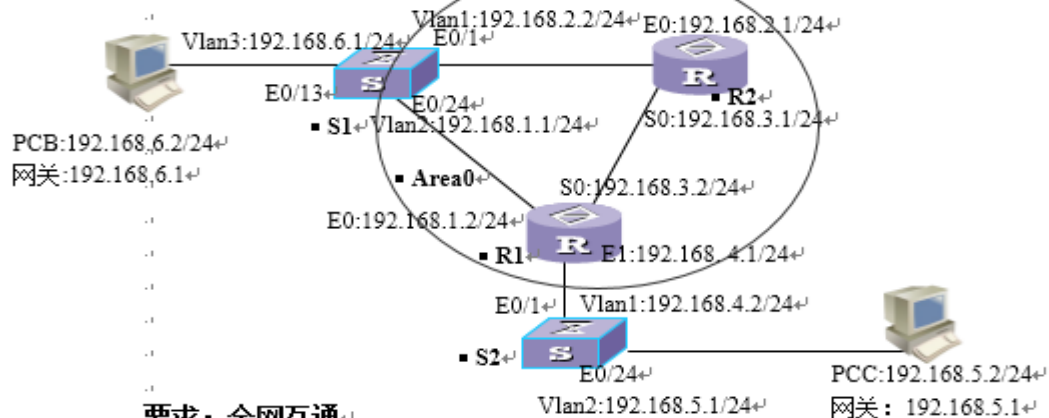
- **成绩 = 平时成绩*0.3 + 考试成绩*0.7**
- **平时成绩**
 - 课堂实验各占**50%**，MOOC学习和在线实验占**50%**。
 - 每次实验成绩会记在实验报告上，**满分10分**。
 - 每次实验成绩要综合考虑预习报告、实验表现、实验报告、是否有抄袭情况、迟到、请假。
- **考试成绩**
 - 单独闭卷上机1.5小时考试，**禁止教师和助教给学生任何提示**
 - 成绩：**上传的配置和中间结果，试卷答题，检查记录。**（每次实验应至少练习上传1次）
 - 防止作弊，考试有监控录像。

《计算机网络实验》期末考试卷（5）

考试卷样例

- 实验室考试
- 单独闭卷
- 90分钟
- 每次15人
- 60%操作
- 40%分析

1. 按照下面的组网图，按要求配置。



要求：全网互通

- (1) 正确组网；(5分)
- (2) 在 S1 和 S2 上划分 VLAN。在 S1 和 S2 上，都是 E0/20 到 E0/24 属于 VLAN2，其余端口属于 VLAN1；另外，S1 上 E0/11 到 E0/19 属于 VLAN3。(5分)
- (3) 配置 S1, S2, R1, R2, PCB, PCC 6 台设备的各接口的 IP 地址；(10分)
- (4) 根据划分的区域，在 S1, R1, R2 上配置 OSPF 协议；(15分)
- (5) 在 S1, S2, R1, R2 上配置相应的静态路由，使全网互通；(10分)
- (6) 配置*****协议，满足****要求。(15分)
- (7) 配置计算机，启动报文截获，写出*****报文结构 (15分)
- (8) 简答题 2 分析****协议 (15分)
- (9) 简答题 3 分析****协议 (10分)

试题内容简介

序号	项目	分数	举例说明
1	连线	5	
2	VLAN配置	5	
3	IP地址配置	10	
4	协议配置1	15	基本协议（RIP/OSPF...）
5	协议配置2	15	组播、IPv6、NAT、TCP...。
6	协议配置3	10	按照要求使全网互通（静态路由...）
7	简答题1	15	截报文、显示协议信息，填写表格等（所见即所得）
8	简答题2-3	25	解释协议的机制、画状态转移图等
	总分	100	

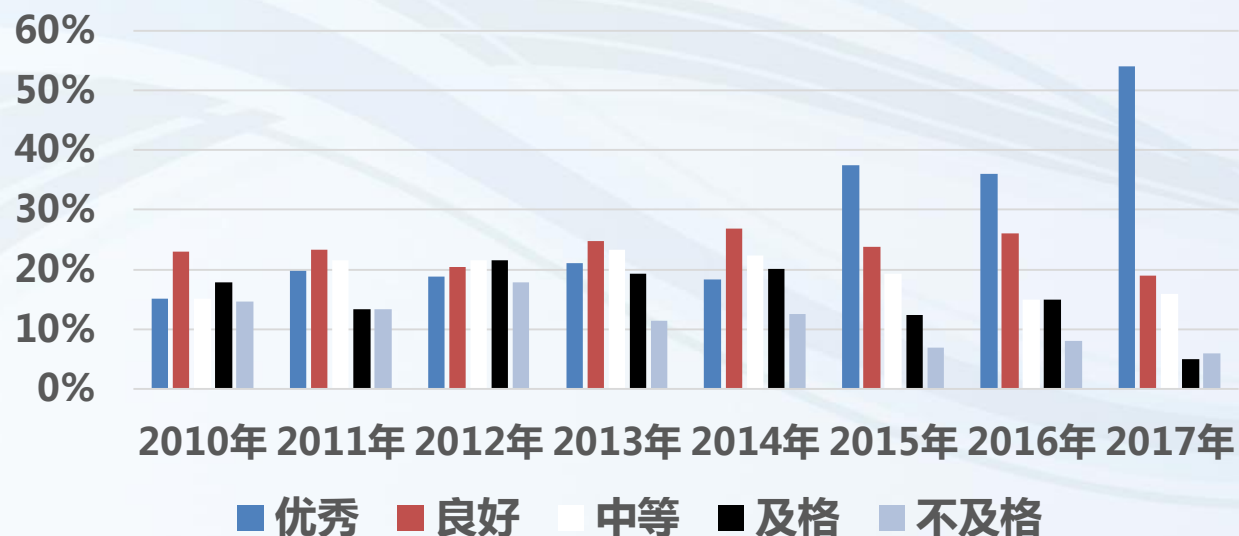
educg.net

本科生教学效果对比

优秀率
大幅提高

等级	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
优秀	15%	20%	19%	21%	18%	37%	36%	54%
良好	23%	23%	20%	25%	27%	24%	26%	19%
中等	15%	22%	21%	23%	22%	19%	15%	16%
及格	18%	13%	21%	19%	20%	12%	15%	5%
不及格	15%	13%	18%	11%	13%	7%	8%	6%

本科生成绩统计



不及格率
明显下降

educg.net

结论

采用MOOC教学方式，在教学内容、范围、深度和难度均有增加的前提下：本科生和研究生的优秀率明显提高，不及格率有较大程度下降。

谢谢！
请批评指正

北航计算机学院