

计算机网络实验实战化的研究与实践

司伟生, 惠煌, 王淑云
大连理工大学软件学院网络工程系
联系地址: siweish@dlut.edu.cn

1 背景

大连理工大学软件学院是国家教育部批准的 35 家示范性软件学院之一。鉴于软件学院的目标是培养面向工程, 动手能力强的学生, 把计算机网络实验课的内容实战化将非常有力的促进这一目标的实现。中国古代思想家荀子说: “闻之不若见之, 见之不若知之, 知之不若行之, 学至于行而止矣。”, 网络实验实战化正可以在“行之”这一学习的最高层次上帮助学生达到对计算机网络理论和技术的掌握。

目前, 计算机网络实验课在我们软件学院被单独当作一门课程来讲授, 并且是所有专业学生必修的一门实践课程。为此, 软件学院已投资近 70 万元购买交换机, 路由器, 防火墙, PC 机等设备, 建立了网络工程实验室。我们进行计算机网络实验实战化的研究也是发挥这些实验设备的优势, 充分利用这些实验设备的需要。

2 国内外网络实验教学现状分析

目前国内大多数重点高校都已开设了计算机网络实验课, 其中一些高校在该课的教学上已经相当成熟, 并且已经有教材出版, 例如清华大学, 浙江大学, 北京航空航天大学等[1-6]。从这些教材中可以看出, 他们在该课内容的设置上各有特色, 有的强调测量分析, 有的强调网络编程, 有的则强调组网和配置。

国外在该课的教学上也已经成熟。国内已经翻译出版了国外的多种网络实验教材, 例如 Jeanna Matthews 著的《Internet Protocols in Action》[7]和 Jorg Liebeherr 著的《Mastering Networks: An Internet Lab Manual》[8]等。从这些教材中可以看出, 国外对该课教学的内容与国内基本相同, 但国外对实践教学环节相当重视, 实践环节在教学中所占的比重一般比国内要大。

总之，国内外许多著名高校对计算机网络实验课的教学都已成熟，与他们相比，我们软件学院对该课的教学尚处于起步阶段。我们将努力赶上并超过他们的水平，并且还要根据软件学院自身的教学特点作出自己的特色。

3 网络工程实验室环境

我们的网络工程实验室共由 12 套实验平台组成，其中每套实验平台包含 2 台交换机（一台华为 3Com S3526 交换机和一台华为 3Com Quidway S2008-EI 交换机），2 台路由器（一台华为 3Com AR 28-11 路由器和一台华为 3Com AR18-12 路由器），以及 4 台 PC 机。图 1 给出了我们一套实验平台的正视图。学生们 4 人一组进行实验，每组使用一套实验平台。对于大型的实验，我们把 2 套或 3 套平台组合在一起来进行。

为了方便摆放和学生操作，我们把 2 台交换机和 2 台路由器都放在开放的机架之上。在实验室建设过程中，我们曾经对使用封闭的机柜还是开放的机架进行争论，最后我们选择了开放的机架。实验课运行的结果也的确表明我们的选择是正确的：学生们不仅操作交换机和路由器方便，而且可以完整地看到这些设备是什么样子的——“可见”对学生来说非常重要！

另外，我们把一些交换机和路由器上的常用端口（例如交换机和路由器的 Console 口等）都映射到了配线架上，学生通过配线架上的端口对这些设备进行连接，从而避免学生频繁的插拔可能会对网络设备端口造成的损坏。实验课运行的结果也表明这种方法是明智的，因为网络设备非常昂贵，而配线架却是非常便宜。



图 1 一套实验平台正视图

(其中,白色带隔板的四方体是四面敞开的机架,隔板上放置交换机和路由器,机架下部所贴的淡蓝色背景的图是配线架端口和网络设备端口映射关系图,这幅图非常重要,因为学生们在做实验时会经常遇到这些映射关系。)

4 课程组织和实验设计

目前我们的计算机网络实验课的长度为 40 个学时,总共设计了 8 组实验,每组实验占用 5 个学时。为方便教学,我们自编了《计算机网络实验讲义》,其中对每组实验都包含了原理讲解,实验预习题,实验题目,实验报告撰写要求四个部分。

我们对实验的设计注重实战化的要求,强调对真实环境的模拟。例如,我们对 VLAN 配置实验的设计和软件学院校园网的 VLAN 的配置基本是一样的。不仅如此,我们在设计实验过程中还兼顾了学校教育重视理解理论的特点。例如,我们在实验中融入了“网络协议分析工具 Ethereal 的使用”这一部分内容,使学生能够在操作硬件设备的同时用 Ethereal 来观察协议的运行情况,从而加深他们对计算机网络基本原理和协议的理解。

下面我们分别对这 8 组实验的内容进行介绍。

(一) 网络协议分析工具 Ethereal 的基本使用方法

Ethereal 是目前使用最广泛的网络协议分析工具(Network Protocol Analyzer) [10],它能够实时地捕获网络上的包,并对包中每个域的细节进行解释。由于 Ethereal 能够非常有效地帮助学生来理解网络原理和协议,目前在国外的计算机网络教学中被广泛使用[7]。为了使我们的学生也能掌握这一先进工具并在以后的实验中应用它,我们在第一组实验中就对它进行详细的介绍和训练。实验的主要内容包括:掌握 Ethereal 图形界面的使用,掌握 Ethereal 过滤规则的语法,以及用 Ethereal 来具体分析两个基本的协议:TCP 协议和 HTTP 协议。

(二) 登录交换机与华为操作系统平台 VRP 介绍

在这一组实验中,我们以交换机为例来使学生掌握登录和配置网络设备的方法以及熟悉华为的操作系统平台 VRP。具体的实验内容包括:掌握用 Console 口登录交换机的方法,掌握用 Telnet 方式登录交换机的方法,以及掌握 VRP 基本命令的使用。

（三）交换机的配置

在这一组实验中，学生将掌握交换机基本功能的配置方法。具体的实验内容包括：掌握交换机的基本配置命令，掌握端口配置（工作方式，速率等）的方法，掌握链路聚合配置的方法，掌握生成树协议配置的方法。其中，在生成树协议的配置实验中，两套实验平台被组合在一起构成了一个由四台交换机组成的环路。同时，我们让学生使用 **Ethereal** 来观察生成树协议的运行过程。通过这样一种复杂硬件环境和软件观察相结合的实验设计，学生们非常有效的理解了生成树协议。

（四）交换机 VLAN 配置

在这一组实验中，学生将掌握 VLAN 的基本配置方法和 VLAN 间的路由配置方法。具体的实验内容包括：掌握划分 VLAN 的方法，掌握设置 Trunk 链路的方法，掌握配置虚接口的方法，掌握配置静态路由表的方法。在这组实验的最后，我们模拟了软件学院校园网的实际环境来让学生进行配置，从而使学生掌握了搭建起一个校园网规模的网络的基本方法，激发了学生们极大的实验兴趣。

（五）登录路由器与广域网协议配置

在这一组实验中，学生将掌握配置路由器的基本方法和广域网协议的配置方法。具体的实验内容包括：掌握如何用 Console 口登录路由器，掌握如何用 Telnet 方式登录路由器，掌握 PPP 协议的配置方法，以及掌握 Frame Relay 协议的配置方法。

（六）路由协议配置

在这一组实验中，学生将掌握重要路由协议的配置方法。具体的实验内容包括：掌握 RIP 路由协议的配置方法和掌握 OSPF 路由协议的配置方法。其中，在 RIP 的配置实验中，我们特别要求学生用 **Ethereal** 去观察 RIP-1 和 RIP-2 的区别，以及 RIP 使用 Split Horizen 方法来避免路由环路的机制。图 2 是我们要求学生组建的一个路由协议配置的网络环境的举例。

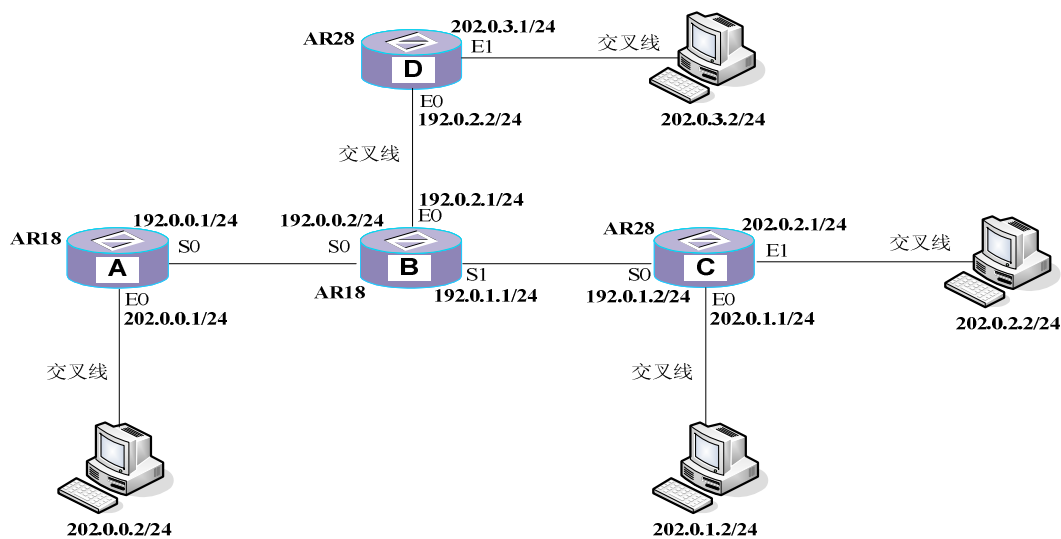


图 2 路由协议配置的网络环境举例

(七) 防火墙配置

在这一组实验中，学生将掌握华为路由器上防火墙功能的配置方法。具体的实验内容包括：掌握启动/关闭防火墙的方法，掌握访问控制列表的配置方法，以及掌握网络地址转换（NAT）的配置方法。在这组实验的最后，我们模拟了一个公司用私网 IP 访问 Internet 的环境让学生来配置（同时要求在私网架设 Internet 可以访问的 Web 服务器，要求路由器上有一定的防火墙规则），使学生们获得了实际组网的经验。

(八) 综合路由实验与网络故障诊断

这组实验的目的是培养学生组建大型网络的能力和诊断网络故障的能力。具体的实验内容包括：利用以前所学的技术组建一个大型网络，掌握常用网络故障诊断命令，掌握诊断路由协议故障的方法，以及掌握诊断防火墙故障的方法。其中包含了对多种广域网协议和路由协议的使用，以及用 Ethereal 来观察和诊断整个网络的运行情况。

5 经验和体会

自网络工程实验室建成以来，我们已经给 3 个年级共 750 多名学生讲授了这门计算机网络实验课。在教学的过程中，我们积累了大量的经验和体会，总结如下：

（一）逼真的实战演练可以高度的激发学生的学习热情。

在本文开始我们已经提到了“行之”是学习的最高层次，如果没有行，学习将失去意义。不仅如此，行还可以最大程度的激发学生们的学习热情。对于每组实验，学生们都会产生大量有意义的问题，其中很多问题，是我们教师所未曾预料到的。这些问题对于我们进一步改进实验和加深对计算机网络协议的理解是非常有帮助的。学生们在做实验时高度专注，有时也会进行热烈的讨论，这种在高度热情之下的学习状态，使我们深受感染。在每次课程结束后进行的教学评估中，我们这门网络实验课都得到了 90 以上的高分。

（二）我们不仅注重实战，而且注重培养学生的理论素养。

作为四年制的本科生，他们必定要有别于技术学校的学生，因此提高理论素养对他们来说非常重要。对于每组实验，我们都布置给学生大量的相关阅读材料。例如对于第六组实验“路由协议配置”，我们要求学生阅读 RIP 协议的标准文档 RFC 2453 和 OSPF 协议的标准文档 RFC 2328。我们把这些阅读材料都放在课程的网站上供学生们进行下载，从而方便学生们的阅读。这种高强度的阅读训练是对国外教学方法的借鉴，在我们的执行过程中也收到了良好的效果，许多学生都反映这样做不仅提高了他们的学习层次而且扩展了他们的知识视野。

（三）预习题/实验/实验报告的三步实验组织显著的提高了实验效果。

在每组实验前，我们都要求学生必须完成该组实验的预习题，其作用是强迫学生对该组实验所需的知识技能进行准备，其中我们特别向学生强调自学的能力；在实验过程中，我们要求学生勤于动手动脑，珍惜实战训练的机会，其中特别向学生强调独立解决问题的能力；在实验后，我们要求学生作深入的总结并认真地撰写实验报告，其中特别向学生强调写作的能力。这样三步的实验组织，符合教育心理学的原理，有力的提高了实验效果。不仅如此，通过对自学、独立解决问题、以及写作这三种能力的培养，也使学生今后从事实际工作的综合素质得到了提高。

（四）Ethereal 的使用非常有助于对实验现象的理解和实验故障的诊断。

正如美国 James Kurose 教授在他的名著《Computer Networking: A Top-down Approach Featuring the Internet》中所指出的，Ethereal 可以使学生们看到“*What's going on in the networks*”。Ethereal

的这一揭示网络背后现象的功能使它在网络实验中特别具有用武之地：帮助学生理解实验现象和诊断实验故障。在我们的实验过程中，学生们普遍对 Ethereal 赞誉有加：“容易使用”、“功能强大”、“是一个好助手”等。

作为我们的下一步工作，我们将设计更多的高度仿真的网络实验题目，将计算机网络实验课的学时数扩大到 60 学时。在不断总结教学经验的基础上，我们将努力编写具有实战特点的网络实验教材，以丰富计算机网络实验这块教学园地。

参考文献

- [1] 张基温. 计算机网络实验与实践教程. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [2] 钱德沛, 张力军, 洪飞, 王卓. 计算机网络实验教程. 北京: 高等教育出版社, 2005
- [3] 陆魁军等. 计算机网络工程实践教程—基于华为路由器和交换机. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [4] 李名世. 计算机网络实验教程. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [5] 张建忠, 徐敬东. 计算机网络实验指导书. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [6] 朱立才. 计算机网络原理实验教程. 北京: 科学出版社, 2005
- [7] Jeanna Matthew. 计算机网络实验教程. 李毅超, 曹跃, 王钰等译. 北京: 人民邮电出版社, 2006
- [8] Jorg Liebeherr. Mastering Computer Networks: An Internet Lab Manual, 苏正泉译. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [9] 华为 3Com 技术有限公司. 华为 3Com 网络学院系列教程(1—2)学期, 2004
- [10] Ethereal Network Protocol Analyzer, <http://www.ethereal.com>。