



自主创新
方法先行

计算机网络： 原理与实践

陈 鸣 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



自主创新
方法先行

计算机网络： 原理与实践

陈 鸣 编著

JISUANJI
WANGLUO:
YUANLI YU
SHIJIAN



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书主要内容包括计算机网络概念、数据通信基础、直接连接的网络、网络互联、端到端协议、网络应用协议、网络安全等。本书以设计因特网的“端到端原则”为主题启发创新思维,以核心知识点为主线梳理课程的知识体系,面向应用设计课程实验和实践技能训练环节,教学理念先进可行,教学内容与时俱进。本书是科技部创新方法工作专项项目“科学思维、科学方法在高等学校教学创新中的应用与实践——基于科学思维模式的计算机网络课程的建设与创新”项目的研究和实践成果,配有教学课件、《计算机网络实验指导与习题解答》和网络教学平台等。

本书可作为高等学校计算机及相关专业计算机网络课程教材,也可作为全国计算机专业硕士研究生入学考试及计算机网络从业人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络:原理与实践 / 陈鸣编著. — 北京:高等教育出版社,2013. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 036689 - 1

I. ①计… II. ①陈… III. ①计算机网络 - 高等学校 - 教材
IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011822 号

策划编辑 刘 艳
插图绘制 黄建英

责任编辑 刘 艳
责任校对 王 雨

封面设计 于 涛
责任印制 韩 刚

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 天津新华二印刷有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 25
字 数 560 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013 年 2 月第 1 版
印 次 2013 年 2 月第 1 次印刷
定 价 36.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36689-00

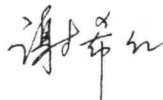
序

记得2006年我为陈鸣等编写的《计算机网络实验教程:从原理到实践》作序时,我称他“十年磨一书”,编写了一本独具匠心的网络实验教材,结果该书在2007年被教育部评为普通高等教育精品教材。现在我再次为陈鸣的新作《计算机网络:原理与实践》作序,感到这本教材凝聚了他对计算机网络教学的思考 and 对自己多年教学经验的总结,会对我国计算机网络课程教学的改革产生积极影响。

陈鸣工作的最大特点是认真和锲而不舍。他于1991年取得博士学位后,先后承担了几十项国家自然科学基金、国家863、国家科技计划和国家973以及军队和江苏省等重要科研项目,获得了8项国家发明专利,在网络技术研究方面有所建树。这些研究为他的计算机网络教学工作奠定了良好的基础。陈鸣从1987年起就开始给硕士研究生上计算机网络课。特别是在博士毕业留校后,他一直在教学一线讲授研究生和本科生的计算机网络课。在教学过程中,他不断学习和研究教学法,同时还不断进行教学改革,在计算机网络教学特别是在计算机网络实验教学方面有独特见解,是一位深受学生欢迎的好老师。他和课程组老师们在计算机网络教学改革方面的建树,为获得国家教学成果二等奖奠定了基础。

2011年陈鸣承担了科技部“科学思维、科学方法在高等学校教学创新中的应用与实践”项目的研究课题,从计算机网络课程教学的角度探讨了培养学生创新能力的方法,并根据项目要求撰写了这本计算机网络教材。面对计算机网络教学的种种挑战,陈鸣的新作有以下一些特点:

- 从设计因特网的“端到端原则”角度展开学习,让学生在发现中学习,在学习获取知识,在获取知识的过程中进行科学思维训练;
- 强调学生能力素质的培养,书中设有实践技能训练环节和有助于理解关键概念和能力培养的实验,使学生能够学以致用;
- 在梳理计算机网络课程知识体系方面进行了尝试,吐故纳新,使教学主线清晰,重点突出。相信这本教材在弥补我国本科生实践能力不足方面能够起到积极作用。



2012年8月25日

前 言

这本计算机网络教材是我作为一名有 26 年计算机网络课程教学经验的教师和有近 30 年计算机网络研究经历的研究人员,为本科生计算机网络课程设计和编写的。一直以来,编撰一本主线清晰、概念准确、实用简明乃至能使学生学以致用用的计算机网络教材,对我而言是一件可望而不可即的事,因为这门课程面临着教学内容取舍、教学方法选择等难题,而且这门课程也已有多本优秀教材。

为什么教学内容的取舍如此重要? 计算机网络是一个飞速发展的领域,教学内容应当反映这种发展。然而,在有限的学时(例如 60 学时)内使学生达到课程要求并不是一件容易的事。其中有两个问题尤其值得关注。一是所谓“达到课程要求”,是指掌握了课程核心知识点。但是,计算机网络课程的核心知识点是什么?还需要进一步梳理。二是计算机网络新技术发展的速度之快足以使授课内容“爆炸”,在为教学内容作加法的同时还必须作减法。因此,教学内容的取舍就显得十分重要了。我们首先梳理了计算机网络课程的知识体系,即对具有长保质期的网络基本原理部分,根据重要程度的不同将其划分为核心知识点、重要知识点和一般知识点,并且尽可能给出它们之间的直接关系,由此编写出本教材。其次,更细致地讲解了固化和集成了网络关键协议和功能的网络设备,如网络适配器、交换机、路由器和防火墙等。第三,增加了使用广泛且原理独特的内容,并且删除了陈旧过时的内容。此外,还兼顾全国计算机专业硕士研究生入学考试大纲要求等因素。

为什么选择教学方法这么重要? 计算机网络作为一个复杂系统,涉及许多以错综复杂的方式彼此交织的概念、协议和技术。为了使这种大跨度和高复杂性的知识易于为学生理解,必须借助“分层”的教学模型,使学生在学网络体系结构某个部分所涉及独特概念和协议的同时,也能看清这些部分整合在一起的全貌。两种典型的分层教学模型是“自底向上”法(即从网络体系结构底层逐层向上讲解的方法)与“自顶向下”法(与前者讲解顺序相反的方法)。在多次实践这两种教学模型以后,我们认为两者之间并不存在实质性的差别。只要教师有心得、学生易理解,任何一种教学方法都会收到好的教学效果,因为曾有一位教师甚至是从中间的网络层讲起,也收到了不错的教学效果。为了深入理解因特网的技术精髓,应以“端到端原则”为讲授主线。正是该原则才使因特网能够具有灵活性、通用性和开放性,激励更多的网络应用创新在因特网上获得成功。此外,为了促进理论教学与网络应用实际相结合,在每个层次中都可以按“原理—协

议—设备”的顺序来安排教学内容。

为什么要写这本书?面对 Andrew S. Tanenbaum 编著的经典名著《计算机网络》, Larry Peterson 和 Bruce Davie 编著的内涵深刻的《计算机网络——系统方法》, Jim Kurose 和 Keith Ross 编著的风靡全球的《计算机网络——自顶向下方法》和谢希仁先生编著的风行我国 20 余年的《计算机网络》等巅峰之作前面,你还能有什么作为?然而,2011 年我们承担的科技部创新方法工作专项项目“科学思维、科学方法在高等学校教学创新中的应用与实践”的子课题,要求课题组从计算机网络课程教学的角度探讨培养学生创新能力的方法,并撰写一本与之配套的计算机网络课程教材。这使我们在进行计算机网络课程教学改革尝试的同时,要承担编写一本计算机网络课程新教材的重任。在一段时间审视和思考计算机网络课程教学的内容和教学方法之后,我们有了更多的想法:从改革计算机网络教学方法入手,将计算机网络课程的教学过程作为知识发现之旅,以激发学生的科学精神;从调动学生的学习积极性和自主性出发,以计算机网络发明或网络设计的视角来讲解相关的知识点,让学生进行更多的理性思考;从验证理论入手,通过设计针对性强的课程实验来强化学生的能力培养;将抽象的理论学习与解决计算机网络实际问题结合起来,让学生自己动手解决计算机网络中的问题,从而体会到学习计算机网络知识的乐趣。相信这些努力能够为计算机网络课程的教学改革提供一些新思路,在针对我国本科生教学的特点培养创新人才方面有所斩获。

本教材具有如下特色:

1. **突出基本概念,凝练知识结构。**本教材力图汲取国内外优秀计算机网络教材的精髓,根据基本概念和关键技术梳理知识体系,根据循序渐进原则设计教学方法,根据社会需求激发学生的学习兴趣。本书从体系讲解到例子选取,从章节设立到名词推敲,从习题编配到实践技能训练内容的选取,都进行了设计,使得主线清晰,重点突出。
2. **强调学以致用,注重能力培养。**本教材反映了我们在教学实践中的一些行之有效方法。例如,每章都设有实践技能训练环节,精心设计了有助于理解关键概念和能力训练的实验。
3. **选材先进适当,不搞面面俱到。**面向 TCP/IP 技术,面向具有长保质期的网络原理和技术,面向宽口径素质教育,充分考虑本科生的承受能力和教师实施教学的科学性。为了有效教学,本教材不再提及过时的技术,而是补充了许多先进实用的内容,以及对网络新技术的评述内容,以启迪学生科学思维。
4. **创新教学理念,激发主体热情。**学生是网络学习的主体,在调动其学习积极性方面,本教材从面向因特网设计的“端到端原则”角度展开学习,力图让学生在发现中学习,在学习中享受知识,在获取知识的过程中进行科学思维训练。

本教材提供了与课程教学配套的教学材料,如教学课件、教学计划、课堂研讨等相关教学材料,读者可通过 <http://www.plaust.edu.cn/networks> 和高等教育出版社相关网站(<http://computer.cncourse.com>)获取相关资源。此外,本教材还配套有《计算机网络实验指导与习题解答》。同时结合科技部创新方法工作专项项目子课题“基于科学思维模式的计算机网络课程的建设与创新”,开发了能够对课程教学全过程进行管理的网络数字化课程。该数字化课程提供

了课程内容定制、虚拟教室、虚拟实验室、课堂讨论支持、分数管理、学生管理、日程提示、课程论坛等功能,是规范课程教学,推进以培养学生素质能力为中心的教学改革,减轻教师工作量的好帮手。同时,该数字化课程也为教师搭建了交流计算机网络课程教学经验和共享教学素材的平台,为学生提供了上网实践的舞台。有试用该数字化课程意愿的学校和老师,请与 jsj@pub.hep.cn 联系。

毕竟,目前的努力只是开始。迈出这一步离不开所有给予我们帮助的单位或个人。首先,要感谢全国高等学校教学研究中心给了我们这个探索的机会,其次要感谢谢希仁先生给予我们的鼓励和支持。感谢课题组的谢钧、许博、邢长友、刘鹏、张国敏、李兵、陈卫卫、胡谷雨、齐望东、胡超、于妙等的合作交流与研究探索;感谢解放军理工大学各级领导和军用网络技术实验室以及2011年和2012年两届本科学员的配合支持。还要感谢国内外专家学者为我们提供的睿智的思想方法和丰富的网络知识;感谢国内高校的许多研究计算机网络和讲授计算机网络课程的教师给予我们的许多具体帮助,特别是与吴功宜、谢高岗、徐明、徐明伟、吴国新、龚俭、汪芸、沈苏彬、杨寿保、张国清、蔡开裕、黄皓、程光等老师一起研讨、切磋计算机网络教学经验和网络技术使我受益匪浅。高等教育出版社刘艳编辑的专业水准与有益建议也为本书增色。最后,感谢我的家人对我工作的长期支持。

特别需要说明的是,本课题得到科技部“科学思维、科学方法在高等学校教学创新中的应用与实践”(项目编号:2009IM010400)项目的资助,得到全国高等学校教学研究中心的具体指导。

限于作者的学识和时间,书中不当和差错之处难免,请读者发送电子邮件至 mingchenj@sina.com 指正。

作 者

2012年12月

目 录

第1章 计算机网络概论	(1)
1.1 计算机网络的定义	(2)
1.1.1 定义	(2)
1.1.2 网络的组成	(3)
1.1.3 网络服务	(7)
1.2 因特网的结构	(8)
1.2.1 因特网边缘	(9)
1.2.2 因特网核心	(13)
实践技能训练——用 traceroute 测量因特网结构	(15)
1.3 协议分层与服务模型	(15)
1.3.1 协议	(16)
1.3.2 分层的网络体系结构	(17)
1.3.3 报文的层间传递	(19)
1.3.4 因特网体系结构	(22)
1.3.5 端到端原则	(24)
1.3.6 网络标准化	(25)
1.4 分组交换网的性能指标	(26)
1.4.1 时延	(26)
1.4.2 丢包率	(29)
1.4.3 带宽和吞吐量	(29)
1.4.4 跳与路径	(30)
1.4.5 时延与带宽乘积	(31)
1.5 计算机网络的发展简史	(31)
1.5.1 计算机网络技术发展完善阶段	(31)
1.5.2 因特网高速发展阶段	(33)
1.6 小结	(34)
习题	(35)
实验	(37)
参考及推荐阅读的文献	(39)

第2章 数据通信基础	(41)
2.1 数据通信基础知识	(42)
2.1.1 通信系统模型	(42)
2.1.2 数字通信及其性质	(43)
2.1.3 通信方式	(45)
2.2 传输媒体	(45)
2.2.1 导向传输媒体	(46)
2.2.2 非导向传输媒体	(49)
2.3 编码和复用	(50)
2.3.1 编码	(50)
2.3.2 多路复用、频分复用、时分复用、波分复用和码分复用	(52)
2.4 交换技术	(55)
2.4.1 电路交换和报文交换	(56)
2.4.2 分组交换	(56)
实践技能训练——用超级终端程序进行串行通信	(59)
2.5 数字传输技术	(60)
2.5.1 PCM 及其复用	(60)
2.5.2 同步数字系列 SDH	(62)
2.6 接入网	(63)
2.6.1 电话网拨号接入	(63)
2.6.2 DSL 接入	(64)
2.6.3 混合光纤同轴电缆接入	(64)
2.6.4 光纤接入	(65)
2.6.5 以太网接入	(66)
2.6.6 无线接入	(66)
2.7 物理层概述	(67)
2.8 小结	(68)
习题	(69)
实验	(70)

参考及推荐阅读的文献	(70)	3.8.1 IEEE 802.11 体系结构	(116)
第3章 直接连接的网络	(71)	3.8.2 IEEE 802.11 MAC 协议	(117)
3.1 链路层概述	(72)	3.8.3 IEEE 802.11 帧	(121)
3.1.1 链路层的服务	(72)	3.8.4 IEEE 802.15: 蓝牙和 ZigBee	(121)
3.1.2 网络适配器	(74)	3.9 蜂窝网因特网接入	(123)
3.2 成帧	(75)	3.9.1 蜂窝网概述	(123)
3.2.1 面向比特的协议	(76)	3.9.2 蜂窝网体系结构	(124)
3.2.2 PPP	(76)	3.9.3 综合使用 3G 蜂窝网和 Wi-Fi 接入因特网	(126)
3.2.3 面向字节的协议	(77)	3.10 小结	(127)
3.3 差错检测和纠错技术	(78)	习题	(128)
3.3.1 奇偶检验	(79)	实验	(131)
3.3.2 检验和方法	(79)	参考及推荐阅读的文献	(132)
3.3.3 循环冗余检验	(80)	第4章 网络互联	(134)
3.4 可靠数据传输原理	(81)	4.1 网络层概述	(135)
3.4.1 设计可靠数据传输协议	(82)	4.1.1 异构网络互联方法	(135)
3.4.2 流水线可靠数据传输协议	(85)	4.1.2 转发和路由选择	(136)
3.4.3 回退 N 步协议	(87)	4.1.3 分组直接交付和间接交付	(139)
3.4.4 选择重传协议	(89)	4.2 网络服务模型	(140)
3.5 多路访问协议	(93)	4.2.1 虚电路网络	(141)
3.5.1 信道划分协议	(94)	4.2.2 数据报网络	(143)
3.5.2 轮流协议	(95)	4.2.3 因特网 IP 服务模型	(144)
3.5.3 随机接入协议	(96)	4.3 网际协议	(145)
3.6 以太网	(100)	4.3.1 数据报格式	(146)
3.6.1 MAC 地址	(103)	4.3.2 IPv4 编址	(148)
3.6.2 以太网帧结构	(104)	4.3.3 NAT: 网络地址转换	(157)
3.6.3 CSMA/CD: 以太网的多路访问 协议	(105)	4.3.4 ARP: 地址映射协议	(158)
3.6.4 以太网技术标准	(107)	4.3.5 ICMP: 互联网控制报文协议	(162)
实践技能训练——用 ping 检测网络 连通性	(109)	实践技能训练——配置和检查本机的 网络	(164)
3.7 链路层交换机	(109)	4.4 路由选择协议及其算法	(165)
3.7.1 转发和过滤	(110)	4.4.1 RIP 和距离矢量路由选择 算法	(167)
3.7.2 自学习	(111)	4.4.2 OSPF 和链路状态路由选择 算法	(171)
3.7.3 链路层交换机的特点	(112)	4.4.3 BGP 和层次路由选择	(175)
3.7.4 生成树协议	(113)	4.5 路由器工作原理	(178)
3.7.5 虚拟局域网	(114)		
3.8 IEEE 802.11 无线局域网	(115)		

4.5.1 交换结构	(180)	实践技能训练——使用 Telnet	(234)
4.5.2 控制器卡	(182)	5.5 拥塞控制原理	(235)
4.6 移动 IP 技术	(183)	5.5.1 网络拥塞控制概述	(236)
4.6.1 移动网络寻址	(184)	5.5.2 网络拥塞的成因及危害	(237)
4.6.2 移动结点的间接路由选择	(185)	5.5.3 拥塞控制方法	(238)
4.6.3 移动 IP 标准	(186)	5.6 TCP 拥塞控制	(241)
4.7 IPv6	(187)	5.6.1 TCP 感知拥塞和控制发送 速率的方法	(241)
4.7.1 IPv6 数据报格式	(187)	5.6.2 TCP 拥塞控制机制	(242)
4.7.2 IPv6 编址	(188)	5.6.3 TCP 的公平性	(248)
4.7.3 从 IPv4 到 IPv6 的迁移	(190)	5.7 小结	(250)
4.8 IP 多播	(192)	习题	(251)
4.8.1 IP 多播的特点	(192)	实验	(255)
4.8.2 互联网组管理协议 IGMP	(194)	参考及推荐阅读的文献	(256)
4.8.3 多播路由选择算法	(195)		
4.9 多协议标签交换	(197)		
4.10 小结	(199)	第 6 章 网络应用协议	(257)
习题	(200)	6.1 应用层协议概述	(258)
实验	(203)	6.1.1 网络应用协议的体系结构	(258)
参考及推荐阅读的文献	(204)	6.1.2 网络应用的特点	(261)
		6.2 因特网目录服务:域名系统	(262)
第 5 章 端到端协议	(206)	6.2.1 DNS 的工作原理	(262)
5.1 运输层协议概述	(207)	6.2.2 域名的层次结构	(264)
5.1.1 运输层的地位和作用	(207)	6.2.3 域名服务器的解析过程	(265)
5.1.2 因特网提供的运输服务	(208)	6.3 万维网:HTTP	(269)
5.2 多路复用与多路分解	(210)	6.3.1 万维网的工作原理	(269)
5.2.1 端口和套接字	(210)	6.3.2 超文本传送协议 HTTP	(273)
5.2.2 UDP 的多路复用/分解	(213)	6.3.3 Web 缓存	(279)
5.2.3 TCP 的多路复用/分解	(215)	实践技能训练——使用 WHOIS	(282)
5.2.4 套接字编程	(216)	6.4 文件传送:FTP	(282)
5.3 无连接运输层协议 UDP	(219)	6.5 电子邮件:SMTP 和邮件访问协议	(284)
5.3.1 UDP 概述	(219)	6.5.1 电子邮件系统的工作原理	(284)
5.3.2 UDP 报文段的首部格式	(220)	6.5.2 简单邮件传送协议 SMTP	(286)
5.4 面向连接的运输层协议 TCP	(222)	6.5.3 邮件报文格式	(287)
5.4.1 TCP 概述	(222)	6.5.4 多用途互联网邮件扩展 MIME	(288)
5.4.2 TCP 报文段结构	(224)	6.5.5 邮件访问协议	(290)
5.4.3 TCP 可靠数据传输机制	(225)	6.6 多媒体网络应用	(292)
5.4.4 TCP 流量控制	(229)	6.6.1 概述	(292)
5.4.5 TCP 连接管理	(230)	6.6.2 流式多媒体应用系统	(295)

6.6.3 实时交互式多媒体应用	(299)	7.3 实体鉴别	(351)
6.6.4 网络提供服务质量保证	(308)	7.4 报文完整性	(352)
6.7 P2P 应用	(311)	7.4.1 报文摘要和报文鉴别码	(352)
6.7.1 P2P 应用系统的体系结构	(312)	7.4.2 数字签名	(354)
6.7.2 分布式散列表	(319)	实践技能训练——使用 Nmap	(355)
6.8 简单网络管理协议:SNMP	(321)	7.5 网络安全协议	(356)
6.8.1 SNMP 系统工作原理	(321)	7.5.1 网络层安全协议:IPsec 和 虚拟专用网	(356)
6.8.2 管理信息库:MIB	(323)	7.5.2 运输层安全协议:安全套接 字层 SSL	(360)
6.8.3 管理信息结构:SMI	(324)	7.5.3 应用层安全协议:安全电子 邮件 PGP	(361)
6.8.4 SNMP	(326)	7.6 网络安全设备:防火墙和入侵 检测系统	(364)
6.9 小结	(328)	7.6.1 防火墙	(365)
习题	(330)	7.6.2 入侵检测系统	(368)
实验	(336)	7.7 小结	(369)
参考及推荐阅读的文献	(336)	习题	(371)
		实验	(373)
第 7 章 网络安全	(338)	参考及推荐阅读的文献	(373)
7.1 概述	(339)		
7.1.1 网络入侵及其对策	(339)	名词与术语索引表	(375)
7.1.2 网络安全的定义	(343)		
7.2 密码学基础与机密性	(344)		
7.2.1 对称密钥密码	(345)		
7.2.2 公钥密码	(347)		
7.2.3 密钥分发机制	(349)		

第 1 章 计算机网络概论

教学提示:

学习复杂的知识,最好先从宏观的角度去概略地认识它,理解它在整体上是如何工作的,然后再逐步深入其局部细节。学习计算机网络知识也是如此。把握网络知识历史发展的演化脉络,不仅有助于理解今天的网络,还有助于对网络的未来发展作出预测。本章的目标就是从宏观角度描述计算机网络,使读者能够从总体上把握网络的分层体系结构,理解计算机网络的重要概念、术语、性能测度,以及导致因特网成功的关键结构特征,从而为后续深入学习计算机网络各层次相关技术打下坚实的基础。在完成本章 1.2 节的教学任务之后,建议安排学生课后通过“用 traceroute 测量因特网结构”实验进行实践技能训练。

本章以因特网(Internet)为代表概要地描述了计算机网络的全貌,这将有助于理解网络系统的大环境、网络主要构件及其相互关系。在本书后面的章节中,还将继续深入介绍其中所涉及的重要技术细节。本章包括了许多有关计算机网络背景和组成方面的知识,只有将这些知识放在网络系统的大环境中进行讨论,才能理解它们的作用及相互之间的关系。本章的内容奠定了学习本书其他章节的基础。

首先在 1.1 节中将学习一些计算机网络的基本术语和重要概念,需要理解什么是计算机网络,组成网络的基本硬件和软件部件有哪些,以及网络对于人类社会的作用。然后在 1.2 节中,分析了因特网的结构,分别讨论了位于因特网边缘的主机和网络应用所起的作用,以及因特网核心的组织结构。也许正是因特网的这种结构,才造就了因特网今天的成功。除了解因特网是“网络的网络”外,还可以通过 1.3 节学习网络中的这些构件是如何通过遵守某些规则进行交互,协同完成特定任务的;通过本节的学习,要理解网络是如何通过分层的体系结构“分而治之”,组织起一个极其复杂的系统功能的;通过仔细观察报文在分层体系结构中传输的过程,理解网络每个层次的功能是如何实现并且如何为上一层提供服务的;此外,还要了解因特网标准化的状况。在 1.4 节中,将讨论描述分组交换网性能的时延、丢包率和吞吐量等性能测度。这些测度可以定量地描述分组交换网工作的状况。最后,1.5 节阐述了计算机网络的发展简史,使人们

能够跟踪网络技术的发展轨迹,感受网络科学家们创新的艰辛以及创新实践对世界产生的影响,展望网络技术发展的趋势。

1.1 计算机网络的定义

6000年前,文字的发明使人类不必再通过口口相传、日复一日重复的方式来记忆重要的事务和事件。1600年前,印刷术的发明使文明和知识得以在更大的范围内传播。今天,计算机网络使知识唾手可得,并把记忆泛化和全球化了。计算机网络和数字化信息改变了人们的生产和生活方式、军事作战模式甚至思维习惯。以下是计算机网络的一些应用实例。

在军事方面,计算机网络不仅能够实现在任意时间、任意地点将任意形式的信息传送到任意人手中,而且还力求将正确的信息在正确的时间以正确的形式传递到正确的接收者手中,为将“谋求信息优势”转化为“谋求决策优势”提供平台。

在学习方面,计算机网络使人们学习知识的最好方式不再是用心记住它的大量细节,而是知道如何在网络上找到它的相关细节。

在医疗方面,过去为跟踪流行病如流感传播的情况,医生必须要向负责收集和研究报告的专门机构及时报告病例,这样往往在传染病流行后才能得出统计数据。有了计算机网络及网络搜索引擎,人们想出一种简单快捷的方法,即只需对用户搜索中用到的关键词“流感”进行计算和定位,就能迅速得知流感病毒肆虐的地区。

在电子商务方面,中国1.93亿网购的网民使每年的11月11日成为中国乃至世界上最繁忙的网购日。在2012年11月11日最初的13小时促销活动中,国内某著名购物网站的销售额就高达192亿元。

为了理解这些不胜枚举的计算机网络应用的工作原理,下面将从计算机网络的基础开始学习。

1.1.1 定义

在以网络为核心的信息时代,计算机网络无处不在。计算机网络已经成为现代社会不可或缺的基础设施。因特网作为计算机网络的实例之一和突出代表,是目前世界上最大的网络。它不仅使计算机网络领域发生了革命性的变化,还改变了数亿人的生活方式,并且对人类的政治、经济、军事和文化领域都产生了重要影响。因此,因特网技术是计算机网络课程中首选的学习内容。

过去,网络(network)通常指的是将单一功能的终端连接到大型计算机所用线路的集合。这样,网络一词就几乎与电话网同义。后来出现了用于传播视频信号的有线电视网,以专门处理某些特定类型的信号如视频或音频等,而且通常与特殊用途

的设备如终端、电视机相连。与这些网络不同,计算机网络(computer network)将各种计算机,例如个人计算机(PC)、便携机、基于Linux的工作站以及用于存储和传输Web页面和电子邮件报文等信息的服务器,通过通信线路和网络设备互联起来。与电话网和有线电视网相比,计算机网络最主要的特征是通用性,它没有为某种特定应用如打电话或传送电视信号等而进行优化;相反,它能够支持广泛的、不断出现的新型应用,能够承载各种不同类型的数据。特别是,当越来越多的非传统计算机,如智能手机、个人数字助手(PDA)、掌上机、电视、汽车、传感设备、家用电器和保安系统等与因特网相连时,传统意义上的计算机网络听起来就不那么贴切了。用因特网术语来说,所有这些传统和非传统的计算机都被称为主机(host)或端系统(end system)。

因此,计算机网络可以定义为由通信信道连接的主机和网络设备的集合,以方便用户共享资源和相互通信。

计算机网络通常具有以下用途:

共享信息。在网络环境中,任何授权用户都能够访问存储在网络上的其他计算机上的数据和信息。许多网络都具有访问共享存储设备上的数据和信息的能力。

协同计算。为分布式应用提供通信基础设施,支持可靠的或尽力而为的数据交付,组织许多计算机共同完成特定的计算任务。

方便通信。通过使用网络,人们能够有效和方便地使用电子邮件、即时消息、聊天室、电话、视频电话和视频会议等进行信息沟通。

共享硬件。在联网环境中,每台计算机能够访问和使用网络上的特定硬件。例如,网络上有许多PC可以共享一台打印机,也可以共享存储服务器。

1.1.2 网络的组成

为若干计算机提供连通性服务是网络的基本能力。有时候,仅需要建立一个由少数几台计算机连成的简单网络。在更多的时候,网络需要设计成一种可扩展的方式,具有连接全球范围计算机的潜力。

尽管计算机网络结构十分复杂,网络设备多种多样,但从逻辑上讲,构成网络的所有网络实体均可以被抽象为两种基本构件:一种是称为**结点(node)**(亦称节点)的计算设备,另一种是称为**链路(link)**的物理媒体。结点可以分为端系统(主机)和中间结点两类,而中间结点又可以分为路由器、交换机、自治系统、虚拟结点和代理等网络设备或组织。链路则可以分为源主机到目的主机的端到端路径(path)和两个结点之间的跳(hop)。因此,结点是最基本的术语,而端系统或主机通常是指位于网络边缘的结点。在网络不同的层次中,分组具有不同的连通性含义,也相应地设计了不同的连接设备即分组交换机,如工作在链路层的称为**交换机(switch)**,而工作在网络层的称为**路由器(router)**。这些网络实体之间的关系如图1-1所示。

使用如图1-1所示的网络实体,有下列3种方法来构建网络。其中直接连接的网

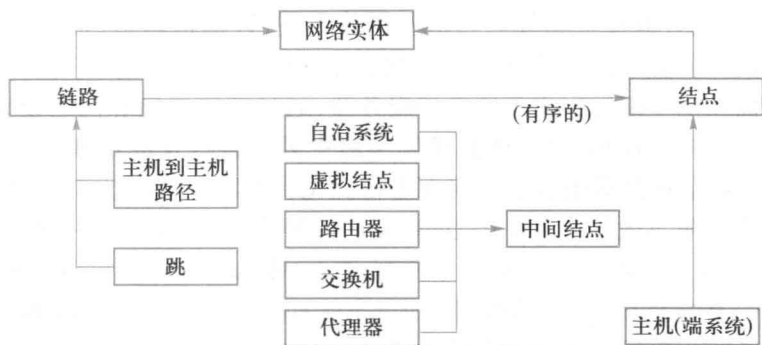


图 1-1 网络实体之间的关系

络方法是一种直接连通多个端系统的方法,该方法适用于数量有限的本地端系统联网的场合,而网络云和网络云互联方法是端系统之间间接连通的方法,适用于大量端系统联网的场合。

直接连接的网络

一个直接连接的网络是由某种物理媒体直接连接所有端系统而组成的。这里的物理媒体如双绞线或光缆,称为**通信链路**(communication link)或**链路**。在图 1-2 中,物理链路有时仅与一对结点相连,这种链路称为**点到点链路**(point-to-point link)(如图 1-2(a)所示)。而在多数情况下,多个结点可以共享同一条物理链路,这种链路称为**多路访问**(multiple access)链路(如图 1-2(b)所示)。多路访问链路的范围,包括能够连接的结点数量以及所能覆盖的地理范围,通常会受到某些限制。在工程上,直接连接的网络通常用于地理范围有限的区域,使用如图 1-2(c)所示的集线器实现端系统之间的物理连接,它在逻辑上对应于图 1-2(b)的情况。第 3 章将详细介绍相关内容。

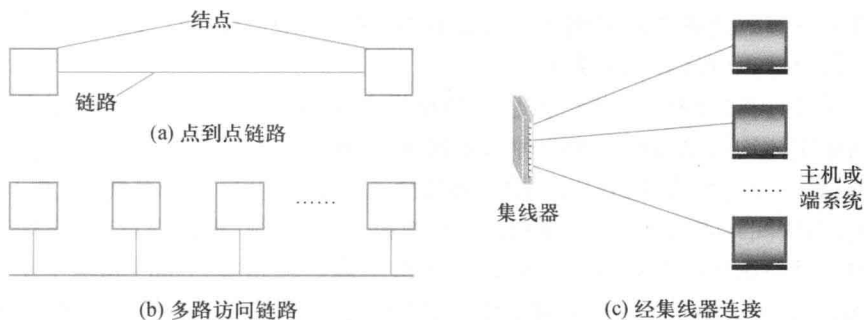


图 1-2 直接连接的网络

随着结点数量的增加和网络覆盖的地理范围变大,直接连接的网络难以通过一种公共物理媒体来完成连接所有结点的任务。即使使用共享链路资源的多路访问技术,

通过网络连接的结点数目也极为有限。因此,需要采用网络间接连通技术才能实现大量端系统之间的相互通信。

网络云

如图 1-3 所示,每个端系统都通过一条或多条点到点通信链路(甚至是一个通信网,详见第 2 章)与连接设备相连。这些连接设备能够将从一条链路接收到的数据转发到另一条链路上,因此也称为**交换结点**(switching node)。使用这种称为**交换**(switching)的技术能够大大降低网络连接的费用。这些交换结点形成了一个**交换网**(switched network),从端系统的角度可以将该交换网看做一朵**网络云**(network cloud),而无需关注其内部细节。通过网络云的抽象,可将实现网络云的内部结点和使用网络云的外部结点区分开来。其中,内部结点为网络设备如交换机或路由器,其主要功能是存储转发分组;外部结点为端系统,其主要功能是运行应用程序。网络云是计算机网络中重要的概念之一。可以用网络云表示任何类型的网络,无论该网络是一条点到点链路、一条多路访问链路或是一个交换网。不过,在一朵网络云中通常采用的是使用同一种技术的设备。网络云是端系统之间间接连通的第一种方法。

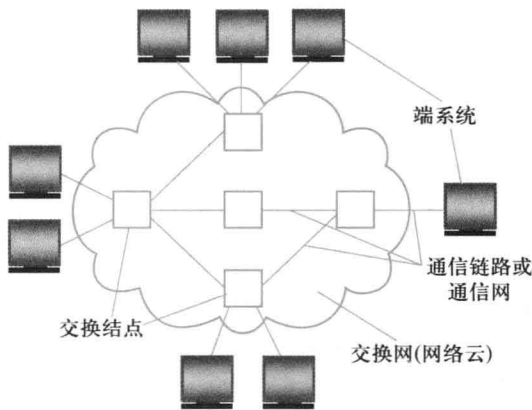


图 1-3 端系统经交换网互联

在交换网中,传递数据有两种基本方法:**电路交换**(circuit switching)和**分组交换**(packet switching)。电路交换技术主要用于电话网,分组交换技术则主要用于计算机网络。在发送方通过电话网与接收方通话之前,该网络必须在发送方和接收方之间通过多台交换机建立一条连接。此时该连接路径上的交换机都将维护连接状态,该连接被称为一条**电路**(circuit)。当网络创建这种电路时,它也在连接期间为该网络链路预留了恒定的传输带宽,使发送方能够以确保的服务质量向接收方持续地传送话音数据。

与之不同的是,在分组交换网中,当一个端系统要向另一个端系统发送数据时,发送端系统将长数据划分为等长的短段,并为每个段加上首部。由此形成的信息块被称

为**分组**(packets),分组亦称包。例如,一个MP3文件在发送之前,先要将较长的**报文**(message)划分成为一个个长约1500字节的短数据块。图1-4表示了一个较长的报文被划分成多个较短分组的过程。为了让这些数据段能够在网络中独立传输,需要加上一些控制信息以形成**分组首部**(packet header)或称**包头**,这才构成了一个完整的分组。分组的首部非常重要,正是由于其中包含了诸如目的地址和源地址等重要控制信息,每一个分组才能在因特网中独立地选择路由,最终到达目的地。其中的地址标识了某个端系统在网络中的唯一位置,就像邮政地址标识了一个住户居住在位于某个国家某地区某街道的住宅一样。

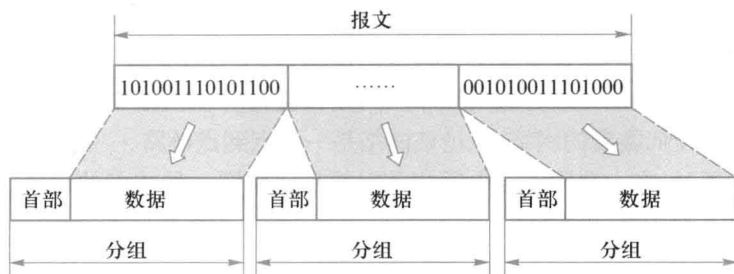


图1-4 将较长的报文划分为分组的过程

分组交换网通常采用一种称为**存储转发**(store-and-forward)的技术。分组交换网中的每个结点先通过某条链路接收到一个完整的分组,将该分组存储在其内存中,然后再将其转发给下一个结点。与电路交换不同,当一个端系统跨越因特网向另一个端系统发送分组时,分组交换网络不会为它预留任何带宽。如果其他分组恰好也同时经过某链路发送,则可能会使该链路变得拥塞,该分组将不得不在传输链路发送一侧的缓存中排队等待,从而延迟了分组的发送。因特网将以**尽力而为**(best effort)的方式适时地传递分组,但它并不确保分组一定能够送达。分组交换技术对于因特网非常重要,第2章将进一步介绍分组交换与电路交换。

网络云互联

随着用户规模的不断扩大,如果递归地连接网络云则能够形成更大规模的网络,这种网络技术就具有很好的扩展性。

由网络云互联构建成的网络称为**互联网**(internet 或 internetwork),或者称为网络的**网络**(参见图1-5)。因特网技术就具有这样的特性。根据惯例,本书将当前使用TCP/IP的国际互联网写成由大写字母I开头的Internet,中文译为因特网^①,而一般意义上的技术术语写成以小写字母i开头的internet,中文译为互联网。连接两个或多个网络

① 因特网是一个专有名词,特指Internet,而互联网是一个一般性技术词汇。在很多场合,区分这两个词汇还是有必要的。