高等学校计算机专业规划教材

# 计算机网络原理
## ——基于实验的协议分析方法

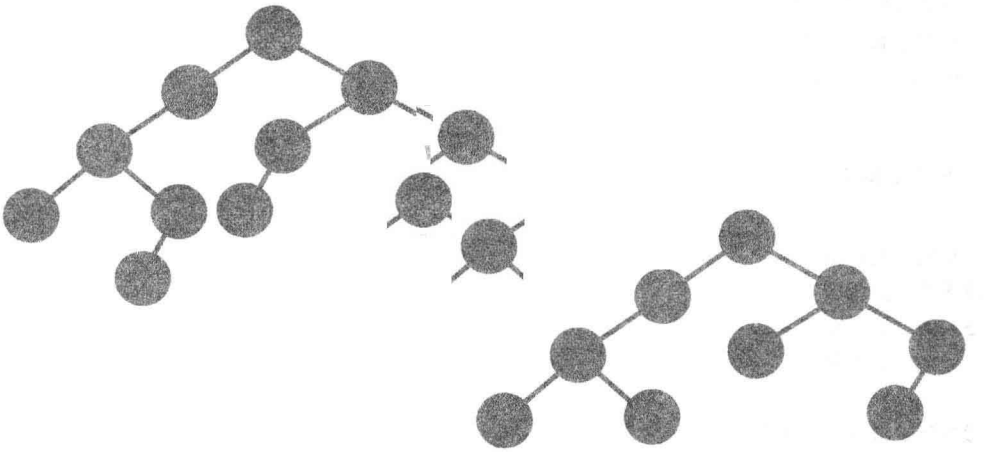
曹雪峰　编著

清华大学出版社

高等学校计算机专业规划教

# 计算机网络原理
## ——基于实验的协议分析方法

曹雪峰　编著



清华大学出版社
北京

## 内 容 简 介

本书以自底向上的方式，分物理层、数据链路层、网络层、运输层和应用层等5层结构组织内容。全书共9章，以协议分析为主线，利用虚拟实验把计算机网络的理论知识和实践紧密结合在一起，理论知识和实践同步进行，避免对理论知识的枯燥叙述，并且通过对捕获报文的分析，详细介绍了不同层协议的工作原理和交互过程。

本书适合作为高等院校相关专业本专科学生计算机网络课程的教材，也可作为从事计算机网络的工程技术人员与技术管理人员的参考用书。



**图书在版编目（CIP）数据**

计算机网络原理：基于实验的协议分析方法/曹雪峰编著. —北京：清华大学出版社，2014
高等学校计算机专业规划教材
ISBN 978-7-302-33660-0

Ⅰ. ①计… Ⅱ. ①曹… Ⅲ. ①计算机网络－高等教育－教材 Ⅳ. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第206357号

**责任编辑**：龙启铭
**封面设计**：何凤霞
**责任校对**：梁　毅
**责任印制**：李红英

**出版发行**：清华大学出版社
**网　　址**：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
**地　　址**：北京清华大学学研大厦A座　　**邮　　编**：100084
**社 总 机**：010-62770175　　**邮　　购**：010-62786544
**投稿与读者服务**：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
**质量反馈**：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
**课件下载**：http://www.tup.com.cn,010-62795954
**印 装 者**：北京国马印刷厂
**经　　销**：全国新华书店
**开　　本**：185mm×260mm　　**印　　张**：26.75　　**字　　数**：665千字
**版　　次**：2014年1月第1版　　**印　　次**：2014年1月第1次印刷
**印　　数**：1～2000
**定　　价**：44.50元

产品编号：050689-01

# 前言

随着计算机和通信技术的迅速发展和相互渗透，计算机网络技术取得了长足的发展。计算机网络已经成为支持现代社会运行的基础设施，因特网成为继报纸、电视、广播之外又一个更为重要的信息来源。计算机网络技术已经深入到社会生活的各个方面，深刻地影响着人们的生活和思维方式。计算机网络技术与应用水平已经成为一个国家经济、文化、科学与社会发展水平的重要标志之一。

作者在多年的教学过程中体会到，学习计算机网络知识时采用协议分析的方法效果比较好，特别是 Wireshark 是一款开源的协议分析软件，能对绝大多数的协议进行报文分析。但是由于物理设备价格高，数量有限，学生实际动手机会不多，真实的物理设备也不适合进行课堂演示实验，从而影响了协议分析法在教学中的应用。GNS3 是一款开源的思科网络模拟软件，适用于多种操作系统，可以让用户直接运行 Cisco 设备的 IOS，其命令行环境与真实物理设备的命令行环境完全相同，它不但能够完成对于一些复杂网络环境的模拟，还可以利用 Wireshark 来捕获虚拟网络拓扑中各链路段上通过的报文，从而可以对串口上配置的一些协议如 PPP 和帧中继等进行协议分析。另外，在 GNS3 0.8.1 之后的版本，Oracle VM VirtualBox 虚拟机可以像其他网络设备一样，在 GNS3 中进行配置使用。这样，在一台计算机上，利用 GNS3 和 VirtualBox 虚拟机搭建的虚拟网络实验环境，可以根据需要组建各种网络，通过捕获报文学习计算机网络相关协议，解决了硬件设备限制带来的不利影响。

本书以协议分析为主线，利用虚拟实验把理论和实践紧密结合在一起，理论和实践同步进行，避免对理论知识的枯燥叙述。本书原则上按自底向上分物理层、数据链路层、网络层、运输层和应用层等 5 层结构组织内容，在介绍各层功能和原理的同时，通过对捕获报文的分析，对不同层协议的工作原理和交互过程进行详细说明。全书共分为 9 章，各章主要内容如下：

第 1 章首先介绍计算机网络的定义、分类、性能指标和计算机网络体系结构，对电路交换和分组交换进行分析比较，讨论了 OSI 和 TCP/IP 参考模型、标准化组织以及因特网标准和管理机构等，介绍了组建虚拟网络实验环境所需要的各种软件的使用方法。

第2章主要讨论数据通信基础理论、编码、调制解调器、多路复用、扩频和传输介质。

第3章主要讨论共享式以太网、交换式以太网、虚拟局域网和生成树协议等，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明它们的工作过程。此外，还介绍了无线局域网的工作原理。

第4章主要讨论HDLC协议、PPP协议、帧中继协议和ADSL接入技术，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明了它们的工作过程。此外，还介绍了ATM技术。

第5章主要讨论IP协议、IP地址、IP报文转发、ARP协议、ICMP协议和三层交换技术，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明它们的工作过程。此外，还介绍了路由器和IPv6协议。

第6章主要讨论路由选择、路由算法、层次路由结构、静态路由、RIP协议、OSPF协议、BGP-4协议和IP多播，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明它们的工作过程。此外，还介绍了移动IP的工作原理。

第7章主要讨论UDP协议和TCP协议，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明TCP协议的工作过程。

第8章主要讨论客户/服务器模式、DNS、万维网、文件传输协议、电子邮件、DHCP和SNMP协议，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明它们的工作过程。

第9章主要讨论计算机网络安全技术、加密算法、数字签名、IP安全协议、安全套接层协议、防火墙、NAT和VPN技术，通过对虚拟网络实验环境中捕获报文的分析，说明NAT和VPN的工作过程。

本书中的网络配置环境只是为了说明协议的工作原理，对具体的配置命令只做简单的说明，详细介绍请参考其他相关书籍。如果需要各章在虚拟网络实验环境中捕获的报文文件，请登录清华大学出版社网站(http://www.tup.com.cn)下载。

由于计算机网络技术发展很快，涉及的知识面较广，加之作者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请广大读者批评指正。

# 目 录

# 第1章 绪　论

计算机网络是计算机技术与通信技术高度发展、相互渗透、紧密结合的产物。自20世纪60年代计算机网络问世以来，特别是20世纪90年代以后，随着以因特网为代表的计算机网络的飞速发展，计算机网络已经深入到我们工作、学习和生活中。计算机网络与计算机网络应用无处不在，已成为社会生活中不可或缺的部分。

## 1.1 计算机网络概述

### 1.1.1 什么是计算机网络

在给出计算机网络的定义之前，先来回顾一下所谓“网络”的概念。“网络”通常是指为了达到某种目的而以某种方式联系或组合在一起的对象或物体的集合。如日常生活中的交通系统、供水或供电系统、邮政系统等都是某种形式的网络。那么什么是计算机网络呢？

计算机网络是指以资源共享为目的的一些互连的自治的计算机系统的集合。建立计算机网络的目的就是为了实现计算机软硬件资源的共享。所谓互连就是将地理位置不同的多个自治的计算机系统，通过通信线路相互连接在一起进行数据通信。互连不仅指计算机之间物理上的连通，而且指两台计算机能互相交换信息，互连计算机之间的通信必须遵循共同的规则，这就是后面要介绍的计算机网络协议。自治的计算机系统是指相互连接的计算机之间不存在互为依赖的关系，排除了网络系统中主从关系的可能性。作为各自独立的计算机系统，它们具有独立的软件和硬件，任何一台计算机既可以联网工作，也可以脱离网络独立工作。图1-1所示就是一个典型的由局域网和广域网组成的计算机网络。

从图论的角度看，计算机网络可以简化成由若干个结点和边构成的图，其中结点是交换机或路由器，边是连接结点设备的链路。计算机网络中的计算机或其他终端设备也称主机，它们是数据通信的源点或目的地，也属于网络的一部分，但是为了更加方便地学习和研究计算机网络，习惯上把主机和网络区别开来。作为结点的交换机和路由器的作用是不同的，交换机负责在同一个网络中转发数据，而路由器负责在网络之间转发数据。图1-1中云状图表示用同一种技术组建的网络，或者是由多个异构网络互联构成的互联网。

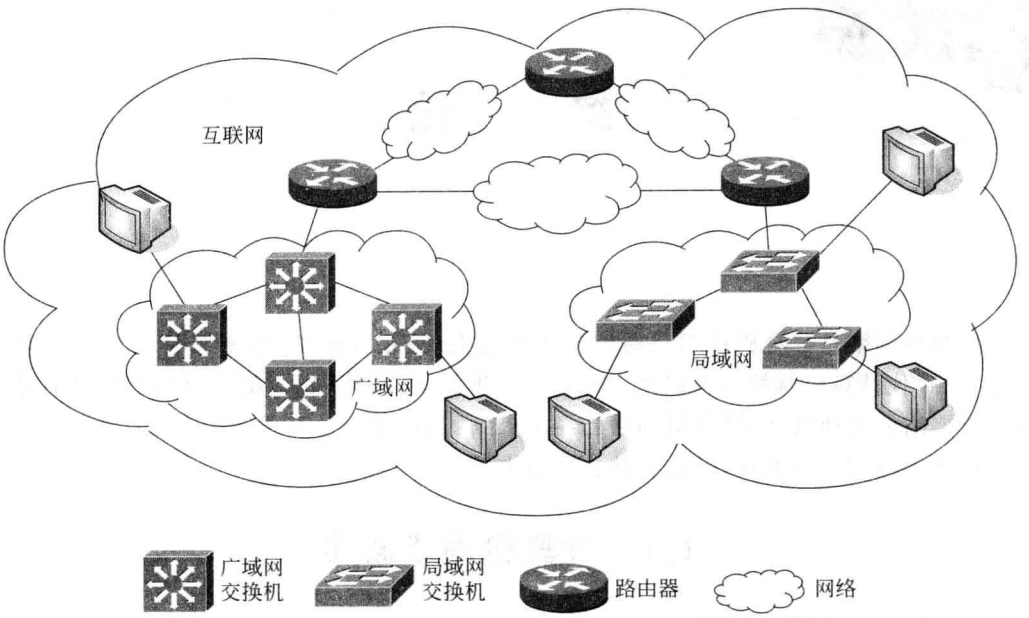



图 1-1 计算机网络示意图

## 1.1.2 计算机网络的分类

### 1.1.2.1 按计算机网络规模和覆盖范围分类

按照计算机网络规模和所覆盖的地理范围对其分类，可以分为局域网、城域网和广域网。

**1. 局域网**

局域网(Local Area Network，LAN)分布在一个房间、一个楼层、整栋楼及楼群之间等，范围一般在 2km 以内。局域网通常只包含物理层和数据链路层，主要用来构建一个单位的内部网络，例如办公室网络、办公大楼内的局域网、学校的校园网、工厂的企业网、大公司及科研机构的园区网等。局域网通常属于单位所有，单位拥有自主管理权，以共享网络资源为主要目的。局域网具有速率高、延迟小、成本低、应用广、组网方便及使用灵活等特点，深受用户欢迎，是目前计算机网络技术发展中最活跃的分支。常见的局域网标准有以太网和令牌环网等。

**2. 城域网**

城域网(Metropolitan Area Network，MAN)是介于广域网与局域网之间的一种大范围的高速网络，它的覆盖范围通常为几公里至几十公里。随着使用局域网带来的好处，人们逐渐要求扩大局域网的范围，或者要求将已经使用的局域网互相连接起来，使其成为一个规模较大的城市范围内的网络。因此，城域网设计的目标是要满足几十公里范围内的大量企业、机关、公司与社会服务部门的计算机连网需求，实现大量用户、多种信息传输的综合信息网络。光纤分布式数据接口(Fiber Distributed Data Interface，FDDI)是常见的

城域网标准。

**3. 广域网**

广域网(Wide Area Network,WAN)的覆盖范围很大,几个城市、一个国家甚至全球都属于广域网的范畴,从几十公里到几千或几万公里。广域网一般采用点到点的通信技术,通过通信线路连接起来,构成网状结构。广域网主要指在大中型企业集团、电信部门和政府构建的专用网络和公用网络。常见广域网标准有 X.25、帧中继和异步传递模式(Asynchronous Transfer Mode,ATM)等。

互联网(这里指小写字母 i 开头的 internet)不属于广域网,它是广域网与广域网、广域网与局域网、局域网与局域网之间互连后,形成局部处理与远程处理、有限地域范围资源共享与广大地域范围资源共享相结合的计算机网络。目前世界上发展最快、最热门的互联网就是因特网(这里指大写字母 I 开头的 Internet),它是世界上最大的互联网。

#### 1.1.2.2 按计算机网络传输技术分类

在通信技术中,通信信道的类型有两种:广播通信信道与点到点通信信道。在广播通信信道中,多个结点共享一个物理通信信道,一个结点发送信息,其他结点都能够接收这个信息。而在点到点通信信道中,一条通信信道只能连接一对结点,如果两个结点之间没有直接连接的线路,那么它们只能通过中间结点转发。因此网络所采用的传输技术也有两种,即广播(Broadcast)方式和点到点(Point-to-Point)方式。这样,相应的计算机网络也可以分为如下两类。

**1. 广播式网络**

广播式网络中的广播是指网络中所有连网计算机都共享一条通信信道,当一台计算机利用共享信道发送报文分组时,所有其他计算机都将会接收并处理这个分组。由于发送的分组中带有目的地址与源地址,网络中所有计算机接收到该分组的计算机将检查目的地址是否与本结点的地址相同。如果分组的目的地址与本结点地址相同,则接收该分组,否则将它丢弃。

在广播式网络中,若分组是发送给网络中的某些计算机,则称为多点播送或多播;若分组只发送给网络中的某一台计算机,则称为单播。在广播式网络中,由于信道共享可能引起信道访问错误,因此信道访问控制是要解决的关键问题。局域网一般采用广播通信方式。

**2. 点到点式网络**

点到点传播指网络中两台主机、两台结点交换机之间或主机与结点交换机之间都存在一条物理信道。主机或结点交换机沿某信道发送的数据确定无疑地只有信道另一端的唯一一台主机收到。假如两台计算机之间没有直接连接的线路,那么它们之间的分组传输就要通过中间结点的接收、存储、转发直至目的地结点。采用分组存储转发是点到点式网络与广播式网络的重要区别之一。

在这种点到点的网络中,没有信道竞争,几乎不存在介质访问控制问题。点到点信道无疑可能浪费一些带宽,但在长距离信道上一旦发生信道访问冲突,控制起来是相当困难,所以广域网都采用点到点信道,用带宽来换取信道访问控制的简化。