计算机网络实验教程

金伟祖　著

同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

计算机网络实验教程

金伟祖　著

同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络实验教程/金伟祖著. --上海:同济大学出版社,2018.3

ISBN 978-7-5608-7386-2

Ⅰ.①计… Ⅱ.①金… 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(2017)第 207384 号

计算机网络实验教程

金伟祖 著

策划编辑 朱 勇 责任编辑 李小敏 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向蓁

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.75

字 数 468000

版 次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-7386-2

定 价 58.00 元

前　言

计算机网络是计算机学科中的专业基础课程。随着信息技术在各行各业中的广泛应用，计算机网络也构成了其他应用学科和技术的基础知识。但计算机网络理论涉及知识面广，工程性强，概念相对比较抽象，即使对于计算机专业的学生来说，也是一门学习难度非常大的课程。

传统计算机网络实验教材，只是为配合计算机网络理论学习而设立，选取一些适合实验的知识点创立成为实验项目，偏重于网络管理，以培养网络管理技能为目标，实验内容较少，缺乏全面性。本书涉及大量计算机网络实验，希望通过实验来覆盖整个计算机网络知识体系，让读者能直观地理解各类计算机网络基础知识，掌握一些网络应用技能，具备较宽的网络应用发展及趋势视野。

本书以计算机网络应用作为编著目标，探索使用网络实验诠释计算机网络理论。在内容安排上，注重实验原理的阐述，将理论与实验、原理与技术有机结合起来，知识结构力求全面，主要以网络技术、网际技术和客户机服务器模型三方面知识作为阐述的核心内容，这三方面知识不但能够勾画出计算机网络知识的基本轮廓，而且还能清晰地解释当前网络应用中遇到的各类现象和概念，实现学以致用。在结构安排上，以开放系统互联 OSI 参考模型和网际互联 TCP/IP 协议模型为参照物，按照自下而上顺序编排知识点。在知识点选择上，选择了 OSI 参考模型的低三层（物理层、链路层、网络层）和 TCP/IP 参考模型的高三层（网际层、传输层和应用层），作为核心知识点；在内容组织上，围绕所在协议层展开，选取最有代表性的网络理论与应用技术作为实验内容。作为一本实验教材，无法进行非常完整的理论知识阐述，但还是竭力使得各个实验知识点的介绍做到局部完整，实验步骤注重现象解释，揭示实验现象背后发生的原因，为了让分散的各个知识点保持关联性，还特地增加一些章节，补充相关背景知识介绍。

本书系统收集整理了大量的实验项目，以展示和理解计算机网络基本原理为主要目的，突出知识整体性、操作易用性和实验设施软件化。实验项目涵盖了计算机网络各个协议层面。选用普通计算机系统作为主要实验设备，以我国学生使用最广泛的 Windows 系统为主操作平台，Linux 系统为辅助平台，建议 Linux 以虚拟机方式运行在 Windows 之下。本书中的绝大多数实验不需要专门的实验设备和实验场所，数据包分析实验只要使用计算机就可以开展，实验环境建设主要依靠软件搭建，除了选用一些开源软件，还开发了基于 Java 和 Web 的一些简单程序加以弥补，不需要任何其他投资。需要特别说明的是，实验项目中保留了一定数量的路由器实验。路由器是网际层核心设备，通过路由器可以把异构网络连接起来，路由器代表了网际技术的精华，路由器实验可以加深对网络互联本质的理解，路由器实验是计算机网络的核心实验。如果不具备路由器实验设备环境，建议使用一些路由器仿真软件来替代，可以达到同样的学习目的。

本书可作为计算机网络实验课程教材。部分内容作为课堂演示或学生练习，把课堂讲授和动手实验结合起来，会产生较好的教学成效。本书的内容完全来自作者的工程实践和教学感悟，可能存在一些错误，欢迎读者批评指正。

目 录

第 1 章
计算机网络基础

1.1　计算机网络

计算机网络是指把三台或三台以上的计算机经过通信线路连接，建立起来的能够进行相互通信的计算机系统。计算机网络概念有狭义和广义之分。

狭义计算机网络指计算机网络产品，往往专指物理网络，因为这些产品包含了大量的物理部件。现已研发出大量物理网络产品，比如 APRAnet，x. 25 和以太网。物理网络具有各自的接口方式、电气指标和传输机制，各种物理网络有其不同的侧重点和优点。但不同的物理网络产品无法直接互联，只有同类物理网络产品才能直接互联。

广义计算机网络指的是网络内任何两个网络节点均可以相互通信的计算机系统。互联网就是一种广义计算机网络，物理上借助于路由器将全球各类物理网络连接成一个网络，并以软件方式在物理网络之上重新搭建一个网络，实现网络功能。

计算机网络不是一个可以独立封闭运行的产品，其产生和发展都是着眼于计算机应用的延伸，目的始终是实现异地计算机之间的信息交互。计算机网络专门服务于计算机系统，计算机网络同计算机系统密不可分。

1.1.1　进程

单纯由计算机硬件构成的计算机称为裸机，一般由多种硬件组成，主要有中央处理器（CPU）、内存、外存和输入输出设备。操作系统是一种特殊的软件，直接运行在裸机上，以便对计算机的软硬件资源实施管理，因此称为系统软件。操作系统具有设备管理、文件管理、存储管理和进程管理等功能，既担当用户和计算机之间的操作接口，也作为应用软件和计算机硬件之间的交互接口。现代计算机都需要安装操作系统，用户通过操作系统使用计算机；任何其他软件都必须在操作系统的支持下才能运行。比如，Windows XP，Windows 7，Windows 10，Linux 均是操作系统，而 IE，Chrome，Word 均是应用软件。

图 1-1　计算机运行模型

程序是指能在计算机中执行的代码文件。进程，简单地讲就是装载到内存中运行的程序，我们运行的任何应用软件都将以进程方式提供服务。进程、操作系统和计算机硬件三者关系如图 1-1 所示。

进程是计算机中真正的执行单元，借助于操作系统使用计算机各项软硬件资源。操作系统运行在计算机硬件之上。为充分发挥计算机资源使用效率，现代计算机操作系统大多采用多任务系统，允许

多个进程同时运行，日常使用中表现为用户可以同时使用多个应用软件，比如在浏览网页的同时还可以进行即时通信。虽然现代计算机普遍采用多 CPU 和多核，但一般而言，其数量并不能完全满足并发进程数量要求，操作系统主要通过对 CPU 等资源的分时调度来实现进程并发运行。

为表述方便，各类计算机网络书籍习惯上总是将计算机描述为系统运行的主体，而省略了作为实际执行者的进程。任何计算机的行为均是由进程来具体实施的，在本书的其他部分，凡是称计算机节点，其行为主体均隐含指某个网络进程。网络进程是一种特殊的进程，同普通进程相比，它还具有网络通信功能。

1.1.2 计算机网络交互模型

计算机网络的用途，简单而言就是为两台计算机上的两个进程提供数据交互服务。网络进程是计算机网络交互主体。按照网络数据流传输轨迹分析，位于网络传输两端是网络进程，是网络数据出发端和终结端，计算机网络处于中间，用途就是帮助实现两者之间的数据交互。图 1-2 展示了计算机网络交互模型实例。

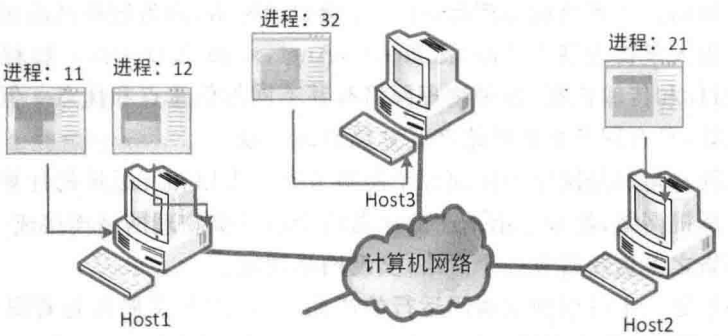


图 1-2 计算机网络交互模型实例

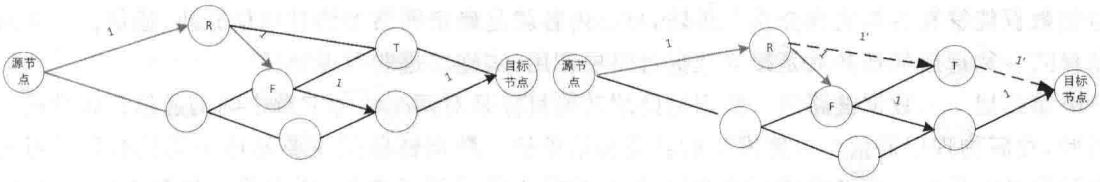
图 1-2 表示三台计算机之间的数据交互，计算机 Host1 上的 11 号进程同计算机 Host2 上的 21 号进程交互，与此同时，计算机 Host1 上的 12 号进程同计算机 Host3 上的 32 号进程交互。

1.1.3 包交换网络

计算机网络和传统通信网络相比，拓扑结构其实没有根本区别，都可以是网状结构，由多个节点相互连接而成，如图 1-3 所示，主要差别体现在传输机制上，计算机网络传输方式同传统通信网络有着本质区别。

传统通信网络也称为电路交换网络，两个端点在通信前必须先建立链路（所谓链路也就是规划好传输路径，规定好在各个中间节点的进出方向）才能通信。一经建立通信链路，通信传输路径就永远不会改变。

现代计算机网络传输采用包交换网络传输机制，也称为分组交换。包（分组）是指包含一小段数据的传输单元，发送时数据会被分割成多个数据包进行传输，包结构及大小有规格规定。包交换机制采用无连接通信方式，通信前不需要建立通信链路，在两个端点之间不存在一条明确的通信路径，数据包到达中间节点后，各个节点按照路由信息自行决定下一步走向。图 1-3 展示了这两种传输机制。



(a) 电路交换网络　　(b) 包交换通信

图 1-3　电路交换网络 & 包交换网络传输机制

图 1-3(a)图代表了传统点到点的电路交换网络传输机制。两个端点通信前先要建立链路，也就是规定一条通信路径，图中由实线箭头线组成的连线就是通信链路，即使中间物理线路发生故障，该链路在重新建立链路前不会改变。假如 R 节点同 F 节点之间的通信线路发生了故障，R 节点还是继续向 F 节点发送数据。电路交换网络通信期间，数据不管量大小都不会分割，连续传输不会停顿，中间节点不用保存数据，但一旦发生故障，将导致链路不能使用，只有重新建立新的通信链路才能进行通信，但此前的数据也将不可避免地全部丢失，数据只能重新传输。

图 1-3(b)代表了包交换网络传输机制。两个端点通信前不再需要建立链路，数据从源节点出发，到达下一个节点，每个中间节点自主决定下一步走向。还是以 R 节点为例，R 节点既可以向 F 节点转发，也可以向 T 节点转发，如果 R 节点至 F 节点之间的通信线路发生了故障，R 节点就可以把数据发给 T 节点，经过图中虚线箭头线表示的通信路径到达目标节点。但这种机制需要中间节点对数据进行缓存，在转发期间临时存放数据，因此就决定了数据量不能太大，数据必须进行分割成包(分组)。同样发生故障，只要网络拓扑结构中尚存在一条传输通道，通信就不会中断，虽然包丢失也不可避免会损失包本身数据，但只损失部分数据，重传成本较低。

现代计算机网络技术均采用包交换技术，如没有特别注明，本书中所涉及的物理网络技术均指包(分组)交换网络。

1.1.4　开放系统互联参考模型

开放系统互联参考模型(Open System Interconnection Reference Model，OSI 参考模型)，由 ISO 国际标准化组织颁布，其目的是为不同种类的计算机网络通信建立一个共同的基础处理框架。该模型对计算机网络整体功能实现方式进行了概念性描述，精确地把握了网络技术要点，其思想和理念至今还是非常正确，具有很强的指导意义。该模型可以有效地诠释计算机网络基本原理。OSI 参考模型如图 1-4 所示。

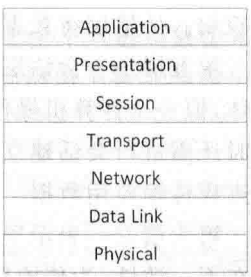


图 1-4　OSI 参考模型

OSI 参考模型采用分层模型，对计算机网络的处理功能进行了层次性分解，把网络处理功能划分成七个层次。下层功能主要用于被上层调用，网络模型中这种调用采用了标准化的数据结构和方式，所以称为功能服务。本书前述，现代网络都是基于包交换网络，数据传输前必须先分割成规格相同的数据包，但数据包在网络各个层次上需要进行不同的处理。为区分，专门在各个网络层次上规定了描述各种包的相应专有名字。下面自下而上介绍 OSI 参考模型各层功能。

第一层——物理层。物理层功能目标是解决网络节点之间的基本数据通信功能，确保二

进制数据能够在各类物理介质上传输，核心内容就是确定网络的物理通信介质、通信信号和通信模式。物理层的任务就是接受数据链路层调用，实施二进制数据通信。

第二层——数据链路层。数据链路层功能目标是对两个相邻节点之间的通信正确性进行校验，克服物理层通信中可能发生的各类通信差错。数据链路层主要使用各类校验技术对通信数据进行校验。发送端数据链路层，发送数据中除了原始数据，还需要添加数据校验码，然后调用物理层完成数据通信；接收端数据链路层，使用校验码对接收的数据进行正确性校验，验证同原始数据是否一致。数据链路层的任务就是接受网络层调用，确保两个节点之间的数据通信正确。

第三层——网络层。网络层功能目标是为网络中任意两个节点实施传输，具体负责网络节点识别、传输信道控制和传输路由计算。网络内存在两个以上节点，需要进行相互识别，物理地址是网络节点间用于相互识别的标识符，具有唯一性。有些网络介质需要共享，则必须设立传输信道控制的协调机制，获得传输信道控制后才能进行数据发送。网络中，将两个节点之间的直接通信称为跳。有些网络的源节点和目标节点不能直接进行数据传输，必须借助中间节点转发，路由计算就是传输路径的确定，该种网络称为多跳网络，中间节点称为路由节点。网络层的数据包结构称为帧，网络帧中一般包含物理地址，以标识网络节点。网络层在两个相邻节点间会调用数据链路层进行网络帧传输。网络层的任务就是接受传输层调用，在网络中任意两个节点之间实施单个传输层数据包的传输。

第四层——传输层。传输层负责解决两个应用程序之间数据传输的整体可靠性。现代包交换网络，较大尺寸的应用数据会被分割成多个包进行传输，不但要保证数据包不会丢失，而且还要保证数据包的接收顺序不变，以便还原成原始应用数据，其主要功能目标是解决数据包丢失、包乱序和网络通信量平衡。数据链路层是对已接收到的单个数据包进行校验，只能保证已接收包的数据正确性，但无法防范包丢失。当一个应用数据被分割成多个数据包后，需要对每个包设置序列号，目标节点按顺序进行处理。目标节点每收到一个数据包需要将其确认回复给源节点，源节点在预计的时间内没收到确认，就需要重发。在多跳网络中，由于节点的接收和发送处理能力不匹配，导致在路由节点和目标节点上发生数据丢失的堵塞与溢出现象，就需要源节点对数据发送量进行控制，使得网络通信量保持平衡，一般采用窗口滑动机制进行流量控制。传输层将数据分割成多个包，调用网络层将每个数据包封装到网络帧进行传输。

第五层——会话层。会话层负责在通信主体之间建立会话关系。网络进程是计算机网络主体，但一个计算机操作系统包含多个进程，需要为两个远程网络进程设定统一的通信标识。同时还需进行会话建立，数据传输同步和会话终止等功能处理。会话层通过调用传输层为各自进程传输应用数据。

第六层——表示层。表示层主要解决源节点和目标节点双方计算机系统应用数据格式的潜在不一致性，为传输数据进行格式转换。计算机内部以字作为基本处理单元，但字只有 8 个数位，最大数字是 255，往往需要组合多个字才能表示应用数据。但不同操作系统各类应用数据字的排列顺序却有不同的方式，同样一份数据有可能具有不同的格式。因此，计算机网络需要对传输数据进行数据格式转换。

第七层——应用层。就是网络进程本身，除了网络通信功能外，还包括应用功能，可以具有特定的应用数据格式和处理方式，但双方需要保持一致。采用了标准化方式的应用层功能就称为应用层协议。应用层调用表示层收发各自的应用数据。

OSI 参考模型实质上是从计算机编程角度，对网络处理过程的整体描述，对实现网络功能

的技术要素进行具体分析，但它不是一个实际协议，并没有具体实现，主要为网络具体设计与实现提供指导思想。按照这个模型可以设计出各种网络技术与产品，但对于具体一种网络软硬件产品而言，可能只包含部分协议层。比如网卡作为硬件产品，只包含了 OSI 参考模型中的物理层、链路层和网络层。

1.1.5　数据进制与存储

计算机系统使用二进制数据作为最基本的信息单位，每一个二进制数据称为位(bit)，网络通信也是以数位作为基本传输单位。但因二进制数据位数太多，不大方便交流，经常用八进制或十六进制来表示。

1. 二进制

二进制数据以 2 为基数，采用 0 和 1 两个数字来表示任何数据。基数是 2，进位规则是逢 2 进 1，借位规则是借 1 当 2。比如二进制计算，1＋1＝10，10 是十进制 2。

2. 八进制

八进制数据以 8 为基数，采用 0，1，2，3，4，5，6，7 八个基本数字，逢 8 进 1。因为一个八进制数位对应 3 个二进制数位，所以八进制数和二进制数可以按位进行对应转换，不需要换算。比如，二进制数 101010001，可以分成三组(101)(010)(001)，对应八进制数就是 521。

3. 十六进制

十六进制数据以 16 为基数，逢 16 进 1，一般用 0x 作为前缀来表示十六进制数。采用 0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F 十六个基本数字，其中，A 代表十进制 10，B 代表十进制 11，C 代表十进制 12，D 代表十进制 13，E 代表十进制 14，F 代表十进制 15。因为一个十六进制数位对应 4 个二进制数位，十六进制数和二进制数也可以按位进行对应转换。

计算机系统以字节(Byte)作为基本存储计量单位，一个字节由 8 个位组成。可以用多个字节组合起来进一步表示其他信息。比如，用 1 个字节的 ASCII 码来标识一个英文字母；用 2 个字节来标识一个汉字；用 4 个字节来表示一个 32 位整数。鉴于字节计量单位过小，为此设置了更大数量级的数据存储单位，主要有 KB，MB，GB 与 TB。其中，B 指字节，1KB＝1024B，1MB＝1024KB，1GB＝1024MB，1TB＝1024GB。比如一个 1Mb 文件的存储空间，就相当于包含了 1 百万个英文字母，或者 50 万个中文字的存储空间。

计算机文档经常使用十六进制来表示字节，1 个字节 8 位，恰好用 2 个十六进制数位来表示。比如，一个字节数字 11111001，对应十六进制数就是 0xF9，当看到网络书籍或实验中出现 A～F 字母，不能当作字符看待，而应该看成是一个十六进制数字。

1.1.6　数据传输速率

数据传输速率用于描绘网络的传输性能，数据传输速率基本单位使用每秒钟传送数位数量(bits per second)来表示，简称 bps。经常使用高速和低速来形象地描述。实际上，高速和低速没有明确的界限，且随着时代在不断变化。

bps 计量单位过小，为此设置了更大数量级别的数据传输速率单位，主要有 Kbps，Mbps，Gbps 与 Tbps。其中，1Kbps＝1024bps，1Mbps＝1024Kbps，1Gbps＝1024 Mbps，1Tbps＝1024Gbps。1024 是标准二进制计量级别换算单位，一般可以用 1000 近似估算。

1.1.7　网络应用发展趋势

随着信息化进程的不断深入，网络应用呈现百花齐放之势，下面五个方面代表着网络应用