



高等学校“十三五”规划教材

计算机网络任务 驱动式教程

邓小鸿 魏炳辉 罗 浩 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2021

内 容 简 介

本书是针对应用型本科院校开展计算机网络技术教学编写的一本实用性教材,以任务驱动式教学为主线,将每个任务的知识进行分解,实施碎片化教学,适应当前新信息技术在教育领域的融合,如微课和 SPOC 课程的开展。全书注重以通俗的案例讲解计算机网络技术的相关理论,加强学生对所授知识的理解和灵活应用。全书内容总体上分为两大部分:第一部分是计算机网络的基础理论,按照计算机网络五层体系结构开展分任务教学,包括计算机网络的基本概念、计算机网络的体系结构、物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层;第二部分是计算机网络的新应用,重点介绍计算机网络安全和下一代互联网——区块链的相关知识。全书重点讲述计算机网络技术方面的基本知识和最新应用技术,使学生熟练掌握相关岗位所需的基础知识,并对最新的网络技术有初步的认识,为培养高素质应用型本科人才奠定理论基础。

本书为应用型本科院校信息类专业计算机网络技术等相关课程的教学用书,也可供各类计算机从业人员和爱好者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络任务驱动式教程/邓小鸿,魏炳辉,罗浩编著. —北京:冶金工业出版社,2019. 8(2021. 1 重印)

高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6184-3

I. ①计… II. ①邓… ②魏… ③罗… 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(2019)第 057102 号

出 版 人 苏长永

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 纵晓阳 美术编辑 易 帅 版式设计 刘 芬

责任校对 何立兵 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6184-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市鑫鑫科达彩色印刷包装有限公司印刷

2019 年 8 月第 1 版,2021 年 1 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.5 印张;266 千字;192 页

45.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

Preface

前 言

随着互联网的不断发展,我国网民规模不断扩大,互联网普及率逐年上升,截至2017年6月,我国网民规模达到7.51亿人,互联网普及率为54.3%。“互联网+”成为我国经济新的增长点,在“大众创业,万众创新”时代起着重要的作用。计算机网络技术作为一门基础性和应用性较强的学科,在信息类专业中占据重要地位,一直是各高等院校信息类专业的必修课程。深入学习计算机网络技术,掌握其基本概念、基础原理和应用方法,对实际的生产、生活具有重要的现实意义。

目前市场上并不缺乏计算机网络技术的相关教材。经作者统计,从2012年到2017年,各出版社出版的计算机网络技术相关教材超过100种。但从销量、影响力和教材水平上来看,首推的还是谢希仁教授编写的《计算机网络》,它由电子工业出版社出版,目前已经更新到第7版。经过在应用型本科院校多年的授课,作者发现目前的教材存在的问题有:第一,教材质量虽然非常高,但并不适合应用型本科院校的学生学习,供应用型本科院校的学生使用的计算机网络技术相关教材应在理论水平上降低难度,做到通俗易懂;第二,应用型本科教育是我国高等教育的一个重要组成部分,为了能长远发展,应用型本科院校必须与其他类型的本科院校错位发展,形成自己的人才培养体系,这迫切需要更能适应应用型本科院校特点的系列教材;第三,教材内容过多,较多的知识在课堂教学中无法一一讲解,可以进一步精简。

本书以任务驱动式教学为主线,将每个任务的知识点进行分解,逐一实施,有利于学生对基础知识的理解和掌握。任务驱动式教学有利于开展新的教学模式,如微课和SPOC课程等教学手段的应用,对于激发学生的学习兴趣,培养学生的自主学习能力有着重要的促进作用。

本书共分为九个不同的任务。任务一简单介绍计算机网络的基本概念,让学生对计算机网络有一个基本的认识;任务二介绍计算机

Preface

网络的体系结构,明确全书的内容学习主线;任务三介绍计算机网络的物理层;任务四介绍计算机网络的数据链路层;任务五介绍计算机网络的网络层;任务六介绍计算机网络的传输层;任务七介绍计算机网络的应用层;任务八介绍计算机网络安全;任务九介绍下一代互联网,讲解区块链的相关知识。每个任务由一个或多个具体的知识点组成,每个任务实施的过程以通俗易懂的语言讲解。建议课程教学方法如下:先组织学生对任务进行讨论和分析,明确本任务需要掌握的知识技能;然后对任务进行分解,逐一学习单个任务的实施方法;最后让学生根据学习内容完成任务检测,检查自己的学习效果。建议课程授课学时为 56~64 学时。

本书由邓小鸿、魏炳辉和罗浩编写。本书内容所涉及的研究获得国家自然科学基金(项目编号:61762046)、江西省自然科学基金(项目编号:20161BAB212048)的支持,另外本书的出版获得江西理工大学应用科学学院的资助,在此一并表示感谢!

由于作者水平所限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2019 年 1 月

Contents

目 录

任务一 初步认识计算机网络	1
任务导读	1
任务学习目标	1
任务分解	1
一、了解计算机网络的定义及功能	1
二、掌握计算机网络的分类	1
三、理解互联网的组成	2
四、掌握计算机网络的性能指标	2
任务实施	2
一、计算机网络的定义及功能	2
二、计算机网络的分类	3
三、互联网的组成	4
四、计算机网络的性能指标	11
任务小结	13
任务检测	13
任务二 了解计算机网络的体系结构	16
任务导读	16
任务学习目标	16
任务分解	16
一、理解计算机网络的分层思想	16
二、理解网络协议	16
三、认识计算机网络的体系结构	17
任务实施	17
一、计算机网络的分层思想	17
二、网络协议及其组成要素	19
三、计算机网络的体系结构	20
任务小结	21
任务检测	22
任务三 认识物理层	24
任务导读	24

任务学习目标	24
任务分解	24
一、理解物理层的基本任务	24
二、了解数据通信的基本知识	24
三、掌握物理层的通信媒体及其工作原理	25
四、理解常用的信道复用技术及其工作原理	25
任务实施	25
一、物理层的基本任务	25
二、数据通信的基本知识	26
三、物理层的主要传输媒体	29
四、常用的信道复用技术及其工作原理	32
任务小结	35
任务检测	35
任务四 认识数据链路层	38
任务导读	38
任务学习目标	38
任务分解	38
一、了解数据链路层的基本概念	38
二、掌握数据链路层的 3 个基本问题	38
三、理解局域网的工作原理	39
四、掌握扩展局域网的方法及以太网交换机的工作原理	39
任务实施	39
一、数据链路层的基本概念	39
二、数据链路层的 3 个基本问题	40
三、局域网的工作原理	45
四、局域网的扩展及以太网交换机的工作原理	51
任务小结	55
任务检测	55
任务五 认识网络层	58
任务导读	58
任务学习目标	58
任务分解	58
一、了解网络层提供的 2 种服务的区别	58
二、理解 IP 的主要工作原理	59
三、掌握划分子网的方法	59
四、掌握 CIDR 地址划分方法	59
五、理解互联网的路由选择协议	59

六、了解虚拟专用网和网络地址转换	59
任务实施	60
一、网络层提供的 2 种服务	60
二、IP 的工作原理	62
三、划分子网	74
四、CIDR 编址与地址分配	76
五、互联网的路由选择协议	80
六、虚拟专用网和网络地址转换	88
任务小结	89
任务检测	89
任务六 认识传输层	94
任务导读	94
任务学习目标	94
任务分解	94
一、了解传输层的基本概念	94
二、了解 TCP 的首部格式	95
三、理解可靠传输的工作原理及 TCP 可靠传输的实现	95
四、掌握 TCP 的流量控制与拥塞控制方法	95
五、了解 TCP 的连接建立和释放过程	95
任务实施	95
一、数据链路层的基本概念	95
二、TCP 的首部格式	99
三、可靠传输的工作原理及 TCP 的可靠传输实现	101
四、TCP 的流量控制与拥塞控制	106
五、TCP 连接的建立与释放	112
任务小结	114
任务检测	114
任务七 认识应用层	119
任务导读	119
任务学习目标	119
任务分解	119
一、了解应用层的基本概念	119
二、域名系统	120
三、文件传送协议	120
四、万维网	120
五、电子邮件	120
六、动态主机配置协议(DHCP)与简单网络管理协议(SNMP)	120

任务实施	120
一、应用层的基本概念	120
二、域名系统	121
三、文件传送协议	126
四、万维网	129
五、电子邮件	136
六、动态主机配置协议(DHCP)与简单网络管理协议(SNMP)	137
任务小结	139
任务检测	139
任务八 了解计算机网络安全	142
任务导读	142
任务学习目标	142
任务分解	142
一、了解计算机网络面临的安全威胁	142
二、明确计算机网络安全的目标	142
三、了解计算机网络安全常用防护对策	143
任务实施	143
一、计算机网络面临的安全威胁	143
二、计算机网络安全目标	146
三、计算机网络安全常用对策	147
任务小结	179
任务检测	180
任务九 初步了解下一代互联网——区块链	182
任务导读	182
任务学习目标	182
任务分解	182
一、掌握区块链的概念	182
二、区块链的工作原理	182
三、区块链的主要应用场景	183
四、区块链实际应用需解决的主要问题	183
任务实施	183
一、区块链的概念	183
二、区块链的工作原理	185
三、区块链的主要应用场景	188
四、区块链实际应用需解决的主要问题	190
任务小结	191
任务检测	191
参考文献	192

任务一 初步认识计算机网络

任务导读

本任务主要介绍计算机网络的基本概念,包括计算机网络的定义、功能、分类与性能指标,互联网的组成及工作方式等。

任务学习目标

知识点分解:

- ①计算机网络的定义及功能。
- ②计算机网络的分类。
- ③互联网基本知识。
- ④计算机网络的性能指标。

学习重点:

- ①熟练掌握计算机网络的性能指标。
- ②了解互联网的组成及工作方式。

学习难点:

分组交换网的工作原理。

任务分解

一、了解计算机网络的定义及功能

小李同学对计算机网络非常感兴趣,他在网上搜索了一些与计算机网络相关的资料,发现关于计算机网络的定义和功能有不同的描述,非常容易混淆,需要进行明确的解释。

二、掌握计算机网络的分类

计算机网络可按照不同的指标进行分类,局域网的概念经常出现。那么局域网是按照什么标准进行分类的,还有哪些同类的网络,校园中使用的网络是什么类型的网络呢?

三、理解互联网的组成

小李对计算机网络和互联网概念的认识比较混淆,计算机网络与互联网是一个概念吗?互联网是什么,它是由什么组成的,它的工作原理是什么?

四、掌握计算机网络的性能指标

计算机网络构建好后,需要对它的性能进行评估。人们都会关注上网速度的快慢,网速确实是一个衡量指标。那么还有哪些衡量计算机网络的性能指标,价格因素是否也是呢?

任务实施

一、计算机网络的定义及功能

1. 计算机网络的定义

(1) 网络、计算机网络、因特网与互联网

目前,人们谈的网络主要有三种类型,即“三网”。“三网”指的是电信网络、电视网络和计算机网络。电信网络以座机和移动电话为代表,是最早发明并使用的网络。自1924年世界上第一台电视机问世以来,电视网络从最早的天线接收信号到以铜芯电缆传输有线电视信号,再到如今的数字机顶盒,已有90多年。计算机网络从20世纪80年代发明,到现在仅30多年,但其地位已经与电信网络和电视网络相当。“三网”中发展最快并起到核心作用的是计算机网络,21世纪已经成为以计算机网络为核心的信息时代。国家倡导的“三网”融合政策,其目的就是让手机可以看电视、上网,电视可以打电话、上网,计算机也可以打电话、看电视。三者之间相互交叉,形成你中有我、我中有你的格局。

计算机网络与因特网相比是一个比较狭隘的概念,一个宿舍的几台计算机连接在一起相互通信就可以称为计算机网络,但因特网是指全球范围内最大的计算机网络。目前,因特网的概念逐渐被互联网代替。

(2) 计算机网络的组成

计算机网络由节点和链路组成,节点如计算机、路由器等,链路如常见的双绞线和光缆。简单来讲,计算机网络是把许多计算机连接在一起,而因特网或互联网是把很多计算机网络连接在一起。图1-1给出了计算机网络和互联网的区别。

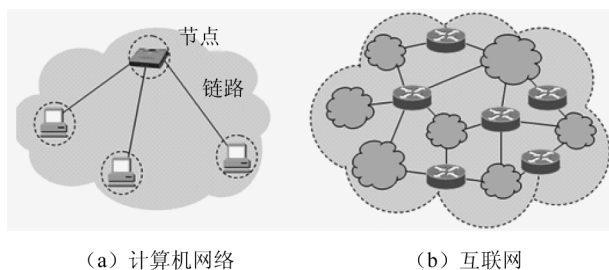


图 1-1 计算机网络与互联网的区别

(3) 定义

计算机网络的精简定义是,计算机网络是一些互相连接的、自治的计算机的集合。该定义中有两个明确的定语:一个是要互相连接,另一个是要求自治。自治的含义是计算机在不相互连接的情况下,自己能独立地工作,如计算机在不联网的情况下也能独立地完成工作。

注意:虽然网络包含了电信网络、电视网络和计算机网络,但是为了简化描述,在本书中若无明确说明,网络指的就是计算机网络。

2. 计算机网络的功用

(1) 计算机网络的作用

计算机网络在信息时代起到了核心作用,它使信息传播的及时性和大范围覆盖成为可能,人们越来越习惯于通过网络获取信息。计算机网络已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。随着我国互联网普及率的不断提高,互联网对社会生活的很多方面以及社会经济的发展都起着不可估量的作用。

计算机网络以其特有的优势占领了人们日常生活的各个角落,利用计算机网络可以进行交友、购物、娱乐、考试、办公等。但计算机网络是一把“双刃剑”,由于计算机网络是一个信息的公开场所,不可避免地存在着较多的安全隐患,如利用计算机网络进行网络犯罪等。人们应该正确利用计算机网络,发挥其优势,遏制其劣势。

(2) 计算机网络的功能

计算机网络的功能是连通性和资源共享。计算机网络为相互独立的计算机提供连通性,使计算机之间的通信成为可能。计算机连通的目的是为了进行资源的共享。通过计算机网络,计算机上拥有的硬件、软件资源均可以共享。如一个办公室有 4 台计算机,却只有一台打印机,可以通过网络共享打印机,实现 4 台计算机均可以使用打印机。

二、计算机网络的分类

1. 按照地理范围划分

计算机网络按照其覆盖的地理范围可以分为个人局域网(Personal Area Network, PAN),局域网(Local Area Network, LAN),城域网(Metropolitan Area Network, MAN)和广域网(Wide Area Network, WAN)。按照地理范围从小到大的顺序排列,4 个网络的关系如图 1-2 所示。

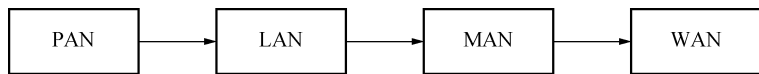


图 1-2 4 个网络之间的关系

PAN:物联网技术和移动智能终端的发展和普及,使个人的智能设备组网成为可能。现在的手机、电视、空调、电饭煲等都具有连接网络的功能,人们可以将这些设备联网进行控制,组成的这个网络称为 PAN。这个网络的范围最小,仅限于个人及家庭范围内使用。

LAN:局域网覆盖一个房间、一栋楼、一个公司或一个校园,LAN 的覆盖范围从几十米到几百米,限于一个单位内部使用。例如,一个学校的网络就属于 LAN。

MAN:LAN 的范围再扩展一些,把多个学校、多个公司的 LAN 连在一起,形成一个城市范围内的网络,就形成了 MAN。

WAN:MAN 的范围再扩展一些,一个国家多个城市的网络、多个国家的网络互联就形成了 WAN。

2. 按照使用者划分

计算机网络按照使用者可以分为公用网(Public Network)和专用网(Private Network)。公用网是大家都可以使用的网络,人们日常访问的网络绝大部分都是公用网,公用网中的资源是接入互联网的用户都可以自由获取的。而专用网是一个单位或者公司内部使用的网络,只有授权的用户才能访问,如一个学校的办公自动化系统(Office Automation System),只有注册后的学校教师才能访问。

3. 按照组网的类型划分

计算机网络按照组网时采用的传输媒体类型可以分为有线网络(Wired Network)和无线网络(Wireless Network)。有线网络是通过双绞线和光缆等物理材质做成的链路组建计算机网络,而无线网络是利用空气中的无线信道作为链路来组建网络。无线网络相比有线网络省去了物理布线的限制,广泛应用于家庭和室内局域网的组建,如大家熟知的 Wi-Fi。当然有线网络也有其优点,将会在后续章节中详细介绍。

三、互联网的组成

1. 互联网的发展历程

互联网的发展大致经历了 3 个核心阶段,即诞生阶段、三级结构的网络阶段和以因特网服务提供者(Internet Service Provider,ISP)为核心的网络阶段。

第一阶段:因特网的诞生。

20 世纪 60 年代,美国和苏联两大国家处于冷战时期,世界大战貌似一触即发。从两次世界大战的经验发现,战争中两地的通信保障至关重要。传统的以电话通信为主的电路交换存在一个致命的缺点——当正在通信的电路中有一个交换机或者一段链路被破坏后,整个通信电路就会中断,使作战命令无法及时下达到作战单位。鉴于此,美国国防部领导的远景研究规划局(Advanced Research Project Agency,ARPA)提出要研制一种生存能力(Survivability)很强的网络,即任意两点之间存在着冗余的链路,当一条链路被破坏后,信息仍然可以从另一条链路传输到对方。1969 年,ARPA 创建了第一个网络模型 ARPANET,它是一个单独的网络,不能将不同的网络互联。直到 1983 年 TCP/IP 成为 ARPANET 上的标

准协议才使网络互联成为可能,因而,人们把 1983 年看作互联网的诞生时间。

第二个阶段:三级结构的网络。

20 世纪 90 年代,互联网开始在高校和科研机构中广泛使用,网络结构分为三级结构:校园网、地区网和主干网。以校园中的互联网使用为例,一个学生通过网络访问新浪网主页,那么他首先将请求提交到校园网中,由校园网中的服务器来解析地址;如果校园网无法解析,则将请求发到地区网,如华中地区、华南地区的网络;如果地区网仍然不能解析,则请求主干网,如中国计算机公用网等。也就是说,这个阶段的网络访问必须通过层次结构进行。

第三个阶段:以 ISP 为核心的网络。

ISP,如中国移动、中国电信等拥有能上网的 IP 地址,用户通过 ISP 获取 IP 地址,然后直接访问 Internet 中的资源。这种网络的访问形式是目前的主流方式。在家庭或者学校宿舍安装中国电信的宽带,实际上就是购买了中国电信的网络服务。图 1-3 给出了用户通过 ISP 上网的模型。

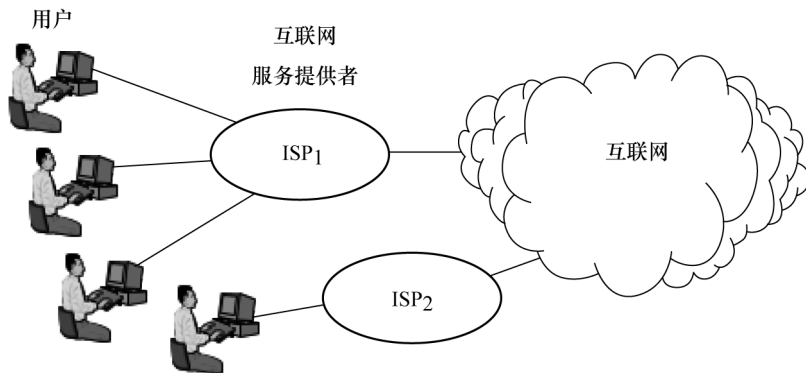


图 1-3 用户通过 ISP 上网的模型

2. 互联网的组成

互联网的功能是提供连通性和资源共享。按照功能来划分,可以将互联网分成两个部分,一个是提供共享资源的部分,另一个是提供连通性的部分,分别称为边缘部分和核心部分。

(1) 边缘部分

边缘部分提供共享的资源,通常是主机。这部分直接由用户使用,提供数据、文档、音视频等共享数据。

(2) 核心部分

核心部分由大量网络和连接这些网络的路由器组成。这部分是为边缘部分提供服务的(提供连通性和交换)。

注意:有人将互联网的组成分成资源子网和通信子网两部分,大家可以思考一下,资源子网和通信子网分别与这里讲的哪一部分是对应的。

图 1-4 给出了互联网的边缘部分和核心部分。

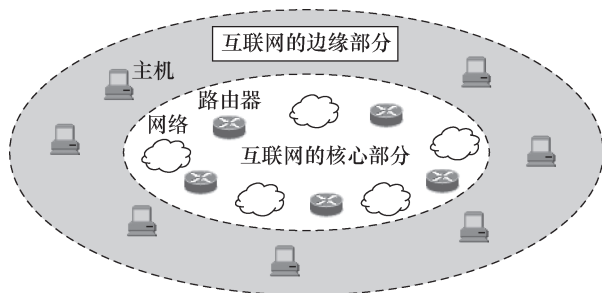


图 1-4 互联网的边缘部分和核心部分

3. 互联网各组成部分的工作方式

(1) 边缘部分的工作方式

边缘部分实际上就是主机,那么主机与主机的通信方式是怎样的? 首先应明确一个问题:什么是计算机之间的通信? 以用户 A 通过计算机中的 QQ 软件和用户 B 聊天为例,用户 A 的主机和用户 B 的主机通信的本质是什么? 准确地说,应该是用户 A 主机中的 QQ 程序和用户 B 主机中的 QQ 程序在通信,即进程通信,那么计算机之间的通信本质就是进程通信。计算机之间的通信方式有两种:客户机/服务器(Client/Server, C/S)工作方式和对等(Peer to Peer, P2P)工作方式。

1) C/S 工作方式

C/S 工作方式如图 1-5 所示。当客户机 A 要访问服务器 B 的资源时, A 先向 B 发送服务请求, B 在同意请求后为 A 提供相应的服务。在 C/S 工作方式中,客户机和服务器的地位是不平等的,客户机处于次要地位,是服务的请求方;而服务器处于核心地位,是服务的提供方。服务器要为众多的客户机提供服务,其要求的软硬件环境都比客户机高。一般客户机端安装客户程序,服务器端安装服务器程序,客户程序和服务器程序并不相同。客户程序具有如下特点:被用户调用后运行,在打算通信时主动向远程服务器发起通信(请求服务)。因此,客户程序必须知道服务器程序的地址,不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。服务器程序具有如下特点:系统启动后即自动调用并一直不断地运行,被动地等待并接收来自各客户机的通信请求。因此,服务器程序不需要知道客户程序的地址,一般需要强大的硬件和高级的操作系统支持。

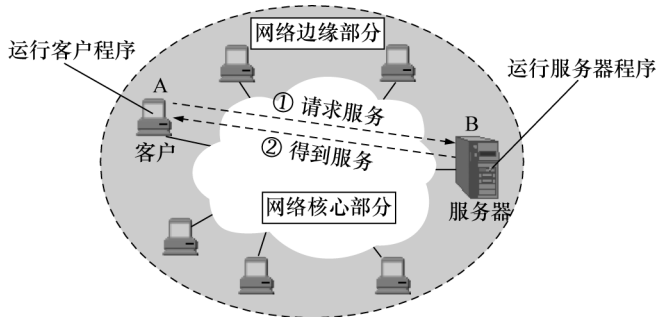


图 1-5 C/S 工作方式

C/S工作方式有一个显著的特点,就是当连接服务器的客户数越多时,每个客户获得的网络服务会变差。例如,从一个文件服务器下载一个几百兆字节的电影文件,当一个人访问时网络的速度是比较快的,当连接的客户数较多时会发现网络的速度明显变慢了。

2) P2P 工作方式

对等连接方式从字面意思来看,就是说主机的地位都是对等的,既然是对等的,就没有主从关系了。P2P 是指两台主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方,哪一个是服务提供方。只要两台主机都运行了对等连接软件(P2P 软件),它们就可以进行对等连接通信。在该工作方式下,双方都可以下载对方已经存储在硬盘中的共享文档。图 1-6 给出了 P2P 工作方式的一个实例。

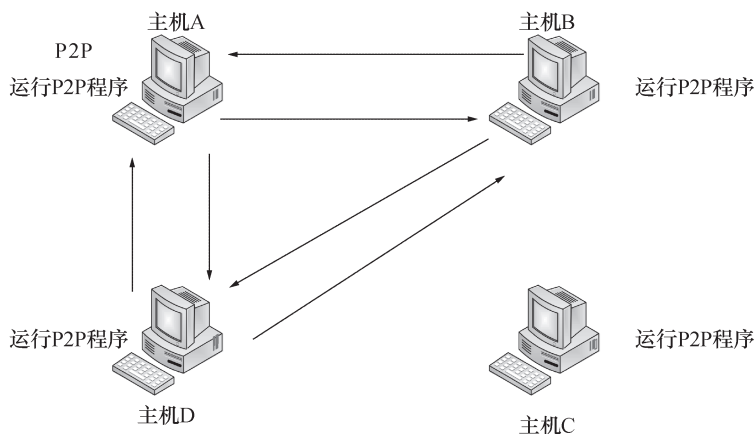


图 1-6 P2P 工作方式

假设主机 A 中有一个电影资源,主机 D 首先连接到主机 A,并向它下载该电影资源;然后主机 B 也想下载该电影资源,那么它有两个选择,第一个是向 A 下载,第二个是向 D 下载,也许 D 并没有电影资源的完整信息,但是有多少下多少。那么,当主机 C 也想下载的时候,情况又是怎么样的?是不是当与该电影资源连接的主机越多时,C 的选择越多,可以从众多备选下载它需要的东西?这种方式有一个显著的优点:当连接的主机越多时,下载速度越快,这在传统的 C/S 工作方式中是不可想象的。早期的 BitComet 软件和现在流行的迅雷软件采用的都是 P2P 工作方式。不知道大家是否留意,当用迅雷软件下载资源时,若该资源的连接数越多,则下载速度会越快。

注意:P2P 工作方式从本质上看仍然属于 C/S 工作方式,只是对等连接中的每一台主机既是客户机又是服务器。例如,主机 C 请求 D 的服务时,C 是客户机,D 是服务器;如果 C 同时向 F 提供服务,那么 C 同时起着服务器的作用。P2P 工作方式是 C/S 工作方式的一个特例。

(2) 核心部分的工作方式

核心部分是互联网中最复杂的部分。网络中的核心部分要向网络边缘部分的大量主机提供连通性,使边缘部分中的任何一台主机都能够与其他主机通信。在网络核心部分起特殊作用的是路由器,路由器的主要功能是转发分组。在后续的章节中将会重点介绍路由器

的工作原理。核心部分的工作方式讨论的是怎样为 2 台主机提供连通性,即如何将数据从一台主机传输到另一台主机,其工作方式有 3 种:电路交换、报文交换和分组交换。

1) 电路交换

现实生活中打电话采用的方式就是电路交换,下面以家庭座机为例说明电路交换的工作原理。最早的电话是直接将两台电话机用一根电缆连接起来进行通信的,但是当电话机数量越来越多的时候,需要两两连接的电缆数也越多,这就引出了交换机的概念。所有的电话机不需要彼此相连,而是都连接到交换机的接口上。假设 A 和 B 两台电话机分别接到交换机的 1 号口和 2 号口,当 A 要和 B 通话时,就将 1 号口和 2 号口用电缆连接起来,这样 A 和 B 之间就建立了一条通话线路;当通话结束的时候再将 1 号口和 2 号口之间的电缆断开,这样做的目的是动态分配通信资源,提高资源利用率。实际上,将 1 号口和 2 号口连接的过程就是电路的交换过程,或者说转接过程。早期有专门的电话接线员,转接的工作是由人工完成的。当电话需求多时,显然采用人工的方式是不合适的,后来有了数字程控交换机,改用计算机自动完成转接。图 1-7 和图 1-8 分别给出了电路交换的例子,图 1-7 是用户拨打市话时的工作情景,图 1-8 是用户拨打长途电话时的工作情景。

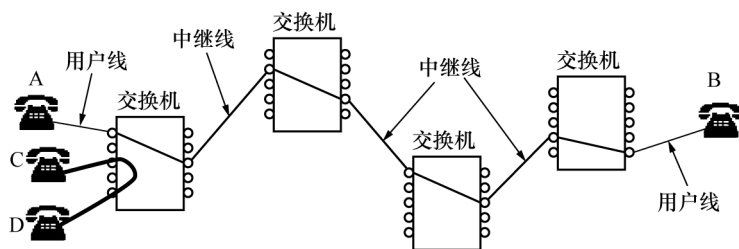


图 1-7 用户拨打市话时的工作情景

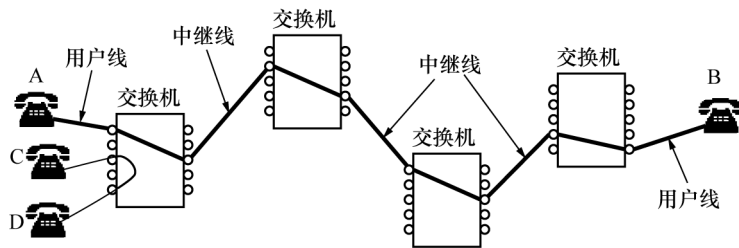


图 1-8 用户拨打长途电话时的工作情景

当用户拨打市话时,如 C 和 D 进行通信,由于 C 和 D 同时连接到本地交换机上,C 和 D 的通信只需要本地交换机进行转接就可以实现。当 A 要和 B 进行通话时,需要经过 4 个中间交换机的协同工作,这也就能够理解为什么打长途比打市话要贵得多。

电路交换是面向连接的,其含义是通信时存在着一条真实存在的物理线路。举个例子,当用家里的座机与对方的座机进行通话时,你可以从家里的电话线出发一直扯到对方的电话线。

电路交换分为连接建立、通话和释放连接 3 个过程。举个例子,用座机打电话时,先拨号,拨号就是建立连接的过程,电话接通后开始通话,通话结束后挂机,挂机就是释放连接的过程。

2) 报文交换

报文交换最早用在电报通信中。电报通信在 20 世纪 40 年代被广泛使用。电报通信的原理为,用户 A 要将信息传达给用户 B,先将信息发给电报服务部门,如邮局,邮局收到信息后进行存储,然后根据用户 B 所在的地址转发出去,这里邮局承担了存储转发的功能。如今快递公司的工作模式都是基于“存储转发”,用户到快递公司投递包裹,填写目的地址,快递公司揽件,存储在中转站中,然后根据目的地址进行转发,最后通过快递员送到对方手中。报文交换有一个显著的特点就是不管用户投送的“包裹”是大是小,“快递公司”都不能拆分它,需要完整地进行转发和交付。另外,报文交换的时延较长,从几分钟到几小时不等。现在报文交换已经很少使用了。

3) 分组交换

先思考一个问题,人们去快递公司邮寄包裹,如果包裹过大过重,那么快递员总会滞后帮你投递,因为过大过重的物品难以运输,不如小件投递方便。回到计算机的数据传输上,如果主机 A 要给主机 B 发送一个 100MB 的文件,如果这个文件在传输过程中出错了,哪怕是出现了一个很小的错误,主机 A 都要重新传一次。这样会浪费极大的通信资源,能不能只传出错的部分呢?

在分组交换网中,如果发送端要发送的报文太长,不利于传输,可以先把这个报文分成较短的、固定长度的数据段,然后在每一个数据段前面添加首部构成一个分组,这样长的报文就划分成了若干个分组。至于为什么要加首部,这是因为首部中标注了分组顺序信息,可以知道这个分组是原报文中的哪一段,以便将最终数据组合起来。分组完成后,将这些分组作为数据传输单元依次发送到接收端,并且每个分组可以通过不同的路径到达对方,每个分组的首部中还必须带有目的地址信息。接收端在收到分组后,将首部去掉,并且重组还原成报文交付。综上所述,分组交换的工作流程如图 1-9 所示。

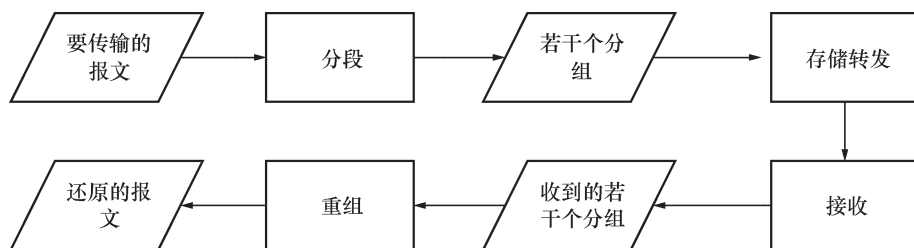


图 1-9 分组交换的工作流程

分组交换的执行步骤如下:

- ① 发送端将要发送的报文划分成固定长度的数据段。
- ② 将每个数据段添加首部,形成若干个分组。
- ③ 将分组依次发送到网络中。
- ④ 分组在网络中可以通过不同的路径到达目的地(发送方和接收方之间有多条路径)。
- ⑤ 接收端收到分组后,按序排序并去掉首部,还原报文。
- ⑥ 将还原的报文交付。

注意:在分组交换网中,如果接收端发现分组有缺失,会要求发送方重传分组,重传一个

分组的代价比重传整个报文要小得多。

图 1-10 给出了一个分组交换进行数据通信的实例。该实例中,主机 H_1 给 H_5 发送数据, H_1 将数据分成若干个分组,按照先后顺序发送给路由器 A,路由器 A 将分组进行转发,有的分组经 ABDE 这条路径到达 H_5 ,有的分组经 ACE 这条路径到达 H_5 。

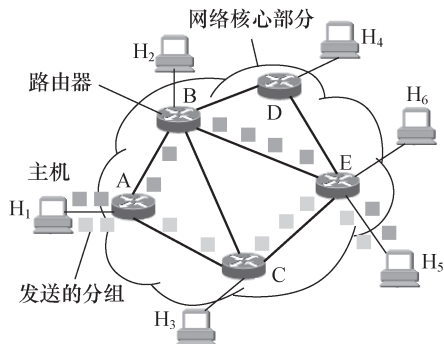


图 1-10 分组交换数据通信实例

事实上,计算机网络采用的就是分组交换的工作方式。通过上述描述可知,分组交换具有如下优点:

- ① 高效:动态分配传输带宽,对通信链路是逐段占用。
- ② 灵活:以分组为传送单位和查找路由。
- ③ 迅速:不必先建立连接就能向其他主机发送分组。
- ④ 可靠:设计了保证可靠性的网络协议,分布式的路由选择协议使网络有很好的生存性。

那么,分组交换有没有缺点呢?请思考如下问题:

- ① 原本只要传递 1000B 的数据给对方,但是实际上要传递 1050B,50B 是添加的首部,是不是增大了通信的开销?
- ② 分组交换中,中间节点起到很关键的作用,如果分组过多,而中间节点的处理能力有限,那么分组是不是要在节点处排队,这是不是增加了时延?
- ③ 分组交换中,分组是独立地寻找路径,不同路径上数据的传输时间是不一样的,会不会先发送的分组找了一条长的路径,然后比后发送的分组后到达接收端呢?这样接收端能不能及时重组还原数据?

分组交换具有如下缺点:

- ① 增大通信开销:分组中的首部携带了地址和相关控制信息。
- ② 增加时延:分组在中间节点需要排队。
- ③ 分组可能未按序到达:接收端需要等到分组全部到达后才能重组还原报文。

注意:虽然分组交换也有缺点,但计算机网络发展到今天,其达到的效果证明了分组交换的实用性,其优点远大于缺点。

学习完核心部分的 3 种工作方式后,大家思考一个问题,电路交换已经成功应用于电信网络中,并且仍然在使用,计算机网络的专家们为什么当时不采用电路交换来传送计算机的数据呢?事实上,这个问题确实在当时引起过研究者的注意,并且得到了不少人的支持,那么为什么计算机网络没有采用电路交换呢?这是因为计算机的数据是突发性的,是离散

的数字信号,不像连续的语音信号,如果采用电路交换,通信的双方需要自始至终独占这段通信链路。使用计算机网络通常的情况是一个小时通过 QQ 和对方说了几句话,这样的通信效率非常低。而打电话不一样,当拨通对方的电话后,人们基本上是连续地和对方在交流,即使是独占链路,通信效率也是比较高的。所以电信网络可以采用电路交换,而计算机网络不能。

核心部分 3 种工作方式的比较如图 1-11 所示。其中,报文交换和分组交换都利用了“存储转发”的思想,但是其不同之处在于能不能将报文拆分。

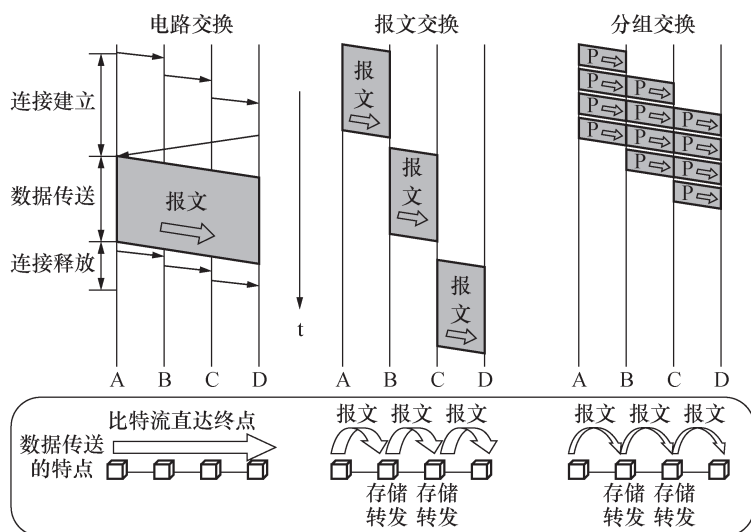


图 1-11 核心部分 3 种工作方式的比较

四、计算机网络的性能指标

评价一个计算机网络的性能好坏,需要利用其性能指标来衡量,如速率。速率越大,计算机网络的性能越好。另外,价格也是计算机网络的性能指标,但是这个指标是主观因素,不同的人对于价格持有不同的观点。本书所讲的计算机网络的性能指标主要是指客观因素。计算机网络的性能指标主要有如下 5 个:

1. 速率

计算机的数据是二进制数据,最基本的数据单位是 bit。速率就是单位时间内能传送的比特数,用比特每秒来表示,表示为 bit/s(或 b/s)。当数据量比较大时会用到 kbit/s、Mbit/s、Gbit/s 等单位,表 1-1 给出了常见的速率单位。

表 1-1 常见的速率单位

符号	十进制表示	中文读法
kbit/s	10^3 bit/s	千比特每秒
Mbit/s	10^6 bit/s	兆比特每秒
Gbit/s	10^9 bit/s	吉比特每秒

续表 1-1

符号	十进制表示	中文读法
Tbit/s	10^{12} bit/s	太比特每秒
Pbit/s	10^{15} bit/s	拍比特每秒
Ebit/s	10^{18} bit/s	艾比特每秒
Zbit/s	10^{21} bit/s	泽比特每秒
Ybit/s	10^{24} bit/s	尧比特每秒

2. 带宽

带宽指的是计算机网络使用的信道上能达到的最高数据速率,其单位与速率的单位一致。例如,有的双绞线上标有“100Mbit/s”,实际上就是指该双绞线上能传送数据的最高数据速率是 100Mbit/s,这是一个理论值。再如安装电信宽带时所讲的 8Mbit/s 宽带,8Mbit/s 也是最高数据速率。

3. 吞吐量

吞吐量是单位时间内网络能处理的分组数。在一段时间内,有多少分组输入到网络中,又有多少数据从网络输出,一个网络单位时间内能处理的分组数越多,其性能越好。就像高速公路的收费站一样,有的收费站一分钟能通过 5 辆车,而有的收费站一分钟能通过 10 辆车,很明显后者的处理能力更强。

4. 时延

时延是指一个数据从网络的一端传送到另一端所需的时间,时延由多个部分组成。

(1) 发送时延

发送时延指的是数据从主机或者中间节点传送到链路上所需的时间,也就是从发送数据的第一个比特开始,到最后一个比特发送完毕所需的时间。发送时延的计算公式如下:

$$\text{发送时延}(s) = \frac{\text{数据总长度}(\text{bit})}{\text{数据的发送速率}(\text{bit/s})}$$

(2) 传播时延

传播时延指的是电磁信号在信道中传播一定距离所需的时间。计算机的数据在双绞线这样的链路上传播的是电磁信号,由于电磁信号在特定的信道上有传播速率的,而信道有一定的长度,所以电磁信号从信道的一端到另一端需要一定的时间。传播时延的计算公式如下:

$$\text{传播时延}(s) = \frac{\text{信道长度}(m)}{\text{电磁波在信道上的传播速率}(m/s)}$$

(3) 处理时延

处理时延指的是主机或者中间节点(路由器)在收到分组后,从分组中提取数据或查找路由表所需的时间。这个时间与主机和中间节点的性能有关,没有办法精确计算。

(4) 排队时延

排队时延指的是分组在经过网络传输时,或经过中间节点(路由器)进行存储转发时等待处理所需的时间。这个时间同样无法精确计算。

时延就是以上 4 种时延之和,其计算公式如下:

$$\text{总时延}(s) = \text{发送时延}(s) + \text{传播时延}(s) + \text{处理时延}(s) + \text{排队时延}(s)$$

5. 利用率

利用率指的是网络的带宽真正被利用的百分比。信道的带宽是理论值。实际上,网络工作时的速率没有办法达到这个理论值,如 8Mbit/s 的电信带宽,下载时的最高速率仅能达到几百 kbit/s,利用率为 10%左右。

除了上述的性能指标,还有一些主观的性能指标,如质量、标准化、可靠性、可扩展性、可升级性等。在衡量计算机网络性能时,这些因素不是考虑的重点。

任务小结

通过本任务的学习,读者对计算机网络有了初步的认识,学习了计算机网络的定义、作用、分类,了解了互联网的概念、组成和各个组成部分的工作方式以及计算机网络的性能指标。

任务检测

一、单项选择题

- “三网融合”中的“三网”不包括()。
 - 电信网
 - 电视网
 - 物联网
 - 计算机网络
- 计算机网络中可以共享的资源包括()。
 - 客户机和服务器
 - 硬件、软件和数据
 - 主机、CPU、内存和外部设备
 - 计算机和传输媒体
- 以下描述中正确的是()。
 - 计算机网络是计算机科学和人工智能技术结合的产物
 - 计算机网络的定义是互联的自主计算机的集合
 - 计算机网络的功能是连通性和稳定性
 - 计算机网络的前身是 ENIAC
- 计算机互联的主要目的是()。
 - 制定网络协议
 - 将计算机技术与通信技术相结合
 - 集中计算
 - 资源共享
- 计算机网络可以被看作自治的计算机系统的集合。其中,“自治的计算机系统”主要指()。
 - 可以独立运行的计算机
 - 网络计算机
 - 裸机
 - 网络终端
- 计算机网络按照地理范围分,覆盖范围最小的是()。
 - WAN
 - LAN
 - MAN
 - PAN
- 计算机网络的性能指标中,要求越小越好的是()。
 - 速率
 - 带宽
 - 时延
 - 吞吐量

二、填空题

1. 计算机网络的发展过程大致可以分为_____、_____和_____ 3 个阶段。
2. 计算机网络的主要功能有_____和_____ 2 个部分。
3. 互联网核心部分的三种工作方式分别为_____、_____和_____。
4. 互联网边缘部分的两种工作方式分别为_____和_____。
5. 计算机网络按照使用者分类,可以分为_____和_____。
6. 计算机网络的性能指标中,时延可以分为_____、_____、_____和_____。

三、简答题

1. C/S 工作方式与 P2P 工作方式的主要区别是什么,有没有相似的地方?

2. 计算机网络有哪些主要的性能指标?

3. 分组交换的优点是什么?

