

卓越工程师教育培养计算机类创新系列规划教材

计算机网络

主 编 杨振启

副主编 刘晓峰 王朝阳 王志勇



科学出版社

卓越工程师教育培养计算机类创新系列规划教材

计算机网络

主 编 杨振启

副主编 刘晓峰 王朝阳 王志勇

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为“卓越工程师教育培养计算机类创新系列规划教材”之一。

本书系统地介绍了计算机网络的基本原理、技术与网络应用。全书共7章,分别介绍计算机网络的发展、组成和体系结构,以及物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层、网络安全等内容。每章后附有习题,为了方便教学,在每章配有相关实验。

本书内容新颖、概念准确、深入浅出、图文并茂,在突出计算机网络基本概念和原理的基础上,与实用网络技术相结合,力图反映计算机网络技术的最新发展。

本书可作为高校本科计算机网络教材,尤其适合于应用型人才的培养,也可以作为计算机网络及其应用方面的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/杨振启主编. —北京:科学出版社,2016.6

卓越工程师教育培养计算机类创新系列规划教材

ISBN 978-7-03-047228-1

I. ①计... II. ①杨... III. ①计算机网络-教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 012811 号

责任编辑:邹 杰/责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍 兵/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:320 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“卓越工程师”是指高等学校培养具有工程师基本能力，并有获得工程师执业资质或者工程师职称潜力的后备工程师。通过实施“卓越工程师培养计划”，主动服务国家战略，主动服务社会需求，培养一大批优秀的后备工程师。本书是教育部卓越工程师教育培养计算机类创新系列规划教材。

本书是为计算机科学技术专业编写的本科教材。根据网络技术发展和应用的现实情况，本书的编写遵循以下原则：对于网络通信理论，以实用为原则，注重基本概念的介绍，采用协议分层、自底向上的方法，尽量简化数学分析过程；对于网络基础知识，主要选取主流技术，从应用角度介绍基本概念和基本方法，并注意与后续课程网络工程和信息安全技术的衔接。

全书各章内容简要介绍如下：

第1章介绍计算机网络的诞生与发展、基本概念和组成、计算机网络的体系结构。

第2章讲述物理层数据通信的基础知识、物理层的传输媒体、信道复用技术以及 Internet 接入技术。

第3章介绍数据链路层的基本概念、点对点信道的数据链路层、以太网和扩展以太网、高速以太网。

第4章详细介绍网络层提供的两种类型的服务，以及网际协议、划分子网和构造超网、网际控制报文协议、因特网路由选择协议、IP 多播、虚拟专用网和网络地址转换。

第5章介绍传输层和传输层协议的基本概念、用户数据报协议、传输控制协议，深入讲解了 TCP 可靠数据传输、TCP 连接管理的实现、TCP 的流量控制和拥塞控制。

第6章介绍应用层的常用协议和技术、域名解析、文件传输协议、远程终端协议、万维网、电子邮件协议和动态主机配置协议。

第7章介绍网络安全的概述、密码学基础、报文完整性、实体鉴别、密钥分发和认证、因特网使用的安全协议和系统安全。

本书由杨振启任主编，刘晓峰、王朝阳、王志勇任副主编，朱璟、高德民参与编写了部分内容。本书每一章都配有适量的习题，完成这些练习对于深入理解课程的内容是必要的。结合教学进度，本书配有网络实验，方便了教学，对于建立感性认识和实践网络操作技能会有所帮助。

感谢“计算机类‘卓越工程师教育培养计算机类创新’系列规划教材”编写委员会对本书的出版给予的大力支持，也感谢科学出版社邹杰、王正飞编辑对本书的出版所做的大量工作。由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，感谢读者提出宝贵意见，不吝赐教。

作 者

2016 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 绪论1

1.1 计算机网络的诞生与发展1

1.1.1 计算机网络的诞生1

1.1.2 计算机网络的发展1

1.2 计算机网络的基本概念2

1.2.1 计算机网络的定义2

1.2.2 计算机网络的主要功能2

1.2.3 计算机网络的分类3

1.3 计算机网络的组成3

1.3.1 计算机网络的组成结构3

1.3.2 计算机网络的拓扑结构4

1.3.3 计算机网络系统的组成8

1.4 计算机网络的体系结构8

1.4.1 网络体系结构的分层8

1.4.2 ISO/OSI 体系结构9

1.4.3 TCP/IP 体系结构10

1.4.4 计算机网络标准及 RFC 文档

..... 11

习题13

第 2 章 物理层15

2.1 物理层的基本概念15

2.2 数据通信的基础知识15

2.2.1 数据通信系统的模型15

2.2.2 有关信道的几个基本概念16

2.3 物理层下面的传输媒体19

2.3.1 导向传输媒体19

2.3.2 非导向传输媒体22

2.4 信道复用技术25

2.4.1 时分复用与频分复用25

2.4.2 波分复用26

2.4.3 码分复用27

2.5 Internet 接入技术27

2.5.1 ADSL 技术28

2.5.2 光纤同轴混合网29

2.5.3 FTTx 技术29

习题30

第 3 章 数据链路层33

3.1 数据链路层的基本概念33

3.1.1 数据链路和帧34

3.1.2 三个基本问题35

3.2 连续 ARQ 协议38

3.2.1 连续 ARQ 协议的工作原理38

3.2.2 滑动窗口的概念39

3.3 点对点信道数据链路层40

3.3.1 PPP 的特点40

3.3.2 PPP 的帧格式41

3.3.3 PPP 的工作状态42

3.4 以太网43

3.4.1 以太网概述44

3.4.2 以太网的 MAC 层结构44

3.4.3 CSMA/CD 协议45

3.5 扩展以太网47

3.5.1 在物理层扩展局域网47

3.5.2 在数据链路层扩展以太网49

3.6 高速以太网51

3.6.1 100Base-T 以太网51

3.6.2 吉比特以太网和 10 吉比特以太网52

习题54

实验 数据链路层：以太网帧的构成56

第 4 章 网络层59

4.1 网络层提供的两种服务59

4.2 网际协议61

4.2.1 虚拟互联网络61

4.2.2 分类的 IP 地址62

4.2.3 IP 地址与硬件地址	64	用	114
4.2.4 地址解析协议	65	5.2 用户数据报协议	116
4.2.5 IP 数据报的格式	67	5.2.1 UDP 概述	117
4.2.6 IP 层转发分组的流程	68	5.2.2 UDP 的报文格式	118
4.3 划分子网和构造超网	70	5.2.3 UDP 校验和的计算	118
4.3.1 划分子网	70	5.3 传输控制协议	119
4.3.2 使用子网时分组的转发	73	5.3.1 TCP 最主要的特点	119
4.3.3 无分类编址 CIDR (构成超网)	74	5.3.2 TCP 报文段的格式	120
4.4 网际控制报文协议	76	5.4 TCP 可靠数据传输	123
4.4.1 ICMP 报文的种类	77	5.4.1 停止等待协议	123
4.4.2 ICMP 的应用举例	77	5.4.2 GBN 协议	126
4.5 因特网的路由选择协议	78	5.4.3 选择重传协议	128
4.5.1 有关路由选择协议的几个基 本概念	78	5.5 TCP 连接管理	130
4.5.2 内部网关协议 RIP	79	5.5.1 TCP 连接建立的过程	130
4.5.3 内部网关协议 OSPF	81	5.5.2 TCP 连接释放的过程	130
4.5.4 外部网关协议 BGP	83	5.6 流量控制	131
4.6 IP 多播	84	5.7 TCP 拥塞控制	133
4.6.1 IP 多播的基本概念	84	5.7.1 慢开始	134
4.6.2 网际组管理协议和多播路由 选择协议	86	5.7.2 拥塞避免	134
4.7 虚拟专用网和网络地址转换	87	5.7.3 快重传	135
4.7.1 虚拟专用网	87	5.7.4 快恢复	137
4.7.2 网络地址转换	88	习题	137
习题	89	实验一 TCP 实验	140
实验一 网络层: 地址转换协议	95	实验二 UDP 实验	149
实验二 网络层: 网际协议	99	第 6 章 应用层	154
实验三 网络层: Internet 控制报文协议	105	6.1 域名系统	155
第 5 章 传输层	111	6.1.1 DNS 命名空间	155
5.1 传输层与传输层协议	111	6.1.2 域名服务器	158
5.1.1 传输层协议概述	111	6.1.3 域名解析过程	159
5.1.2 应用进程、传输层接口与套接 字	111	6.2 文件传输协议	160
5.1.3 传输层的端口	113	6.2.1 概述	160
5.1.4 不同协议的识别	114	6.2.2 FTP 的工作原理	160
5.1.5 传输层的多路复用与多路分 用	114	6.2.3 控制连接与数据连接	161
5.2 用户数据报协议	116	6.3 远程终端协议	162
5.2.1 UDP 概述	117	6.4 万维网	163
5.2.2 UDP 的报文格式	118	6.5 电子邮件	172
5.2.3 UDP 校验和的计算	118	6.5.1 电子邮件系统的组成结构	172
5.3 传输控制协议	119	6.5.2 电子邮件格式	173
5.3.1 TCP 最主要的特点	119		
5.3.2 TCP 报文段的格式	120		
5.4 TCP 可靠数据传输	123		
5.4.1 停止等待协议	123		
5.4.2 GBN 协议	126		
5.4.3 选择重传协议	128		
5.5 TCP 连接管理	130		
5.5.1 TCP 连接建立的过程	130		
5.5.2 TCP 连接释放的过程	130		
5.6 流量控制	131		
5.7 TCP 拥塞控制	133		
5.7.1 慢开始	134		
5.7.2 拥塞避免	134		
5.7.3 快重传	135		
5.7.4 快恢复	137		
习题	137		
实验一 TCP 实验	140		
实验二 UDP 实验	149		
第 6 章 应用层	154		
6.1 域名系统	155		
6.1.1 DNS 命名空间	155		
6.1.2 域名服务器	158		
6.1.3 域名解析过程	159		
6.2 文件传输协议	160		
6.2.1 概述	160		
6.2.2 FTP 的工作原理	160		
6.2.3 控制连接与数据连接	161		
6.3 远程终端协议	162		
6.4 万维网	163		
6.5 电子邮件	172		
6.5.1 电子邮件系统的组成结构	172		
6.5.2 电子邮件格式	173		

6.5.3 简单邮件传输协议.....	174	7.3.2 数字签名.....	193
6.5.4 邮局协议.....	176	7.4 实体鉴别.....	194
6.5.5 多用途 Internet 邮件扩展.....	176	7.5 密钥分发和认证.....	195
6.6 动态主机配置协议.....	179	7.5.1 对称密钥的分发.....	196
习题.....	181	7.5.2 公钥的认证.....	196
第 7 章 网络安全.....	185	7.6 因特网使用的安全协议.....	197
7.1 网络安全概述.....	185	7.6.1 网络层安全协议 IPSec.....	197
7.1.1 安全威胁.....	186	7.6.2 传输层安全协议 SSL/TLS.....	199
7.1.2 安全服务.....	187	7.6.3 应用层安全协议 PGP.....	201
7.2 密码学基础.....	188	7.7 系统安全：防火墙与入侵检测.....	203
7.2.1 对称密钥密码体制.....	189	7.7.1 防火墙.....	203
7.2.2 公钥密码体制.....	190	7.7.2 入侵检测系统.....	205
7.3 报文完整性.....	191	习题.....	205
7.3.1 报文鉴别.....	192	参考文献.....	208

第 1 章 绪 论

本章重点介绍计算机网络的诞生与发展、计算机网络的基本概念、计算机网络的组成结构以及计算机网络的体系结构。通过本章的学习，应能掌握计算机网络诞生与发展的基本过程，清楚了解计算机网络的定义、功能和分类。对计算机网络体系结构的分层有明确的掌握，为以后各章的学习打下基础。

1.1 计算机网络的诞生与发展

1.1.1 计算机网络的诞生

任何一种技术的产生常常是缘于强烈的社会需求和快速发展的技术驱动，计算机网络也不例外，它是计算机技术和通信技术高度发展、密切结合的产物，是为了使人们能够方便、快捷、可靠地进行信息交流和高效工作而提出的一种技术。20 世纪 50 年代，计算机技术与通信技术的发展和社会进步驱动了计算机网络的产生，而计算机网络技术的快速发展反过来又加速了计算机、通信等相关技术的应用进程，目前社会的各个角落均能见到计算机网络的身影。今天，计算机网络的广泛应用彻底改变了人们的工作和生活方式，极大地提高了社会生产率，充分体现出科学技术是推动社会进步和经济发展的强大动力。

1.1.2 计算机网络的发展

虽然计算机网络出现的历史不长，但其发展经历了一个从简单到复杂的演变过程。第一台数字电子计算机 ENIAC 诞生时，计算机与通信并没有关系，1954 年终端机诞生后，才逐渐把终端与计算机联系起来，几十年来计算机网络得到了快速发展。纵观计算机网络的形成与发展历史，大致可分为四个阶段。

第一阶段(始于 20 世纪 50 年代初)：以单个计算机为中心的远程联机系统，构成面向终端的计算机通信网。

第二阶段(始于 20 世纪 60 年代末)：多台主机通过通信线路互连，形成资源共享的计算机网络。

第三阶段(始于 20 世纪 70 年代末)：形成具有统一的网络体系结构、遵行标准化协议的计算机网络。

第四阶段(始于 20 世纪 90 年代)：计算机网络向互连、高速的方向发展，这一阶段宽带网络与无线网络得到了快速发展。

1.2 计算机网络的基本概念

1.2.1 计算机网络的定义

计算机网络为人类在信息交流方面提供了非常便利的手段与平台,通过计算机网络我们可以在虚拟的信息空间中遨游,访问和使用本地或者异地的软硬件资源,浏览和获取网络中的海量信息。由此可见,通信是计算机网络所应具有的一项基本功能。同时用户通过网络软件可以共享本地或异地的软件、硬件或信息等资源,因而资源共享是计算机网络的另一项重要功能。由此可以看出,计算机网络是将计算机、外围设备和通信设备等通过通信线路连接起来的,在软件系统的控制下实现信息与软硬件资源共享的通信系统。计算机网络所包括的这些组成对象是独立自主的实体,它们的地位是平等的,其硬件或软件环境可能相同也可能不同,但在网络环境下却可以相互访问,组成了一个松散的耦合系统。

1.2.2 计算机网络的主要功能

计算机网络的主要功能体现在以下几个方面。

(1)资源共享。共享网络资源是开发计算机网络的动机之一。网络资源包括计算机硬件、软件和数据。硬件资源包括处理机、内(外)存储器和输入/输出设备等,它是共享其他资源的基础。软件资源指各种语言处理程序、服务程序和应用程序等。数据包括各种数据文件和数据库中的数据等。通过资源共享消除了用户使用计算机资源受地理位置的限制,也避免了资源的重复设置所造成的浪费。

(2)数据通信。数据通信是计算机网络的基本功能。计算机联网之后,为用户互通信息提供了一个公用通信平台。随着因特网在世界各地的普及,传统电话、电报、邮递通信业务受到很大冲击,电子邮件已为世人广泛接受,网上电话、视频会议等各种通信方式正在大力发展。

(3)提高系统可靠性。一般来说,计算机网络中的资源是重复设置的,它们被分布在不同的位置上,即使发生了少量资源失效的现象,用户仍可以通过网络中的不同路由访问到所需的同类资源,因而只会导致系统的降级使用,不会出现系统瘫痪。计算机网络的资源冗余性能大大提高了系统的可靠性。

(4)有利于均衡负荷。计算机网络通过合理的网络管理,将某时刻处于重负荷的计算机上的吞吐任务分送给轻负荷的计算机去处理,可达到均衡负荷的目的。对地域跨度大的远程网络来说,充分利用时差因素来达到均衡负荷尤为重要。

(5)提供灵活的工作环境。用户通过网络把终端连接到办公地点的计算机上,就可以在家里办公。商务人员随身携带便携式计算机外出,随时可以上网与主管部门交换销售、管理等方面的重要数据。

1.2.3 计算机网络的分类

由于计算机网络的普及应用以及需求的多样化,出现了各种各样的计算机网络。这些网络各具特色,很好地满足了不同应用领域的需求。下面介绍计算机网络常用的几种分类方法,以便更好地了解和掌握网络技术。

计算机网络按其覆盖范围进行分类,可以分成局域网、广域网和城域网。

(1)局域网(Local Area Network, LAN)。将一栋大楼、一个实验室或一个校园等有限范围内的计算机、外设等通过通信设备和线路连接起来,便组成了局域网。其覆盖范围通常为几十米到几千米。局域网是计算机网络中发展最迅速、应用最广泛、传输速度最快、技术最成熟的网络,它是构成因特网的细胞。与我们学习、工作和生活密不可分的校园网就是一种典型的局域网(通常为以太网,也有少部分院校采用ATM网)。

(2)广域网(Wide Area Network, WAN)又称远程网。其覆盖范围通常为几十千米以上,可以覆盖一个国家、一个地区,甚至全球。它主要使用分组交换技术将分布在不同地理位置的计算机系统、局域网等计算资源连接起来,实现更大范围内的资源共享。由此可见,广域网的主要功能是解决远程通信问题,它常由国家或大型公司负责建设、维护和管理。

(3)城域网(Metropolitan Area Network, MAN),城域网的覆盖范围界于局域网和广域网之间,其覆盖范围通常为几十千米,主要用于连接一个城市内部的计算资源。

按照采用的通信介质分类,计算机网络可以分成有线网和无线网。

(1)有线网:采用光纤、双绞线、同轴电缆等作为传输介质的网络。

(2)无线网:采用微波、无线电、卫星等进行数据通信的网络。

计算机网络按照其使用性质可以分成公用网和专用网。

按照其传输速率可以分成低速网、中速网和高速网等。

1.3 计算机网络的组成

1.3.1 计算机网络的组成结构

从计算机网络最基本的组成结构来说,可以把一个网络大致分成三个部分,它们分别是通信子网、网络高层和网上应用。三个部分各有各的分工,联系起来就能够组成一个完整的网络。具体来说,通信子网实现基本数据的传输,向网络的高层提供信息传递的服务;通信子网完成的是面对底层传输媒体为主的、消除各种不同通信网络技术的差异的任务;而网络的高层功能也是信息的传递,不过它的重点是放在支撑网上应用的角度上,下面介绍三个组成成分的基本组成结构的内容。

1. 计算机网络的通信子网

通信子网是用来保证整个计算机网络通信的基本传输的部分。它担负着与通信媒体衔接的任务,并要在相邻节点之间完成互相通信的控制,消除各种不同通信网络技术之

间的差异, 保证跨越在网络两头的计算机之间的通信联系的正确。计算机网络的通信子网部分担负着向网络的高层提供一定质量的传输服务。通信子网由物理信道、信道链路的通信控制软件组成, 可以向高层提供尽力而为的通信支持。

2. 计算机网络的高层服务

此处高层的概念是相对于子网而言的, 指的是这些层次的位置位于子网的上面。计算机网络的高层内容也是传输服务的, 即网络节点到对方的网络节点之间的端的完整通信服务。

这个端到端的概念又和网络层上的端到端有所不同。网络层只管在通信端口上的数据传输, 而传输层则要管到操作系统之间。要知道计算机网络在其数据链路层使用局域网时, 网卡的位置是在计算机主机内的, 从外部看起来通信子网和高层的区别不太明显, 而如果在使用其他远程通信信道作为计算机网络的通信子网连接, 区别就十分明显了。这时, 通信子网由电信公司或者其他通信信道的提供商来提供, 对应于高层的软件模块则驻留在计算机的主机中, 向它的更高层提供通信的完整服务。这时候, 用户看到的是更明确的分工——因为子网根本就不在用户这一边。计算机网络高层服务的目的是将网上的应用和网络的数据通信彻底分开。而应用只是简单地通过固定的模式调用网络通信部分的可靠传输服务为其本身的应用目的服务。

3. 计算机网络的应用服务

前面介绍的这些通信功能其实不是根本目的, 而是为达到目的必须提供的手段。只有网络的应用才是真正的目的。计算机网络的应用非常广, 几乎所有的方面都可以应用。要达到方便的网络应用, 就要对网上的应用作一些规范, 所有的具体应用都可以在这些规则的规范下方便地进行。人们针对计算机网络的各应用需要规定了几个方面的具体规则, 这些规则可以被用来支持各应用对网络环境的要求, 使得开发应用的人们在具体编程时不需要同时顾及网络传输时将会相应地发生哪些事情, 而只需要专心编写具体应用软件就可以了。

1.3.2 计算机网络的拓扑结构

计算机网络拓扑结构是指计算机网络的硬件系统的连接形式。在建立计算机网络时要根据准备联网计算机的物理位置、链路的流量和投入的资金等因素来考虑网络所采用的布线结构。一般用拓扑方法来研究计算机网络的布线结构, 拓扑(topology)是拓扑学中研究由点、线组成几何图形的一种方法, 用此方法可以把计算机网络看作由一组节点和链路组成, 这些节点和链路所组成的几何图形就是网络的拓扑结构。虽然用拓扑方法可以使复杂的问题简单化, 但网络拓扑结构设计仍是十分复杂的问题。

网络拓扑结构的类型主要有总线型、星型、环型、星状总线型、网状。下面介绍网络拓扑结构形式。

1. 总线型

把各台计算机或其他设备均接到一条公用的总线上，各台计算机共用这一总线，在任何两台计算机之间不再有其他连接，这就形成了总线型计算机网络结构，如图 1-1 所示。

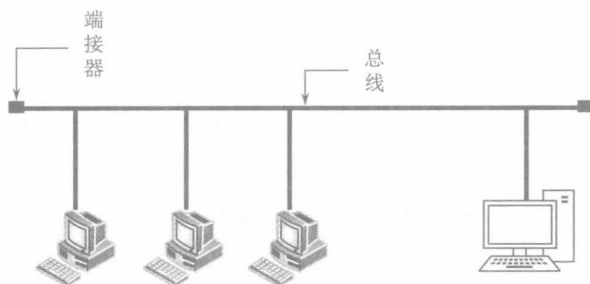


图 1-1 总线型计算机网络结构

总线一般采用同轴电缆，在需要分支的地方，电缆线上配有特制的分支插口，连接模块上也装有相应的分支插头。分支插头和总线上的分支插口之间的距离有一定的限制，一般要求在几厘米以内的范围，否则会影响总线的电气性能。

总线上传送的信息通常以基带形式串行传送，它的传送方向总是从发送信息的节点开始向两端扩散，如同广播电台发射的信息向四周扩散一样，因此，这种结构的网络又称为广播式计算机网络，而且无须路由选择功能。

在同一时刻只能有一台计算机发送信息，网络上其他的计算机接收信息，这种接收只是被动地接收，它不负责再生数据并将其往前发送。当总线超过一定的长度后，信号的质量将得不到保证，所以对网络总线的长度都有一定的限制。

如果要延长总线的长度，使其连接更多的计算机，需要增加中继器等设备将信号再生并往前发送。但不能靠中继器无限制地延长总线的长度，由于总线上的计算机要分别地独占总线，当总线上计算机的数量增加后，单台计算机需要等待较长的时间才能发送数据。

在总线上，从一台计算机发送的信号会传送到网络上的每一台计算机，并且从总线的一端到达另一端。如果不采取措施，信号在到达总线的端点时产生反射，反射回来的信号又要传输到总线的另一端，这种情况将阻止其他计算机发射信号。为了防止总线端点的反射，设置了端接器，即在总线两端安装了吸收到达端点信号的元件。这样当一台计算机发送的数据到达目的地之后，其他的计算机就可以占用总线继续发送数据。如果总线的某个地方断开，那么总线实际上变成了两条缆线。由于在断点处没有端接器，信号将被反射，此时网络将无法使用。如果总线型网络中的某台计算机发生故障或者计算机与总线的连接线断开，网络仍然可用。

总线型拓扑结构主要用于局域网。它的优点是安装简单，所需通信器材的成本低，扩展方便。总线型网络的主要缺点有：如果总线断开，网络就不可用；如果发生故障，

则需要检测总线在各计算机处的连接,不易管理;由于总线型网络受到信号损耗的影响,总线的长度受到限制,设备分布的范围不可能很大。

2. 星型

星型拓扑结构的网络采用集中控制方式,每个节点都有一条唯一的链路和中心节点相连接,节点之间的通信都要经过中心节点并由其进行控制,如图 1-2 所示。星型拓扑的特点是结构形式和控制方法比较简单,便于管理,但线路总长度较长,成本高,而且可靠性较差,当中心节点出现故障时会造成全网瘫痪。

集线器(Hub)是一种特殊的中继器,它可以把多个网络段连接起来。在星型网络中,如果一台计算机或该机与集线器的连线出现问题,只影响该计算机的收发数据,而网络的其余部分可以正常工作,但如果集线器出现故障,则整个网络会瘫痪。

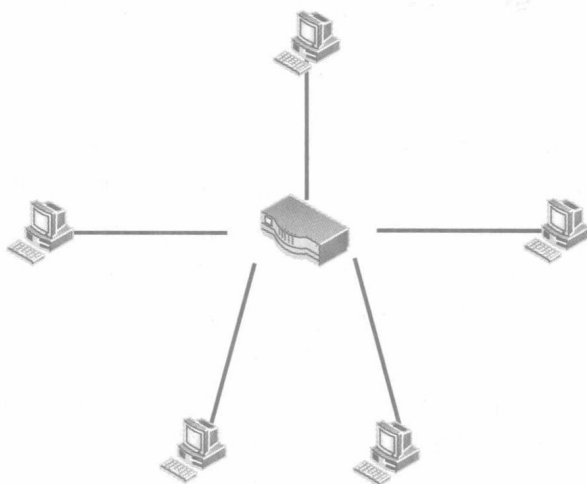


图 1-2 星型网络

需要注意的是,物理布局与内部控制逻辑结构的区别。用集线器连接组成的拓扑结构在物理布局上是星型的,但存储逻辑上仍是原来的内部控制结构。例如,原来是总线型以太网,尽管使用了集线器形成星型布局,但在逻辑上网络控制结构仍然是总线型网络。自 20 世纪 90 年代开始,以太网 10BaseT 标准的推出及集线器的使用,总线型逐步向星型网络拓扑演化。令牌环型网在布局时也多采用星型环,即计算机物理上都连到一个中央集线器上,实际内部控制逻辑环位于集线器内,仍然是令牌环型网,有时称为星型环。

常见的物理布局采用星型拓扑的网络有 10BaseT 以太网、100BaseT 以太网、令牌环型网、ARCnet 网、FDDI (光纤分布式数据接口)网络、CDDI (铜线电缆分布式数据接口)网络、ATM 网等。100Base VG (Voice Grade) Any LAN 采用综合星型拓扑,是一种综合了以太网和令牌环型网的新结构,所有计算机分别连到各个级别的集线器上,每个集线器可以连接以太网,也可以连接星型环。

3. 环型

环型拓扑为一种封闭的环路。这种拓扑网络结构采用非集中控制方式，各节点之间无主从关系。环型网络是将各台计算机与公共的缆线连接，缆线的两端连接起来形成一个封闭的环，数据包在环路上以固定方向流动，途经环中的所有节点并回到始发节点。由于计算机连接成封闭的环路，所以不需要端接器来吸收反射信号。信号沿环路的一个方向进行传播，通过环路上的每一台计算机。每台计算机都接收信号，并且把信号再生放大后再传给下一台计算机。当信息中所含的接收方地址与途经节点的地址相同时，该信息将被接收，否则不予理睬。

环型拓扑的网络上任意一个节点发出的信息，其他节点都可以收到，因此它采用的传输信道也叫广播式信道，如图 1-3 所示。

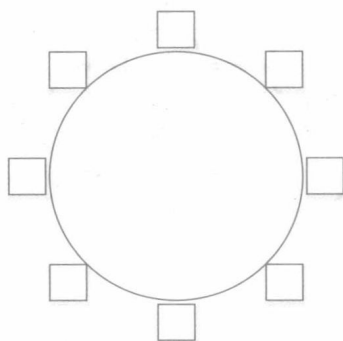


图 1-3 环型拓扑网络

在环型网络中，一般通过令牌来传递数据。令牌依次穿过环路上的每一台计算机，只有获得了令牌的计算机才能发送数据。当某台计算机获得令牌后，就将数据加入令牌中，并继续往前发送。带有数据的令牌依次穿过环路上的每一台计算机，直到令牌中的目的地址与某台计算机的地址相符合。收到数据的计算机返回一个消息，表明数据已被接收，经过验证后，原来的计算机创建一个新令牌并将其发送到环路上。

环型网络中信息流控制比较简单，信息流在环路中沿固定方向单向流动的，两个计算机节点之间仅有唯一的通路，故路径选择控制非常简单。所有的计算机都有平等的访问机会，用户多时也有较好的性能。

环型拓扑网络的优点在于结构比较简单、方便安装、传输率较高，但单环结构的可靠性较差，当某一节点出现故障时，会引起通信中断。采用双环结构具有较高的可靠性，在双环结构中，其中一个环作为备用环。环型结构又可分为同向双环和反向双环。

常见的采用环型拓扑的网络有令牌环型网、FDDI 和 CDDI 网络。

4. 星状总线型

星状总线型拓扑是总线型拓扑和星型拓扑的结合体。在星状总线型网络中，几个星型拓扑由总线型网络的干线连接起来，如图 1-4 所示。

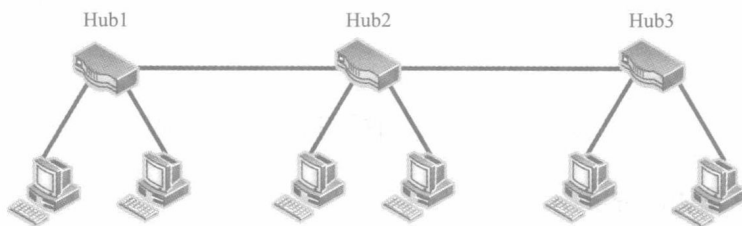


图 1-4 星状总线型网络

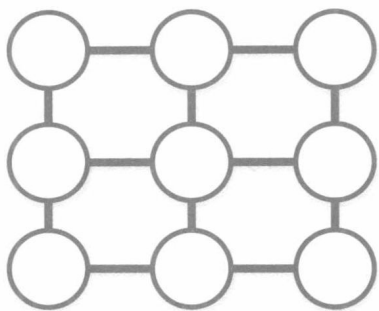


图 1-5 网状拓扑结构

在星型网络拓扑中，一台计算机出现故障不会影响网络中其他计算机的正常运行。如果某个集线器出现故障，则所有与该集线器直接相连的计算机都不能使用网络。

星状总线型网络的特点是结构比较灵活，易于进行网络扩展。

5. 网状

网状拓扑是容错能力最强的网络拓扑结构，其结构如图 1-5 所示。通常，网状拓扑只用于大型网络系统和公共通信骨干网，如帧中继网络、ATM 网络或其他数据包交换型网络等。这种拓扑的特点是每一个节点都有一条链路与其他节点相连，所以它的可靠性是非常高的，但成本也高。

1.3.3 计算机网络系统的组成

通常把计算机网络中的计算机、通信设备等称为节点(或者站点)，而连接这些节点的通信线路称为链路。计算机网络就是由节点以及连接节点的链路所组成的。

通信是计算机网络最基本的功能，以通信为手段可以访问网络上的各种软件、硬件和信息资源，所以可以把计算机网络划分成通信子网和资源子网两个组成部分。通信子网由通信处理机、通信链路和其他通信设备组成，其功能是通过通信处理机将资源子网中的计算资源连接起来进行通信。而资源子网可以是一个小规模的计算机网络(如后续章节中将要介绍的局域网)，也可以是计算机系统、软件，或者打印机、磁盘等外设。

无论通信子网还是资源子网，均包含一个非常重要的组成部分，即软件。通常计算机网络所涉及的软件有如下几种。

(1) 网络协议软件。通过协议软件控制数据可靠正确地传输和交换，同时对网络的流量、拥塞、差错等进行控制。该软件的功能一般由网络接口卡和网络操作系统来共同实现。

(2) 网络操作系统。对网络环境下的系统资源进行调度、分配和有效管理，以实现资源共享。

(3) 网络管理和网络应用软件。网络管理软件对网络的运行进行监视和维护，根据监视数据合理配置网络设备，调整网络设备的工作参数，使网络系统能够安全、可靠、高效地运行。网络应用软件为用户提供各种服务，用户通过这些软件可以方便地访问和使用网络上的各种资源。

1.4 计算机网络的体系结构

1.4.1 网络体系结构的分层

当若干计算机互联成网时，网络中的计算机之间进行数据通信的过程是非常复杂的。

这可用一个例子来说明。假设网络中的两台计算机之间需要传送一个文件，那么它们之间除了必须有一条传送数据的通路，还需要完成以下工作。

(1) 源端计算机必须用命令“激活”所连接的数据通信通路，并告诉通信网络如何识别接收数据的目的端计算机。

(2) 源端计算机必须确定网络连接正常，目的端计算机已经做好接收数据的准备。

(3) 源端计算机必须确定目的端计算机已经做好接收和存储文件的准备，如果两者文件格式不兼容，则必须有一台计算机来完成格式的转换工作。

(4) 当网络出现硬件故障，以及出现传送数据出错、重复或丢失等现象时，应有适当的措施来保证目的端计算机仍能正确接收到完整的文件。

以上工作需要相互通信的计算机密切配合，但在具体的工程实现上，我们不可能用单一模块来实现以上所有功能，而是将它分解成若干个子任务，独立地实现每个子任务。这是在工程设计中常采用的结构化设计方法，也就是将一个庞大而复杂的问题分解成若干个容易处理的较小的局部问题，然后对这些较小的局部问题加以研究和处理，分别对待，个别解决。分层正是进行系统分解的最好方法。

1.4.2 ISO/OSI 体系结构

20 世纪 70 年代，出现了公司级网络体系结构，它推动了计算机网络的发展。但是，不同公司生产的计算机之间很难相互通信，因为它们的网络体系结构不同。为了解决不同体系结构的计算机网络互连问题，国际标准化组织 (ISO) 于 1977 年成立了一个专门机构研究此类问题，于 1984 年正式公布了研究成果 ISO 7498，即开放系统互连参考模型 (OSI/RM，简称 OSI)，并于 1995 年进行了修订。

OSI 模型有 7 个层次。这 7 个层次自下而上依次为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，并将这 7 个层次分为 3 个组。第 1~3 层是网络服务平台，其任务是在物理上把数据从一个设备传到另一个设备，对电气约定、物理连接、物理编址以及运输的定时和可靠性等作出规定。第 5~7 层是用户服务平台，使得一些无关的软件具有互操作性。第 4 层是把上述两个部分连接起来，使得低层发送的是高层可使用的形式。在 OSI 中，高三层总是用软件来实现，而低三层则是硬件和软件的组合 (物理层绝大部分是硬件)。下面对这 7 个层次的主要功能作简要介绍。

(1) 物理层 (physical layer)。物理层的作用是为数据链路层提供一个物理连接，以实现在物理媒体上透明地传送比特流所需的各种功能。这里，“物理连接”不是永远存在于物理媒体上，而是需要由物理层去建立、维持和终止。“透明地传送比特流”是指经过实际电路传送的比特流没有发生变化。物理层所传送的数据单位为比特。物理层的主要内容应包括：提供机械、电气、功能和过程的手段，以便在物理媒体上建立、维持和终止物理连接，并进行比特流的透明传输。该层的目标是使所有制造商生产的计算机和通信设备在接口上按规定互相兼容。

(2) 数据链路层 (data link layer)。数据链路层的作用是屏蔽物理层的特性，为网络层提供一个个数据链路连接，在一条有可能出差错的物理连接上，进行几乎无差错的数据传输。数据链路层通过校验、确认以及反馈重发等手段将原始的物理连接改造成无差错

的数据链路。该层将物理层传送的比特流组合成帧(frame)。帧是数据链路层传送数据的单位。帧中包含地址、控制、数据检验等信息。其控制信息起着帧同步和流量控制的作用。与物理层类似,数据链路层也要负责建立、维持和释放数据链路的连接。对于广播式的网络,数据链路层还应负责如何控制共享信道的访问。

(3)网络层(network layer)。网络层的作用是为源端的传输层送来的分组选择合适的路由和交换节点,将分组正确无误地按照地址传送给目的端的传输层。分组或包(packet)是网络层传送数据的单位,当分组仅通过一个通信子网就能到达目的端时,通信子网中的交换节点就相当于源端与目的端之间的中继站,此时交换节点要实现物理层到网络层的功能。当分组需要通过数个通信子网才能到达目的端时,网络层还要解决网际互联的问题。

(4)传输层(transport layer)。传输层的作用是为会话层用户提供一个端到端(即主机到主机)可靠、透明和优化的数据传输服务机制。它是网络体系结构中的关键层次,是一个端到端的层次。高层通过接口利用传输层提供的服务进行端到端的数据传输,传输层则对高层用户起到了屏蔽作用。报文是传输层传送数据的单位。由于网络层的数据传送单位是分组,因此当报文长度大于分组时,应先将报文划分为数个分组,再交网络层进行传输。

(5)会话层(session layer)。会话层为端系统的应用程序之间提供了对话控制机制,允许不同主机上的各种进程之间进行会话,并参与管理。它是一个进程到进程的层次。会话层管理和协调进程间的对话,确定工作方式,提供在数据流中插入、同步的机制,以便在网络发生故障时只需重传最近一个同步点以后的数据,而不必重传全部数据。会话层及其以上层次的数据传送单位一般统称为报文。

(6)表示层(presentation layer)。表示层主要为层用户解决用户信息的语法和语义问题。为了让不同的计算机采用不同的编码方法来表示用户的抽象数据类型和数据结构,表示层管理这些抽象的数据结构,并把计算机内部的表示形式转换成网络通信中采用的表示形式。数据加密/解密和数据压缩也是表示层提供的功能之一。

(7)应用层(application layer)。应用层为特定类型的网络应用提供了访问 OSI 环境的手段。应用层具有共享的数据库管理功能以及支持分布式应用的常用机制,还有诸如文件传送、电子邮件、远程访问等通用的应用服务功能。

1.4.3 TCP/IP 体系结构

APRANET 和它的后继者因特网(Internet)所使用的参考模型是 TCP/IP 参考模型。TCP/IP 参考模型由 4 个层次组成,自下而上分别是网络接口层、互联网层、传输层和应用层。它们有如下几个方面的功能。

(1)网络接口层(network access layer)。该层是端系统和通信子网之间的逻辑接口,实现端系统与其相连的网络的数据交换。因此,源端系统必须向网络提供目的端系统的地址,以便网络沿着合适的路径将数据送往正确的目的端系统。当然,源端系统也可提出要求网络提供的服务类别(如优先级等)。由于网络接口层仅关注连接在同一网络上两个端系统的通信问题,因此当两个端系统连接在不同的网络上时,就需要由一些进程来