

GAOJI JISUANJI WANGLUO



高级

计算机网络

程晓荣 赵惠兰 张铭泉 李梅 编著



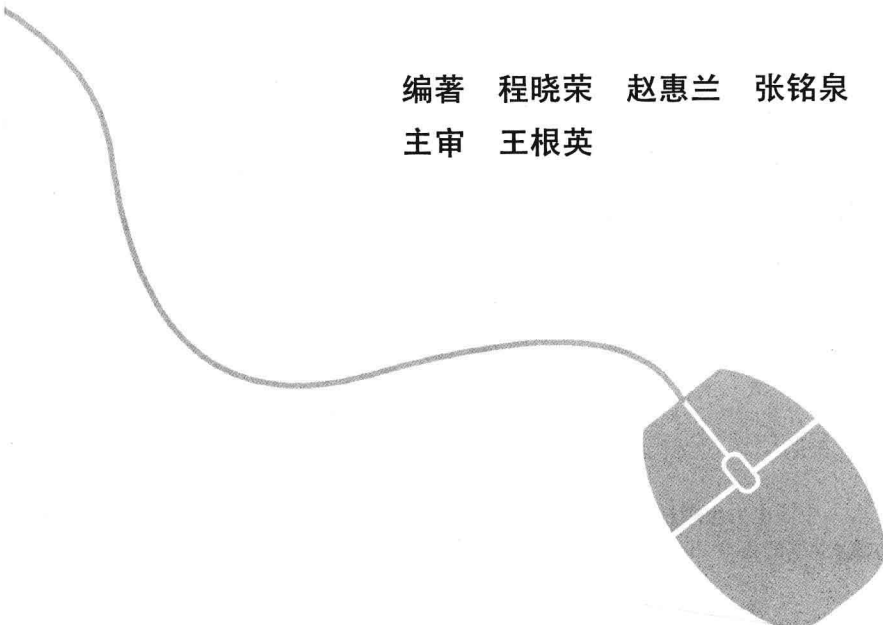
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高级 计算机网络

GAOJI JISUANJI WANGLUO

编著 程晓荣 赵惠兰 张铭泉 李 梅

主审 王根英



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了计算机网络的理论和技术,在介绍基础知识的基础上,深入地对网络安全、网络管理、网络新技术等关键技术和内容进行了重点介绍。全书分为4篇,共计14章,主要内容包括计算机网络基础,Internet路由选择、拥塞与流量控制,网络管理与安全,网络新技术,基本反映了近几年计算机网络领域的最新技术和研究成果,具有内容广、技术新、研究性、实战性强等特点。

本书既可作为计算机技术与网络通信专业的研究生教材,也可作为本科提高型教材,同时还可供从事计算机事业的工程技术等人员学习、使用或参考。

图书在版编目(CIP)数据

高级计算机网络/程晓荣等编著. —北京:中国电力出版社, 2011.6

ISBN 978-7-5123-1847-2

I. ①高… II. ①程… III. ①计算机网络 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第125843号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年9月第一版 2011年9月北京第一次印刷

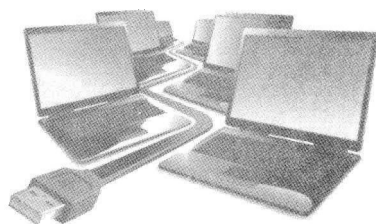
787毫米×1092毫米 16开本 18印张 435千字

定价 31.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

为进一步提高研究生、本科生计算机网络知识水平,加速培养和造就一批高水平的创新人才,适应计算机网络技术发展需求,满足计算机科学与技术一级学科和计算机应用技术、计算机网络安全、计算机软件与理论、计算机系统结构等二级学科专业课程的教学需要,根据教学和科研上积累的丰富经验编写本书。同时,高级计算机网络也是华北电力大学 211 工程核心课程建设项目之一。

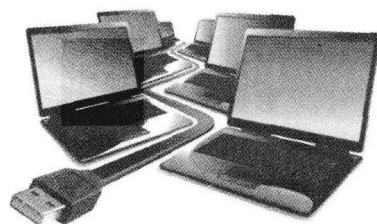
本课程的学习目的是使学生掌握计算机网络的基础理论知识和前沿理论知识,并将教学与科学研究相结合,与网络研究课题结合,通过实例分析、典型案例、技术试验验证、研究开发等手段使学生具有良好的科学研究技能和方法,培养学生独立分析问题和解决问题的能力,解决工程中遇到的实际问题和难题,实现创新能力培养。作者在编写过程中,对国内外计算机网络技术相关课程和教材进行了深入调研,吸取了目前面向计算机网络技术相关教学教材的精华,并参考和借鉴了部分文献的成果。本书系统地介绍了计算机网络理论和技术,反映了近几年计算机网络领域的最新技术和研究成果,具有内容广、技术新、研究性、实战性强等特点。全书共分 4 篇,包括计算机网络基础,Internet 路由选择、拥塞与流量控制,网络管理与安全,网络新技术。

在教材的编写过程中北京交通大学的王根英老师认真仔细审阅了初稿,改正了书中的不妥之处,并提出了许多宝贵建议,在此表示衷心感谢。同时华北电力大学的鲁斌、史光丽、倪阳旦、李明轩、郎夙、王颖等也对本书的稿件、图的编辑和校对工作给予了帮助,在此一并表示诚挚的谢意。本书在编写过程中,参考和借鉴了部分文献的成果,在此对这些作者表示深深的谢意和敬意。

由于各高校对学生的培养目标、教学要求和办学特色等尚有差别,因此希望大家在使用教材的过程中及时提出批评和改进意见,以便进一步修改和完善。由于水平所限,难免有错误出现,书中如有不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2011 年 8 月



目 录

前言

第 1 篇 计算机网络基础

第 1 章 绪论	2
1.1 计算机网络的发展过程	2
1.2 计算机网络技术的发展趋势	4
1.3 计算机网络体系结构	9
第 2 章 数据通信技术基础	23
2.1 交换技术	23
2.2 信道复用技术	30
2.3 宽带接入技术	34
第 3 章 局域网	48
3.1 局域网概述	48
3.2 局域网体系结构	50
3.3 以太网	57
3.4 无线局域网	68
3.5 其他种类的高速局域网	75
第 4 章 网络互联	77
4.1 网络层为传输层提供的服务	77
4.2 网络互联	79
4.3 IP	81
4.4 划分子网和构造超网	94
4.5 Internet 控制报文协议 ICMP	103
4.6 网络地址转换 NAT	106

第 2 篇 Internet 路由选择、拥塞与流量控制

第 5 章 Internet 路由选择	110
5.1 Internet 路由体系结构	110
5.2 Internet 单播路由	113
5.3 Internet 组播路由	126
5.4 Internet 任意播	130

第 6 章	拥塞控制	134
6.1	基本概念	134
6.2	TCP 拥塞控制算法	137
第 7 章	流量控制	142
7.1	基本概念	142
7.2	TCP 流量控制	142

第 3 篇 网络管理与安全

第 8 章	网络管理	154
8.1	网络管理概述	154
8.2	OSI 系统管理模型	158
8.3	SNMP 网络管理模型	161
8.4	网络管理功能	167
8.5	网络管理实例——SiteView 网络管理平台 (NNM)	171
第 9 章	网络安全	177
9.1	网络安全概述	177
9.2	密码体制	180
9.3	数字签名	181
9.4	网络信息安全风险评估	184
9.5	网络安全相关技术	187

第 4 篇 网络新技术

第 10 章	网际协议 IPv6	202
10.1	IPv6 概述	202
10.2	IPv6 的首部	203
10.3	IPv6 的地址空间	206
10.4	从 IPv4 向 IPv6 过渡	210
10.5	ICMPv6	212
第 11 章	蓝牙技术及无线传感器网络	214
11.1	蓝牙技术	214
11.2	无线传感器网络	224
第 12 章	全光网络与智能光网络	235
12.1	光网络概述	235
12.2	全光网络	238
12.3	全光网络的器件	245
12.4	智能光网络	247

第 13 章	多协议标记交换技术 MPLS	254
13.1	MPLS 的起源与基本概念	254
13.2	MPLS 基本体系结构	256
13.3	MPLS 技术应用	260
第 14 章	下一代网络技术	264
14.1	下一代网络产生的背景	264
14.2	下一代网络的概念	264
14.3	下一代网络特征	266
14.4	下一代网络的体系结构	268
14.5	下一代网络的构成	269
14.6	下一代网络业务	271
14.7	下一代网络与 IPv6	272
14.8	下一代网络的目前进展和研究重点	274
参考文献	277

高级计算机网络

第 1 篇

计算机网络基础



第 1 章 绪 论

1.1 计算机网络的发展过程

计算机网络是计算机技术与通信技术结合的产物，它已成为计算机应用中一个必不可少的方面，对整个社会的进步作出了巨大的贡献。计算机网络出现的历史不长，但发展很快，它的发展经历了以下几个过程：

1. 第一阶段：20 世纪 60 年代，面向终端分布的计算机系统

任何一种新技术的出现都必须具备两个条件，即强烈的社会需求与先期技术的成熟。计算机网络技术的形成与发展也证实了这条规律。1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生时，计算机技术与通信技术并没有直接的联系。20 世纪 50 年代初，由于美国军方的需要，美国半自动地面防空系统 SAGE 进行了计算机技术与通信技术相结合的尝试。它将远程雷达与其他测量设施测到的信息通过长达 241 万 km 的通信线路与一台 IBM 计算机连接，进行集中的防空信息处理与控制。要实现这样的目的，首先要完成数据通信技术的基础研究。在这项研究的基础上，人们完全可以将地理位置分散的多个终端通过通信线路连到一台中心计算机上。用户可以在自己的办公室内的终端输入程序，通过通信线路传送到中心计算机，分时访问使用其资源和进行信息处理，再将处理结果通过通信线路回送到用户终端显示或打印。把这种以单机为中心的联机系统称作面向终端的远程联机系统。20 世纪 60 年代初，美国航空公司建成的由一台计算机与分布在全美国的 2000 多个终端组成的航空订票系统 SABRE-1 就是这种计算机通信网络。

面向终端的远程联机系统是计算机与通信结合的前驱，它把多台远程终端设备通过公用电话网连接到一台中央计算机，解决远程信息收集、计算和处理。根据信息处理方式的不同，它们还可分为实时处理联机系统、成批处理联机系统和分时处理联机系统。面向终端的远程联机系统虽还称不上计算机网络，但它提供了计算机通信的许多基本技术，而这种系统本身也成为以后发展起来的计算机网络的组成部分。因此，这种终端联机系统也称为面向终端分布的计算机通信网，也有人称它为第一代的计算机网络，图 1-1 是这类计算机网络的示意图。

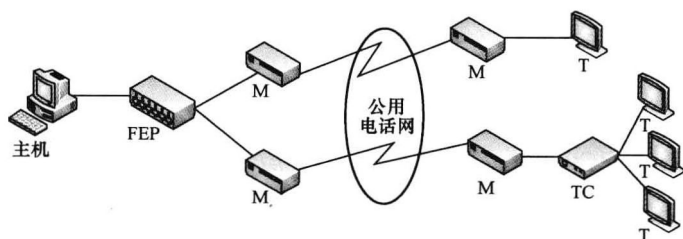


图 1-1 面向终端分布的计算机系统

M—调制解调器；T—终端

的通信，以减轻主机的负担，让主机专门负责数据处理、计算任务。在远程终端比较集中

的地方加一个终端集中器 (Terminator Concentrator, TC), 其一端用多条低速通信线路与各终端相连, 在另一端通过一条高速线路与主机相连。这样, 可以减少通信线路的数量和降低成本。

2. 第二阶段: 20 世纪 70 年代, 分组交换网 (PSN) 出现

随着计算机应用的发展, 出现了多台计算机互联的需求。这种需求主要来自军事、科学研究、地区与国家经济信息分析决策、大型企业经营管理。他们希望将分布在不同地点的计算机通过通信线路互联成为计算机网络。网络用户可以通过计算机网络使用本地计算机的软件、硬件与数据资源, 也可以使用联网的其他地方计算机软件、硬件与数据资源, 以达到计算机资源共享的目的。这一阶段研究的典型代表是美国国防部高级研究计划局 (Advanced Research Projects Agency, ARPA) 的 ARPANET (通常称为 ARPA 网)。

1969 年美国国防部高级研究计划局提出将多个大学、公司和研究所的多台计算机互联的课题。1969 年 ARPANET 只有 4 个结点, 1973 年发展到 40 个结点, 1983 年已经达到 100 多个结点。ARPANET 通过有线、无线与卫星通信线路, 使网络覆盖了从美国本土到欧洲的广阔地域。ARPANET 是计算机网络技术发展的一个重要的里程碑, 为计算机网络的发展奠定了基础。ARPANET 中提出的一些概念和术语至今仍被引用。ARPANET 不仅开创了第二代计算机网络, 它的影响之深远, 还在于由它发展成为了今天在世界范围广泛应用的国际互联网 Internet, 它的 TCP/IP 协议族就已成为事实上的国际标准。

ARPANET 是由通信子网 (Communication Subnet) 和资源子网 (Resource Subnet) 组成的两级结构的计算机网络。ARPANET 采用崭新的分组交换原理。从通信资源的分配角度来看, “交换” 就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。交换即转接, 是在交换通信网中实现数据传输必不可少的技术。常用的交换技术有电路交换 (线路交换)、分组交换 (包交换) 和报文交换三种。

3. 第三阶段: 20 世纪 80 年代, 开放式标准化网络

计算机网络的发展, 客观需要计算机网络体系结构要由封闭式走向开放式。计算机网络发展的第三阶段是加速体系结构与协议国际化的研究与应用。国际标准化组织 (International Standards Organization, ISO) 及下属的计算机与信息处理标准化技术委员会 TC97, 经过多年卓有成效的努力, 于 1984 年正式颁布了一个称为 “开放系统互联基本参考模型” (Open System Interconnection Reference Model, OSI RM), 即 ISO/IEC 7498 国际标准。ISO/OSI RM 已被国际社会所公认, 成为研究和制定新一代计算机网络标准的基础。20 世纪 80 年代, ISO 与 CCITT (国际电话电报咨询委员会) 等组织为参考模型的各个层次制定了一系列的协议标准, 组成了一个庞大的 OSI 基本协议集。我国也于 1989 年在《国家经济系统设计与应用标准化规范》中明确规定选定 OSI 标准作为我国网络建设标准。ISO/OSI RM 及标准协议的制定和完善正在推动计算机网络朝着健康的方向发展, 自此, 计算机网络开始了走向国际化网络的时代。国际化网络将具有统一的网络体系结构, 遵循国际化的协议。其目的是能支持各厂商生产的计算机系统互联。

4. 第四阶段: 20 世纪 90 年代, 现代网络技术和协同计算技术的发展

这一阶段计算机网络发展的特点是: 互联、高速、智能与更为广泛的应用。

Internet 是覆盖全球的信息基础设施之一, 对于用户来说, 它像是一个庞大的远程计算机网络。用户可以利用 Internet 实现全球范围的电子邮件、电子传输、信息查询、语音与图像

通信服务功能。它可对推动世界经济、社会、科学、文化的发展产生不可估量的作用。

在互联网发展的同时，高速与智能网的发展也引起人们越来越多的注意。高速网络技术发展表现在宽带综合业务数据网 B-ISDN、帧中继、异步传输模式 ATM、高速局域网、交换局域网与虚拟网络上。随着网络规模的增大与网络服务功能的增多，各国正在开展智能网络 IN (Intelligent Network) 的研究。

随着计算机网络应用业务的增长，地理范围的扩大，联网站点数的增加，网络产品的层出不穷，促使网络互联迅速发展。通过网络互联把各种信息“孤岛”连接成“超级”网络实现其互操作和协同工作成为人们研究如何利用网络支持协同工作的一个方向。计算机支持的协同工作 CSCW 这一概念最早是在 1984 年由美国 MIT 的 Irene Grief 和 DEC 的 Paul Cashman 这两位研究人员用于描述他们正在组织安排的有关如何用计算机支持交叉学科的人们共同工作的课题时提出来的。

“计算机支持的协同工作”定义为地域分散的一个群体借助计算机及其网络技术，共同协调与协作来完成一项任务。它包括协同工作系统的建设、群体工作方式研究和支持群体工作的相关技术研究、应用系统的开发等部分。通过建立协同工作的环境，改善人们进行信息交流的方式，消除或减少人们在时间和空间上的相互分隔的障碍，节省工作人员的时间和精力，提高群体工作质量和效率，从而提高企业、机关、团体、乃至整个社会的整体效益和人类的生活质量。例如，共享文件系统提供的资源共享能力，电子邮件和多媒体会议系统提供的人与人之间的通信支持功能， workflow 和决策支持系统的组织管理功能，一个企业如果有效地利用这些基本工具构造其企业协同管理信息系统，必将提高企业的管理水平和效益。支持协同工作的计算机软件称为群件 (Groupware)。CSCW 是一个多学科交叉的研究领域，不仅需要计算机网络与通信技术、多媒体技术等计算机技术的支持，还需要社会学、心理学、管理科学等领域的学者共同协作。计算机协同工作将计算机技术、网络通信技术、多媒体技术以及各种社会科学紧密地结合起来，向人们提供了一种全新的交流方式。

1.2 计算机网络技术的发展趋势

人们常用 C&C (Computer and Communication) 来描述计算机网络，但从系统观点看，这还远远不够。计算机和通信系统是计算机网络中非常重要的基本要素，但计算机网络并不是计算机和通信系统的简单结合，也不是计算机或通信系统的简单扩展或延伸，它融合了信息采集、存储、传输、处理和利用等一切先进信息技术，是具有新功能的新系统。因此，对于现代计算机网络的研究和分析，应该特别强调“计算机网络是系统”的观点，站在更高的高度来重新认识计算机网络结构、性能及网络工程技术和网络实际应用中的重要问题，便于把握计算机网络的发展趋向。

1.2.1 计算机网络的支撑技术

从系统的观点看，计算机网络是由单个结点和连接这些结点的链路所组成的。单个结点主要是连入网内的计算机以及负责通信功能的结点交换机、路由器，这些设备的物理组成主要是集成电路，而集成电路的一个重要支撑就是微电子技术。网络的另一个组成部分就是通信链路，负责所有结点间的通信。通信链路的一个重要支撑就是光电子技术。为了对计算机网络的发展有所把握，首先要对计算机网络的两个重要的支撑技术——微电子技术和光电子

技术进行简要介绍。

微电子技术的发展是信息产业发展的基础，也是驱动信息革命的基础。其发展速度可用摩尔定理来预测，即微电子芯片的计算功能每 18 个月提高一倍。这一发展趋势到 2010 年趋于成熟，那时芯片最多可包含 1010 个元件，理论上的物理极限是每个芯片可包含 1011 个元件。对于典型的传统逻辑电路，每个芯片可包含的元件数少于 108~109 个。每个芯片的实际元件数可能因经济上的限制而低于物理上的极限值。自 1980 年以来，微处理器的速度一直以每 5 年 10 倍的速度增长。PC 的处理能力在 2000 年达 103MIPS (Million Instructions Per Second)，在 2011 年达 105MIPS。Metcalf 定理用于预测网络性能的增长，该定理预测网络性能的增长是联到网上的 PC 能力的平方。不久的将来会出现 1015bit/s 的网络带宽需求。新的微电子工艺正在开发一种称为 Cu (铜) 的芯片技术，其具有低阻抗、低电压、高计算能力的特点。IBM 研制的第一块 Cu 芯片，其运行频率可达到 400~500MHz，包含 150~200M 个晶体管。另一种用紫外平面印刷技术的 EUV (Extreme Ultraviolet Radiation) 工艺是新一代的芯片制造技术，目前 Intel、AMD、Motorola 均提供巨额经费进行研究。

驱动信息革命的另一个支撑技术是光电子技术。光电子技术是一个较为庞大的领域，可应用于信息处理的各个环节，这里讨论的是在信息传输中的光电子技术——光纤通信。评价光纤传输发展的标准是，传输的比特率和信号需要再生前可传输距离的乘积。在过去 10 年间，该性能每年翻一番，这种增长速度可望持续 10~15 年。第一代光纤传输使用波长 0.8 μm 的激光器，传输速率可达 280Mbit/s；第二代光纤使用 1.3 μm 波长的激光器和单模光纤，传输速率可达 560Mbit/s；第三代光纤使用单频 1.5 μm 波长的激光器和单模光纤；目前使用的第四代光纤采用光放大器，数据传输速率可达 10~20Gbit/s。随着光放大器的引入，给光纤传输带来了突破性的进展。而波分复用技术对于传输容量的提高有极大影响，如一个 40Gbit/s 的系统能在同一光纤中传送 16 种波长的信号，每一波长速率为 2.5Gbit/s。因为允许所有波长同时放大，所以光放大器能提供很大的容量。在单芯光纤上传输 100Gbit/s 含 40 种波长的商用系统已在 2000 年实现，可同时传送 100 万个语音信号和 1500 个电视频道。

1.2.2 计算机网络的关键技术

上面从系统物理组成的角度分析了计算机网络的发展趋势，下面再从系统的层次结构对计算机网络进行分析。计算机网络的发展方向将是 IP 技术+光网络，光网络将会演进为全光网络，从网络的服务层面上看将是一个 IP 的世界，从传送层面上看将是一个光的世界，从接入层面上看将是一个有线和无线的多元化世界。因此，从计算机网络系统的结构上看，目前比较关键的技术主要有软交换技术、IPv6 技术、光交换与智能光网络技术、宽带接入技术、3G 以上的移动通信系统技术等。

1. 软交换技术

从广义上讲，软交换是指一种体系结构。利用该体系结构建立下一代网络框架，主要包含软交换设备、信令网关、媒体网关、应用服务器、综合接入设备等。从狭义上讲，软交换是指软交换设备，其定位是在控制层。它的核心思想是硬件软件化，通过软件的方式来实现原来交换机的控制、接续和业务处理等功能。各实体之间通过标准的协议进行连接和通信，以便于在下一代网络中更快地实现有关协议及更方便地提供服务。

软交换技术作为业务/控制与传送/接入分离思想的体现，是下一代网络体系架构中的关键技术之一，通过使用软交换技术，把服务控制功能和网络资源控制功能与传送功能完全分

开。根据新的网络功能模型分层, 计算机网络将分为接入与传输层、媒体层、控制层、业务/应用层(也叫网络服务层)四层, 从而可对各种功能作不同程度的集成。

通过软交换技术能把网络的功能层分离开, 并通过各种接口规约(规程公约的简称), 使业务提供者可以非常灵活地将业务传送和控制规约结合, 实现业务融合与业务转移, 非常适用于不同网络并存互通的需要, 也适用于从语音网向数据网和多业务多媒体网演进。引入软交换技术的切入点随运营商的侧重点而异, 通常从经济效果比较突出的长途局和汇接局开始, 然后再进入端局和接入网。

2. IPv6 技术

未来的计算机网络是基于 IPv6 技术的网络。现有的 IPv4 技术在地址空间方面有很大的局限性, 已成为网络发展的最大障碍。此外, IPv4 在服务质量、传送速度、安全性、支持移动性与多播等方面也有局限性, 这些局限性妨碍网络的发展, 使许多服务与应用难以开展。因此, 在 IPv6 的设计过程中除了要根本解决地址短缺问题外, 还要考虑在 IPv4 中解决不好的许多问题, 例如提高网络吞吐量、改善服务质量、提高安全性、支持即插即用和移动性、更好地实现多播功能等。IPv6 将使网络上升到一个新台阶, 并将在发展过程中不断地完善。

3. 光交换与智能光网络技术

尽管波分复用光纤通信系统有巨大的传输容量, 但它只提供了原始带宽, 还需要有灵活的光网络结点实现更加有效与更加灵活的组网能力。当前组网技术正从具有上下光路复用(Optical Add/Drop Multiplexer, OADM)和光交叉连接(Optical Cross Connect, OXC)功能的光联网向由光交换机构成的智能光网络发展, 从环形网向网状网发展, 从光—电—光交换向全光交换发展。即在光联网中引入自动波长配置功能, 也就是自动交换光网络(Automatic Switched Optical Network, ASON), 使静态的光联网走向动态的光联网。其主要特点是: 允许将网络资源动态地分配给路由; 缩短业务层升级扩容的时间; 显著增大业务层结点的业务量负荷, 业务提供和拓展快速; 降低运营维护管理费用; 具备光层的快速反应和业务恢复能力; 减少了人为出错的机会; 可以引入新的业务类型, 例如按带宽需求分配业务、波长批发和出租、动态路由分配、光层虚拟专用网等; 具有可扩展的信令能力, 提高了用户的自助性; 提高了网络的可扩展性和可靠性等。总之, 智能光网络将成为今后光通信网的发展方向和市场机遇。

4. 宽带接入技术

计算机网络必须要有宽带接入技术的支持, 各种宽带服务与应用才有可能开展。因为只有接入网的带宽瓶颈问题被解决, 核心网和城域网的容量潜力才能真正发挥。尽管当前宽带接入技术有很多种, 但只要是不和光纤或光结合的技术, 就很难在下一代网络中应用。目前光纤到户(Fiber To The Home, FTTH)的成本已下降至每户 100~200 美元, 即将为多数用户接受。这里涉及两个新技术: 一个是基于以太网的无源光网络(Ethernet Passive Optical Network, EPON)的光纤到户技术; 一个是自由空间光系统(Free Space Optical, FSO)。

EPON 是把全部数据都装在以太网帧内传送的网络。EPON 的基本作法是在 G.983 的基础上, 设法保留物理层(Passive Optical Network, PON), 而用以太网代替 ATM(Asynchronous Transfer Mode)作为数据链路层, 构成一个可以提供更大带宽、更低成本和更多、更好业务能力的结合体。现今 95% 的局域网都是以太网, 故将以太网技术用于对 IP 数据最佳的接入网是非常合乎逻辑的。由 EPON 支持的光纤到户, 现正在异军突起, 它能支持千兆比特的数据

并且不久的将来成本会降到与数字用户线路 (Digital Subscriber Line, DSL) 和光纤同轴电缆混合网 (Hybrid Fiber Cable, HFC) 相同的水平。

FSO 技术是通过大气而不是光纤传送光信号, 它是光纤通信与无线电通信的结合。FSO 技术能提供接近光纤通信的传输速率, 例如可达到 1Gbit/s, 它既在无线接入带宽上有了明显的突破, 又不需要在稀有资源无线电频率上有很大的投资, 因为不要许可证。FSO 和光纤线路比较, 系统不仅安装简便, 而且成本也低很多, 大概是光纤成本 (100 000~300 000 美元) 的 1/3~1/10。FSO 现已在企业 and 居民区得到应用。但是和固定无线接入一样, FSO 易受环境因素干扰。

5. 3G 以上的移动通信系统技术

3G 系统比现用的 2G 和 2.5G 系统传输容量更大, 灵活性更高, 它以多媒体业务为基础, 已形成很多的标准, 并将引入新的商业模式。3G 以上包括后 3G、4G 乃至 5G 系统, 它们将更是以宽带多媒体业务为基础, 使用更高更宽的频带, 传输容量会更上一层楼。它们可在不同的网络间无缝连接, 提供满意的服务; 同时网络可以自行组织, 终端可以重新配置和随身携带, 是一个包括卫星通信在内的端到端的 IP 系统, 可与其他技术共享一个 IP 核心网。它们都是构成下一代移动互联网的基础设施。

此外 3G 必将与 IPv6 相结合。欧盟认为, IPv6 是发展 3G 的必要工具。制定 3G 标准的 3GPP 组织于 2000 年 5 月已经决定以 IPv6 为基础构筑下一代移动通信网, 使 IPv6 成为 3G 必须遵循的标准。

1.2.3 计算机网络的研究热点

1. 下一代 Web 研究

下一代的 Web 研究涉及 4 个重要方向: 语义互联网、Web 服务、Web 数据管理和网络。语义互联网是对当前 Web 的一种扩展, 其目标是通过使用本体和标准化语言, 如 XML、RDF (Resource Description Framework) 和 DAML (DARPA Agent Markup Language), 使 Web 资源的内容能被机器理解, 为用户提供智能索引、基于语义内容检索和知识管理等服务。Web 服务的目标是基于现有的 Web 标准, 如 XML、SOAP (Simple Object Access Protocol)、WSDL (Web Services Description Language) 和 UDDI (Universal Description, Discovery and Integration), 为用户提供开发配置、交互和管理全球分布的电子资源的开放平台。Web 数据管理是建立在广义数据库的基础上, 在 Web 环境下, 实现对信息方便而准确地查询与发布, 以及对复杂信息的有效组织与集成。从技术上讲, Web 数据管理融合了 WWW 技术、数据库技术、信息检索技术、移动计算技术、多媒体技术以及数据挖掘技术, 是一个综合性很强的新兴研究领域。网络计算初期主要集中在高性能科学计算领域, 提升计算能力, 并不关心资源的语义, 故不能有效地管理知识, 但目前网络已从计算网络发展成为面向服务的网络, 语义就成为提供有效服务的主要依据。

2. 网络计算

网络已经渗透到工作和生活中的每个角落, Internet 将遍布世界的大型和小型网络连接在一起, 使其日益成为企事业单位和个人日常活动不可缺少的工具。Internet 上汇集了大量的数据资源、软件资源和计算资源, 各种数字化设备和控制系统共同构成了生产、传播和使用知识的重要载体。信息处理也已步入网络计算 (Network Computing) 的时代。

目前, 网络计算还处于发展阶段。网络计算有四种典型的形式, 即企业计算、网络计算

(Grid Computing)、对等计算 (Peer-to-Peer Computing, P2P) 和普适计算 (Ubiquitous Computing)。其中 P2P 与分布式已成为当今计算机网络发展的两大主流, 通过分布式, 将分布在世界各地的计算机联系起来; 通过 P2P 又使通过分布式联系起来的计算机可以方便地相互访问, 这样就充分利用了所有的计算资源。并且网络计算的主要实现技术也已从底层的套接字(Socket)、远程过程调用(Remote Procedure Call, RPC)发展到如今的中间件(Middleware)技术。

3. 业务综合化

所谓业务综合化, 是指计算机网络不仅可以提供数据通信和数据处理业务, 而且还可提供声音、图形、图像等通信和处理业务。业务综合化要求网络支持所有的不同类型和不同速率的业务, 如话音、传真等窄带业务, 广播电视、高清晰度电视等分配型宽带业务, 可视电话、交互式电视、视频会议等交互型宽带业务, 高速数据传输等突发型宽带业务等。为了满足这些要求, 计算机网络需要有很高的速度和很宽的频带。例如, 一幅 640×480 中分辨率的彩色图像的数据量为 7.37Mbit/帧 。即便每秒传输一帧这样的图像, 则网络传输率要大于 7.37Mbit/s , 假如要求实现图像的动态实时传输, 网络传输速率还应增加 10 倍。

业务综合化带来多媒体网络。一般认为凡能实现多媒体通信和多媒体资源共享的计算机网络, 都可称为多媒体计算机网。它可以是局域网、城域网或广域网。多媒体通信是指在一次通信过程中所交换的信息媒体不止一种, 而是多种信息媒体的综合体。所以, 多媒体通信技术是指对多媒体信息进行表示、存储、检索和传输的技术。它可以使计算机的交互性、通信的分布性、电视的真实性融为一体。

4. 移动通信

便携式智能终端 (Personal Communication System, PCS) 可以使用无线技术在任何地方以各种速率与网络保持联络。用户利用 PCS 进行个人通信, 可在任何地方接收到发给自己的呼叫。PCS 系统可以支持语音、数据和报文等各种业务。PCS 网络和无线技术将大大改进移动通信水平, 成为未来信息高速公路的重要组成部分。

随着增加频谱、采用数字调制、改进编码技术和建立微小区和宏小区等措施, 在未来 10 年里, 无线系统的容量将增加 1000 倍以上。而且系统的容量通过动态信道分配技术将得到进一步增长。利用自适应无线技术, 将由电子信息组成的无线电波信号发送到接收方, 并将其他的干扰波束清除, 从而可降低干扰, 提高系统的容量和质量。

第一代无线业务分为两类: 一类是蜂窝/PCS 广域网, 提供语音业务, 工作在窄带, 服务区被分为宏小区; 第二类是无线局域网, 工作于更宽的带宽, 提供本地的数据业务。新一代的无线业务将包括新的移动通信系统和宽带信道速率 ($64\text{kbit/s} \sim 2\text{Mbit/s}$) 在微小区之间进行的固定无线接入业务。

5. 网络安全与管理

当前网络与信息的安全受到严重的威胁, 一方面是由于 Internet 的开放性和安全性不足, 另一方面是由于众多的攻击手段的出现, 诸如病毒、隐通道、拒绝服务、侦听、欺骗、口令攻击、路由攻击、中继攻击、会话窃取攻击等。以破坏系统为目标的系统犯罪, 以窃取、篡改信息、传播非法信息为目标的信息犯罪, 对国家的政治、军事、经济、文化都会造成严重的损害。为了保证网络系统的安全, 需要完整的安全保障体系和完善的网络管理机制, 使其具有保护功能、检测手段、攻击的反应以及事故恢复功能。

计算机网络从 20 世纪 60 年代末、70 年代初的实验性网络研究，经过 70 年代中后期的集中式、闭关网络应用，到 80 年代中后期的局部开放应用，一直发展到 90 年代的开放式大规模推广，其速度发展之快，影响之大，是任何学科不能与之相比的。计算机网络的应用从科研、教育到工业，如今已渗透到社会的各个领域，它对于其他学科的发展具有使能和支撑作用。目前，关于下一代计算机网络（Next Generation Network, NGN）的研究已全面展开，计算机网络正面临着新一轮的理论研究和技术开发的热潮，计算机网络继续朝着开放、集成、高性能和智能化方向的发展将是不可逆转的大趋势。

1.3 计算机网络体系结构

1.3.1 计算机网络的相关概念

1. 计算机网络的定义

随着技术的进步、应用的扩大，计算机网络技术也在不断发展。这里，按照计算机网络所具有的特性来定义：计算机网络是通过通信设施（通信网络），将地理上分散的具有自治功能的多个计算机系统互联起来，进行信息交换，实现资源共享、互操作和协同工作的系统。

这是一个广义的定义，它具有这样的一些特征：

(1) 计算机网络是一互联的计算机系统的群体。这些计算机系统在地理上是分布的，可能在一个房间内，在一个单位里的楼群里，一个或几个城市里，甚至在全国乃至全球范围。

(2) 计算机系统是自治的，即每台计算机是独立工作的，它们是在网络协议控制下协同工作的。

(3) 系统互联要通过通信设施（网）来实现。通信设施一般都由通信线路、相关的传输、交换设备等组成。

(4) 系统通过通信设施执行信息交换、资源共享，互操作和协作处理，实现各种应用要求。互操作（Interoperation 或 Interoperability）和协作处理（Inter Working）是计算机网络应用中更高层次的要求特性。它需要有一种机制能支持互联网络环境下的异种计算机系统之间的进程通信、互操作，实现协同工作和应用集成。

2. 计算机网络的组成

计算机网络从其构成的软硬件可以分为传输/交换设备、用户设备和网络软件。

(1) 传输/交换设备：线路设备、互联设备。传输设备一般包括双绞线、同轴电缆和光纤等。交换设备一般包括网桥、中继器、网关、交换机和路由器等。

(2) 用户设备：包括主机、终端、服务器。

(3) 网络软件：包括网络操作系统、网络协议软件、用户程序。

3. 计算机网络的分类

一个计算机网络可以从地域范围、拓扑结构、信息传输交换方式或协议、网络组建属性或用途等不同角度加以分类。

(1) 按地域范围分类。计算机网络按照其覆盖的地理范围进行分类，可以很好地反映不同类型网络的技术特征。由于网络覆盖的地理范围不同，它们所采用的传输技术也就不同，从而形成了不同的网络技术特点与网络服务功能。按地理分布范围来分类，计算机网络可以

分为广域网、局域网和城域网三种。

1) 广域网 WAN (Wide Area Network)。广域网也称远程网, 它的联网设备分布范围广, 一般从数千米到数百至数千千米。因此网络所涉及的范围可以是市、地区、省、国家, 乃至世界范围。由于它的这一特点使得单独建造一个广域网是极其昂贵和不现实的, 所以, 常常借用传统的公共传输(电报、电话)网来实现。此外, 由于传输距离远, 又依靠传统的公共传输网, 所以错误率较高。

2) 局域网 LAN (Local Area Network)。局域网是将小区域内的各种通信设备互联在一起的网络, 其分布范围局限在一个办公室、一幢大楼或一个校园内, 用于连接个人计算机、工作站和各类外围设备以实现资源共享和信息交换。它的特点是分布距离近(通常在 1000~2000m 范围内), 传输速度快(一般为 1~20Mbit/s), 连接费用低, 数据传输可靠, 误码率低等。

3) 城域网 MAN (Metropolitan Area Network)。城域网的分布范围介于局域网和广域网之间, 其目的是在一个较大的地理区域内提供数据、声音和图像的传输。

(2) 按拓扑结构分类。网络拓扑结构是从网络拓扑的观点来讨论和设计网络的特性。也就是讨论网络中的通信结点和通信线路或信道的连接所构成的各种网络几何构形, 用以反映出网络各组成成分之间的结构关系, 从而反映了整个网络的整体结构外貌。实际上, 这儿考虑得更多的是通信子网的拓扑结构问题。一般地讲, 通信子网可以设计成两种通信(信道)类型, 点对点通信(Point-to-Point)和广播通信(Broadcast)。

广播信道的特点是只有一条供诸结点共享的通信信道。由这种信道构成的通信子网的拓扑结构可有总线型、环型、卫星或无线广播通信方式三种形式, 如图 1-2 所示。

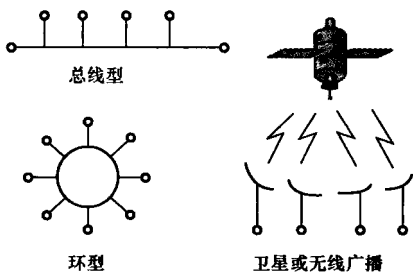


图 1-2 广播信道拓扑结构

1) 用一条称为总线的中央主电缆, 将相互之间以线性方式连接的工作站连接起来的布局方式, 称为总线型拓扑。在总线结构中, 所有网上微机都通过相应的硬件接口直接连在总线上, 任何一个结点的信息都可以沿着总线向两个方向传输扩散, 并且能被总线中任何一个结点所接收。由于其信息向四周传播, 类似于广播电台, 故总线网络也被称为广播式网络。总线有一定的负载能力, 因此, 总线长度有一定限制, 一条总线也只能连接一定数量的结点。

总线布局的特点是: 结构简单灵活, 非常便于扩充; 可靠性高, 网络响应速度快; 设备量少、价格低、安装使用方便; 共享资源能力强, 非常便于广播式工作, 即一个结点发送所有结点都可接收。

在总线两端连接的器件称为端结器(末端阻抗匹配器或终止器), 主要与总线进行阻抗匹配, 最大限度吸收传送端部的能量, 避免信号反射回总线产生不必要的干扰。

总线型网络结构是目前使用最广泛的结构, 也是最传统的一种主流网络结构, 适合于信息管理系统、办公自动化系统领域的应用。

2) 环型网中各结点通过环路接口连在一条首尾相连的闭合环型通信线路中, 环路上任何结点均可以请求发送信息。请求一旦被批准, 便可以向环路发送信息。环型网中的数据可以单向也可以双向传输。由于环线公用, 一个结点发出的信息必须穿越环中所有的环路接口,