

中国高等教育应用型本科信息技术专业通用教材

COMPUTER network

主 编 赵 雷

副主编 彭高翔 王甘霖 罗宜元

计算机网络



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

中国高等教育应用型本科

用教材

COMPUTER network

计算机网络

主 编 赵 雷

副主编 彭高翔 王甘霖

罗宜元



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书介绍计算机网络基本概念、发展脉络、工作原理、运用技术以及今后的发展趋势。全书分8章：第1章计算机网络概述；第2章数据通信基础和物理层；第3章数据链路层；第4章局域网与介质访问控制技术；第5章网络层；第6章运输层；第7章应用层；第8章网络管理和网络安全。

本书可作为高等院校计算机网络课程的教材，也可作为企业网络安全的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/赵雷主编. —上海：上海交通大学出版社，2016

ISBN 978-7-313-14212-2

I. ①计… II. ①赵… 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(2016)第 227411 号

计算机网络

主 编：赵 雷

出版发行：上海交通大学出版社

邮政编码：200030

出 版 人：郑益慧

印 制：昆山市亭林印刷责任有限公司

开 本：710 mm×1000 mm 1/16

字 数：239 千字

版 次：2017 年 1 月第 1 版

书 号：ISBN 978-7-313-14212-2/TP

定 价：45.00 元

地 址：上海市番禺路 951 号

电 话：021-64071208

经 销：全国新华书店

印 张：15

印 次：2017 年 1 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话：0512-57751097

前 言

人类社会已昂首阔步跨入了 21 世纪。在这个新的世纪里,科学技术必将以更迅猛的速度向前发展,人类文明将迎来一个崭新的时代——以知识经济为主体的信息社会时代。

知识经济的重要特征是信息化和全球化,而实现信息化和全球化的基础设施就是全球网络,包括电信网络、有线电视网络和计算机网络等。而在信息化过程中起核心作用的则是计算机网络。

计算机网络是计算机技术和通信技术密切结合的产物,通信技术为计算机之间进行信息传输和交换、共享资源和协同工作提供了必要的手段。另一方面,计算机技术的发展应用于通信领域中,又大大地提高了通信系统的各种性能。随着计算机网络技术的发展,信息的获取、传送、存储和处理之间的孤岛现象正在逐渐消失,曾经独立发展的电信网、电视网和计算机网络也将合而为一。

计算机网络给全球技术、经济和社会生活带来的巨大影响,可以说是通过 Internet 实现的。Internet 现已成为全球范围内的网络基础设施的重要组成部分。Web 技术的出现和应用对 Internet 的普及起了决定性的作用,使计算机网络迅速向各个领域渗透。

目前,学习、掌握计算机网络知识、建设和应用网络成为各类院校学生的迫切要求,本书正是为提高高等职业教育计算机网络及相关专业学生的计算机网络课程理论知识和实践操作水平而编写的。

本书由赵雷老师担任主编,其中赵雷编写第 1、7 和 8 章,芦立华编写第 2 章,罗宜元编写第 3 章,林志杰和覃海焕编写第 4 章,任远和李宇佳编写第 5

章,王小刚编写第6章,赵雷,彭高翔和王甘霖负责全书审校和统筹工作。

本书也得到了计算机网络教学方面许多同行的关心与帮助,在此一并致谢。

由于计算机网络技术发展迅速加上作者水平有限,书中错误与不妥之处恳请读者批评与指正。

编 者

2016年9月

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的概念与发展	1
1.2 计算机网络的组成与分类	6
1.3 计算机网络体系结构	10
1.4 计算机网络的发展趋势	19
本章习题	25
第 2 章 数据通信基础和物理层	28
2.1 数据通信系统概述	28
2.2 数据传输技术	35
2.3 数据通信介质	41
2.4 物理层	47
2.5 常见物理层设备	51
本章习题	53
第 3 章 数据链路层	55
3.1 点对点的数据链路层	55
3.2 帧和成帧	58
3.3 差错控制	62
3.4 流量控制	68
3.5 数据链路层协议 HDLC	70
本章习题	72

第4章 局域网与介质访问控制技术	74
4.1 局域网概述	74
4.2 IEEE 802 标准	78
4.3 媒体访问控制技术	81
4.4 以太网	85
4.5 局域网组网设备	88
4.6 无线局域网概述	96
本章习题	100
第5章 网络层	103
5.1 网络层概述	103
5.2 IP 协议	107
5.3 子网划分	117
5.4 ARP 协议与 ICMP 协议	125
5.5 路由和路由协议	131
5.6 路由器及其基本使用	138
5.7 IPv6	147
本章习题	148
第6章 运输层	152
6.1 运输层的基本概念	152
6.2 用户数据报协议 UDP	158
6.3 传输控制协议 TCP	159
6.4 客户/服务器模式	165
6.5 套接字编程基础	169
本章习题	173
第7章 应用层	175
7.1 应用层的基本概念与服务	175
7.2 应用层协议	193
7.3 网络操作系统	202

7.4 网络服务器	207
本章习题	209
第 8 章 网络管理和网络安全	212
8.1 简单网络管理协议	212
8.2 网络病毒及其防范	215
8.3 网络防火墙	221
8.4 网络地址转换技术	226
本章习题	227
参考文献	229

第 1 章 计算机网络概述

随着科学技术发展的日新月异,计算机网络技术对信息产业产生了深远的影响。目前常见的网络包括电信网络、有线电视网络和计算机网络,而在信息化过程中起核心作用的则是计算机网络,未来的趋势则是三网融合。本章在介绍网络形成与发展的基础上,对网络的定义、分类和拓扑等问题进行讨论,并进一步阐述计算机网络的未来发展趋势。

1.1 计算机网络的概念与发展

在过去的 300 年中,每个世纪都有一种技术占据主要的地位。18 世纪伴随着工业革命而来的是伟大的机械时代;19 世纪是蒸汽机时代;20 世纪是信息的获取、存储、传送、处理和利用的计算机时代;而在 21 世纪的今天,人们则进入了一个计算机网络时代,它的出现使得我们周围的信息处在更加高速的处理和传递中。

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一,它的产生标志着人类迈入一个崭新的信息社会,新的信息产业正以强劲的势头迅速崛起。为了提高信息社会的生产力,提供一种全社会的、经济的、快速的存取信息的手段是十分必要的。因而,计算机网络应运而生。当前,在我们的学习生活中,计算机网络都起着举足轻重的作用,其发展趋势更是蔚为可观。

1.1.1 计算机网络的概念

什么是计算机网络? 计算机网络是通信技术与计算机技术密切结合的产物。它最简单的定义是: 以实现远程通信为目的,一些互联的、独立自主的计算机的集合。这里“互联”是指各计算机之间通过有线或无线通信信道彼此交

换信息,而“独立自主”则强调它们之间没有明显的主从关系。美国信息学会联合会将计算机网络定义为以相互共享资源(硬件、软件和数据)等方式而连接起来,且各自具有独立功能的计算机系统的集合。此定义有三个含义:一是网络通信的目的是共享资源;二是网络中的计算机分散且相互之间功能独立;三是有一个全网性的网络软件系统。

随着计算机网络体系结构的标准化,通常认为计算机网络具有三个主要的组成部分:① 能向用户提供服务的若干主机组成的资源子网;② 由一些专用的通信处理机,例如通信子网中的交换机、路由器和连接这些节点的通信链路所组成的一个或多个通信子网;③ 为主机与主机、主机与通信子网,或者通信子网中各个节点之间通信而建立的一系列网络协议软件。

1.1.2 计算机网络的发展

计算机网络经历了由单一网络向互联网发展的过程。1997年,微软公司总裁比尔·盖茨发表的著名演说中提出“网络才是计算机”的论点充分体现了计算机网络的重要基础地位。随着云计算技术和大数据技术的出现和崛起,计算机网络越来越成为当今世界发展的核心和高新技术之一。计算机网络有其出现、发生和发展的过程,一般说来,可以分成以下几个阶段:

1. 计算机终端网络时代

20世纪60年代中期之前的第一代计算机网络是以单个计算机为中心的远程联机系统,也称为计算机终端网络,典型应用是由一台计算机和全美范围内2000多个终端组成的飞机订票系统。终端是一台计算机的外部设备,包括显示器和键盘,且无CPU和内存。当时,人们把计算机网络定义为:“以传输信息为目的而连接起来,实现远程信息处理或进一步达到资源共享的系统。”这样的通信系统已具备网络的雏形,使用的线路主要是电话网,使用的技术主要是电路交换技术。电路交换(Circuit Switching)是通信网中最早出现的一种交换方式,也是应用最普遍的一种交换方式,主要应用于电话通信网中,其主要过程是:首先摘机,听到拨号音后拨号,交换机找寻被叫,向被叫振铃同时向主叫传送回铃音,此时表明在电话网的主被叫之间已经建立起双向的话音传送通路;当被叫摘机应答,即可进入通话阶段;在通话过程中,任何一方挂机,交换机拆除已建立的通话通路,并向另一方传送忙音提示挂机,从而结束通话。

从电话通信过程的描述可以看出,电话通信分为三个阶段:呼叫建立、通

话、呼叫拆除。计算机终端网络通信过程也类似于电话通信,即使用电路交换技术,其基本过程可分为连接建立、信息传送和连接拆除三个阶段。图 1-1 是计算机主机与多台终端通过电话网进行数据传输的例子。

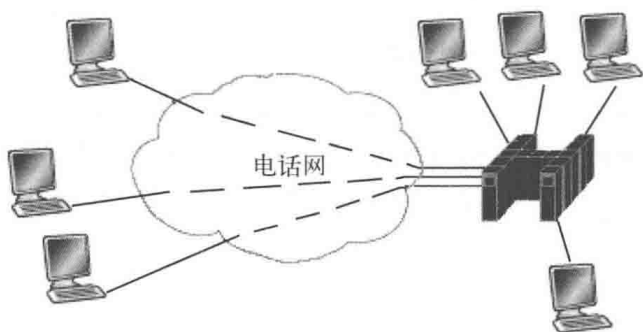


图 1-1 计算机主机与终端之间的数据传输

2. 计算机通信网络时代

20 世纪 60 年代中期至 70 年代的第二代计算机网络是以多个主机通过通信线路互联起来,为用户提供服务。其典型代表是美国国防部高级研究计划局协助开发的 ARPANET。在此期间提出的“存储转发”和“分组交换”的概念标志着独立于电话网络的、实用的计算机网络开始了真正的发展。

分组交换(Packet Switching)不同于第一代计算机网络中使用的电路交换技术,是将整块的待发送数据划分为一个个更小的数据段,在每个数据段前面安装上报头,构成一个个的数据分组(Packets)。每个分组的报头中存放有目标计算机的地址和报文包的序号,网络中的交换机根据地址决定数据向哪个方向转发每个分组可能通过不同的路径到达目标主机后再重新去掉报头并组装成为原始数据。在这种概念下由传输线路、交换设备和通信计算机建设起来的网络,被称为分组交换网络。

分组交换的本质是存储转发(store and forward),它将所接受的分组暂时存储下来,在目的方向路由上排队,当可以发送信息时,再将信息发送到相应的路由接口上,完成转发。其存储转发的过程就是分组交换的过程。

分组交换是计算机通讯脱离电话通讯中电路交换技术的里程碑。因电路交换要进行连接的建立和释放,不适合计算机数据通信的突发性和密集性特点。而分组交换网络则不需要事先建立通信线路,数据可以随时以分组的形式发送到网络中。分组交换网络不需要呼叫建立线路的关键在于其每个分组

的报头中都有目标主机的地址,网络交换设备根据这个地址就可以随时为单个数据包提供转发,将它沿着正确的路线送往目标主机。

美国的分组交换网 ARPANET 于 1969 年 12 月投入运行,被公认是最早的分组交换网。法国的分组交换网 CYCLADES 开通于 1973 年。同年,英国的 NPL 也开通了英国第一个分组交换网。在 ARPRNET 网中,负责通信控制处理的设备称为接口报文处理机 IMP(或称为节点机),以存储转发方式传送分组的通信子网称为分组交换网。图 1-2 展示了分组交换网进行数据传输的基本方式。到今天,现代计算机网络中的以太网、帧中继、Internet 都是分组交换网络。

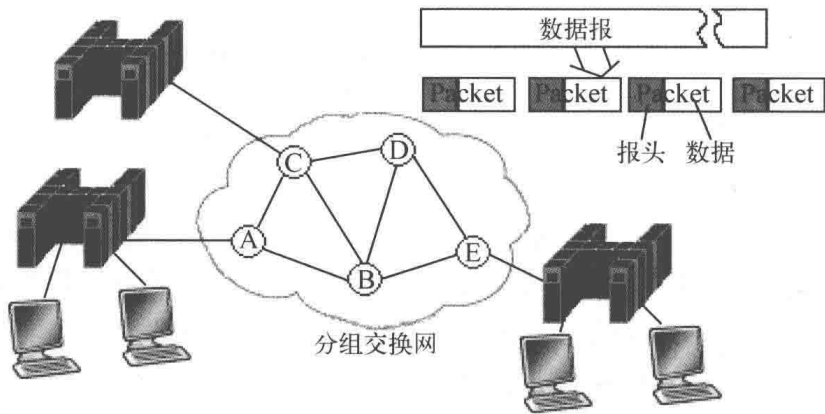


图 1-2 分组交换网

3. 开放式的标准化计算机网络

20 世纪 70 年代末至 90 年代的第三代计算机网络是具有统一的网络体系结构,并遵守国际标准的,开放式和标准化的网络。ARPANET 兴起后,计算机网络发展迅猛,各大计算机公司相继推出自己的网络体系结构及实现这些结构的软硬件产品。由于没有统一的标准,不同厂商的产品之间互联很困难,人们迫切需要一种开放性的标准化实用网络环境,因此应运而生了两种国际通用的最重要的体系结构,即 TCP/IP 体系结构和国际标准化组织的 OSI 体系结构。其中,国际标准化组织 ISO 在 1984 年颁布了开放系统互连参考模型 (Open System Interconnect, OSI),该模型分为七个层次,也称为 OSI 七层模型,被公认为新一代计算机网络体系结构的基础,为普及局域网奠定了基础。TCP/IP 模型则是由美国国防部在 ARPANET 网络中创建的网络体系结构,

是至今为止发展最成功的通信模型,它用于构筑目前最大的、开放的互联网络系统互联网(Internet)。TCP/IP 模型分为不同的层次,每一层负责不同的通信功能。TCP/IP 简化了 OSI 层次模型,由 OSI 的 7 层结构变成了 4 层结构,并且由下而上分别是网络接口层、网际层、运输层、应用层,如图 1-3 所示。



图 1-3 TCP/IP 层次模型

4. 新一代计算机网络

20 世纪 90 年代至今的第四代计算机网络,由于局域网技术发展成熟,出现光纤及高速网络技术、多媒体网络、智能网络,整个网络如同一个对用户透明的计算机系统,发展为以 Internet 为代表的互联网。而其中 Internet 的发展也分三个阶段:

1) 从单一的 APRANET 发展为互联网

1969 年,美国军方创建的第一个分组交换网 ARPANET 只是一个单个的分组交换网。20 世纪 70 年代中期,ARPA 开始研究多种网络互联的技术,这导致互联网的出现。1983 年,ARPANET 分解成两个:一个实验研究用的科研网 ARPANET(人们常把 1983 年作为互联网的诞生之日),另一个是军用的 MILNET。1990 年,ARPANET 正式宣布关闭,实验完成。

2) 建成三级结构的互联网

1986 年,NSF 建立了国家科学基金网 NSFNET,它是一个三级计算机网络,分为主干网、地区网和校园网。1991 年,美国政府决定将互联网的主干网转交给私人公司来经营,并开始对接入互联网的单位收费。1993 年互联网主干网的速率提高到 45 Mb/s。

3) 建立多层次 ISP 结构的互联网

第三阶段是逐渐形成了多层次 ISP 结构的互联网。从 1993 年开始,由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的互联网主干网替代,而政府机构不再负责互联网的运营。这样就出现了一个新名词:互联网服务提供者(Internet Service Provider, ISP)。ISP 拥有从互联网管理机构申请到的多个 IP 地址,同时拥有通信线路以及路由器等联网设备,因此任何机构和个人只要向 ISP 交纳规定的费用,就可以得到所需的 IP 地址,并通过该 ISP 接入到互联网。我们通常所说的“上网”就是指通过某个 ISP 接入到互联网,因为 ISP 向连接到互联网的用户提供了 IP 地址。ISP 是向广大用户综合提供互联网接

入业务、信息业务和增值业务的电信运营商,ISP 是经国家主管部门批准的正式运营的企业,享受国家法律保护。中国主要的 ISP 如中国电信、中国网通和中国移动等提供了诸如拨号上网、ADSL、光纤入户等上网服务。随着 ISP 的发展和扩大,主干网、地区网和校园网分级网络的形成,形成了多层次 ISP 结构的互联网。根据提供服务的覆盖面积大小以及所拥有的 IP 地址数目的不同,ISP 也分成为不同的层次,如主干 ISP、地区 ISP 和本地 ISP 等,例如位于北京的中国电信总部为主干 ISP,下属的北京市电信局则是地区 ISP。

1.2 计算机网络的组成与分类

1.2.1 计算机网络的组成

计算机网络首先是一个通信网络,各计算机之间通过通信媒体、通信设备进行数字通信,在此基础上各计算机可以通过网络软件共享其他计算机上的硬件资源、软件资源和数据资源。从计算机网络各组成部件的功能来看,各部件主要完成两种功能,即网络通信和资源共享。把计算机网络中实现网络通信功能的设备及其软件的集合称为网络的通信子网,通常位于整个网络的核心部分,包括路由器、交换机等通信设备以及相关的网络协议。而把网络中实现资源共享功能的设备及其软件的集合称为资源子网,通常位于整个网络的边缘,主要是用户进行上网的主机等终端设备。具体说来,计算机网络是由负责传输数据的网络通信介质和网络设备、使用网络的计算机终端设备和服务器及网络操作系统组成。典型的计算机网络组成如图 1-4 所示。

1. 通信子网

通信子网是实现网络通信功能的设备及其软件的集合,包括通信设备、网络通信协议、通信控制软件等,它承担全网的数据传输、转接、加工、变换等通信处理工作,主要由以下部分组成。

1) 网络通信介质

通信子网中有四种主要的网络通信介质:双绞线、光纤、微波、同轴电缆。在局域网中的主要通信介质是双绞线,也称网线,这是一种不同于电话线的 8 芯电缆,具有传输 1 000 Mbps 的能力;光纤则在局域网中多承担干线部分的数据传输。使用微波的无线局域网由于其灵活性而逐渐普及;早期的局域网中使用网络同轴电缆,从 1995 年开始,网络同轴电缆被逐渐淘汰,已经不在局

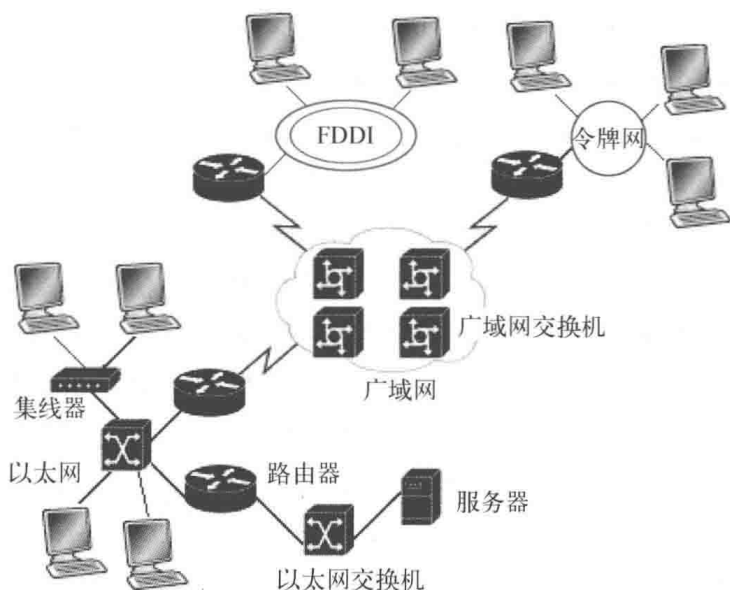


图 1-4 一个典型的计算机网络组成

域网中使用了。

2) 网络交换设备

网络交换设备是把计算机连接在一起的基本网络设备,如交换机、集线器等。计算机之间的数据报通过交换机转发。因此,计算机要连接到局域网络中,必须先连接到交换机上。不同种类的网络使用不同的交换机,常见的有:以太网交换机、ATM 交换机、令牌网交换机、FDDI 交换机等。

可以用称为 Hub 的网络集线器替代交换机。Hub 的价格低廉,但会消耗大量的网络带宽资源。由于局域网交换机的价格已经下降到低于 PC 计算机的价格,所以正式的网络已经不再使用 Hub。

3) 网络互联设备

网络互联设备主要是指路由器(Router)。它是连接互联网中各局域网、广域网最重要的网络设备之一。它会根据网络信道的情况自动选择和设定路由,以最佳路径和按先后顺序发送信号,是互联网络的枢纽和“交通警察”。路由器不仅提供同类网络之间的互相连接,还提供不同网络之间的通讯,比如局域网与广域网的连接、以太网与帧中继网络的连接等。

在广域网与局域网的连接中,调制解调器也是一个重要的设备。调制解调器用于将数字信号调制成频率带宽更窄的信号,以便适于广域网的频率带宽。最常见的是使用电话网络或有线电视网络接入互联网。

中继器是一个延长网络电缆和光缆的设备,对衰减了的信号起再生作用。

网桥是一个被淘汰了的网络产品,原先用来改善网络带宽拥挤。后期交换机设备同时完成了网桥需要完成的功能,交换机的普及使用是终结网桥使命的直接原因。

4) 网络通信协议

网络通信协议(Communication Protocol)是网络通信中的软件实现部分,是双方实体为完成通信或服务所必须遵循的规则和约定。通过通信信道和设备互联起来的多个不同地理位置的数据通信系统,要使其能协同工作实现信息交换和资源共享,它们之间必须具有共同的语言。交流什么、怎样交流及何时交流,都必须遵循某种互相都能接受的规则。这个规则就是网络通信协议。

2. 资源子网

资源子网包括网络中的所有网络终端、服务器和网络操作系统等。它负责全网面向应用的数据处理业务,向网络用户提供各种网络资源和网络服务,实现网络的资源共享。

1) 网络终端与服务器

网络终端也称网络工作站,是指使用网络的计算机、网络打印机等。在客户/服务器网络中,客户机即为网络终端。

网络服务器是被网络终端访问的计算机系统,通常是一台高性能的计算机,例如大型机、小型机、UNIX 工作站和服务器 PC 机,安装上服务器软件后构成网络服务器,分别被称为大型机服务器、小型机服务器、UNIX 工作站服务器和 PC 机服务器。网络服务器是资源子网的核心设备,网络中可共享的资源,如数据库、大容量磁盘、外部设备和多媒体节目等,通过服务器提供给网络终端。网络服务器软件是建立在网络操作系统之上的一个服务器软件系统。它向网络用户提供不同类型的网络服务,以实现网络数据共享和通信。服务器按照可提供的服务分为文件服务器、数据库服务器、打印服务器、Web 服务器、电子邮件服务器、代理服务器等。

2) 网络操作系统

网络操作系统(Network Operating System, NOS)是安装在网络终端和服务器的软件。网络操作系统完成数据发送和接收所需要的数据分组、报文封装、建立连接、流量控制、出错重发等工作。现代的网络操作系统都是随计算机操作系统一同开发的,网络操作系统是现代计算机操作系统的一个重要组成部分。

常用的网络操作系统包括 Windows Server、Linux 和 Unix 操作系统等。

1.2.2 计算机网络的分类

计算机网络的分类方法有多种方式,通过从不同的角度学习并理解分类的方法,有助于我们更好地理解计算机网络的概念。

1. 按计算机网络覆盖的地理范围分类

按照计算机网络所覆盖的地理范围的大小进行分类,计算机网络可分为局域网、城域网和广域网。通过了解计算机网络所覆盖的地理范围,人们可以一目了然地获取该网络的规模和主要技术。

局域网(Local Area Network, LAN)的覆盖范围一般在方圆几十米到几千米。例如一个办公室、一个办公楼、一个园区范围内的网络。

当网络的覆盖范围达到一个城市的大小时,被称为城域网。网络覆盖到多个城市甚至全球的时候,就属于广域网(Wide Area Network, WAN)的范畴了。我国著名的公共广域网如中国教育网、中国科技网等。大型企业、院校、政府机关通过租用公共广域网的线路,可以构成自己的广域网。

2. 按计算机网络的使用范围分类

按照计算机网络的使用者进行分类,计算机网络可以分为公用网和专用网。其中公用网一般由电信部门组建、管理和控制,网络内的传输和交换装置可以租给任何部门和单位使用,只要符合网络拥有者的要求就能使用这一网络,是为全社会所有人提供服务的网络。而专用网通常由某个部门或单位组建并拥有,只为拥有者提供服务,不允许其他部门或单位使用,例如用于军事和政府部门的一些网络。

3. 按照网络拓扑结构分类

计算机网络是由多台独立的计算机通过通信线路连接起来的。那么通信线路是如何把这些计算机连接起来,能否把连接方式抽象出一种可描述的结构?科学家们通过采用从图论演变而来的“拓扑”方法,抛开网络中的具体设备,把工作站、服务器、互联设备等网络单元抽象为点,把网络中的通信介质抽象为线,把整个网络系统看成是点和线组成的图形,从而抽象出网络系统的具体结构。所以,各个节点在网络上的连接方式就称为网络的拓扑结构。拓扑结构描述网络中网络终端、网络设备组成的网络节点之间的几何关系,反映出网络设备之间以及网络终端是如何连接的。计算机网络按照拓扑结构划分为