

高等院校计算机应用系列教材

# 计算机网络教程

## (第3版)

溪利亚 刘智珺 主 编  
苏 莹 蔡 芳 副主编

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书以“重基础、重实践、重应用”为宗旨，注重学生“懂、建、管、用”专业能力的培养，内容包括计算机网络概述、数据通信技术、计算机网络体系结构、局域网、网络互联技术、Internet 技术、网络安全技术等理论知识和实践应用，以满足学习者对掌握网络系统分析、设计、组建、运维和应用开发能力的需求。

本书编排方式新颖，内容基础性强，概念清晰，逻辑严谨，实验教学源于生活中的网络应用，实用性强，并遴选了重要知识点录制了微课视频和实践指导微视频。读者扫描书中二维码就可以观看相应知识点的讲解，这为读者学习和理解相关内容提供了方便。

本书可作为高等院校计算机专业和理工类网络课程的教材，也可作为从事计算机与信息技术应用的工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程 / 溪利亚，刘智珺主编. —3 版. —北京：清华大学出版社，2023.1

高等院校计算机应用系列教材

ISBN 978-7-302-61989-5

I. ①计… II. ①溪… ②刘… 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(2022)第 179934 号

责任编辑：刘金喜

封面设计：高娟妮

版式设计：孔祥峰

责任校对：成凤进

责任印制：沈 露

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-83470000 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈：010-62772015，[zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者：天津鑫丰华印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：19.25 字 数：492 千字

版 次：2014 年 1 月第 1 版 2023 年 1 月第 3 版 印 次：2023 年 1 月第 1 次印刷

定 价：79.00 元

---

产品编号：098067-01

计算机网络课程是带领学生走进互联网世界，探寻互联网奥秘，体验互联网创新推动经济、科技发展的一门重要课程。计算机网络技术的发展日新月异，不断有新概念、新技术、新应用涌现。因此，本书依据“面向基础，注重实践，面向实际应用，面向未来发展”的理念，立足于培养高素质应用型人才的教學要求，安排教学内容，设计呈现方式，全面讲解计算机网络知识。

(1) 面向基础，注重专业知识的积累和应用，培养基于互联网思维的创新意识。

全书分为两部分，第一部分以理论教学为主，第二部分以实践教学为主。本书的理论部分按照“模块化”的原则，将计算机网络技术7章内容，分为了网络理论、网络技术、网络应用和网络安全4个模块。计算机网络技术各章之间的结构关系如图1所示。

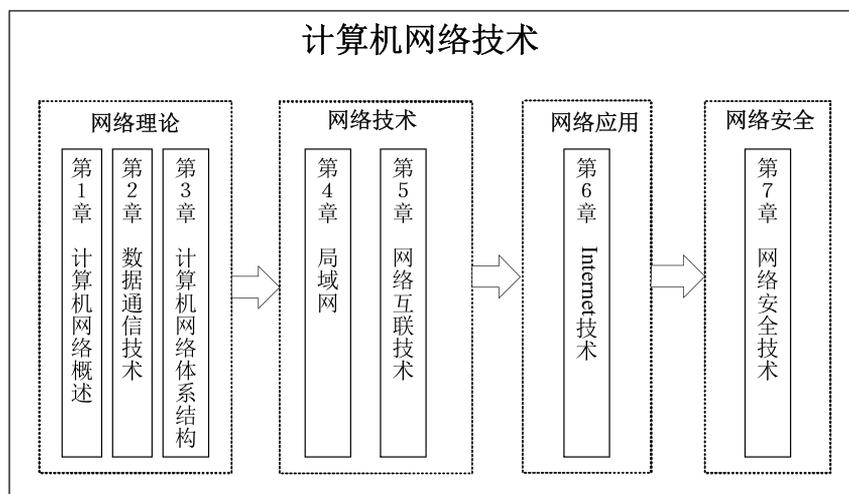


图1 计算机网络技术各章之间的结构关系

第1章介绍了计算机网络的基本概念、分类、组成、性能和发展趋势，这是全书的基本内容。

第2章介绍了数据通信的基本概念、数据传输介质、信道复用技术和数据交换技术、数据编码技术、差错控制技术，为初学者学习数据通信技术奠定基础。

第3章介绍了计算机网络的体系结构，对OSI参考模型与TCP/IP参考模型进行了比较和分析，使学习者对计算机网络体系结构有初步了解。

第4章介绍了局域网、以太网、局域网互联技术、虚拟局域网、高速局域网、无线局域网，以及局域网结构化综合布线技术等，为学习者构建主流网络提供了保障。

第5章介绍了网络互联的基本概念、类型、互联网络协议 TCP/IP、虚拟互联网络的概念及与之配合使用的 ARP、RARP、ICMP 等协议的作用,重点介绍了 IP 地址与硬件地址的关系、IP 层转发分组的流程、子网与子网掩码等关键技术,以及 NAT、IPv6 和运输层的 TCP、UDP 的基本概念。通过对本章的学习,学习者可以切实地了解因特网是怎样工作的。

第6章介绍了 Internet 的发展历程、接入方式,以及常用的 Internet 应用,为学习者提供了系统的网络应用技术知识和应用指导。

第7章介绍了网络中面临的安全问题,以及常用的防火墙、入侵检测、VPN 等安全技术,并给出了安全应用实例,让学习者对网络安全既有理性认识也有感性体验,培养“三分技术,七分管理”的安全意识。

通过对各模块知识结构和层次关系的梳理,把握计算机网络知识,从全貌认识计算机网络。计算机网络探索全貌图如图2所示。

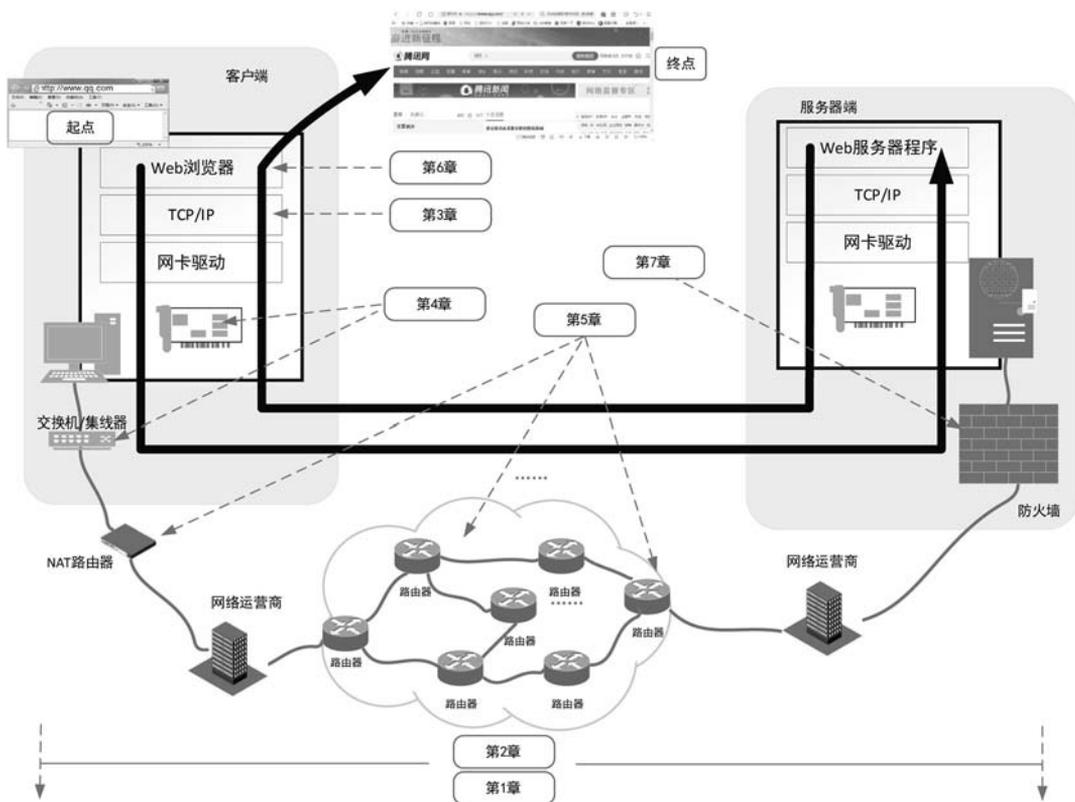


图2 计算机网络探索全貌图

(2) 注重实践,面向实际应用,构建了立体化的实践教学体系、沉浸式实践教学模式,培养运用互联网技术解决实际问题的能力。

本书的实验部分按照“三贴近”(贴近学生、贴近实际、贴近生活)的原则,依据计算机网络的知识脉络,以及实践项目知识点之间的关联性,由浅入深地设计了覆盖系统运维、组建、分析、设计4个能力层的7个实验项目,如表1所示。本书通过对虚拟仿真技术的使用,突破了实验空间和时间的限制,实现了实验课堂的延伸,构建了“虚拟仿真+实物实验+实际应用”、课内课外的混合式实践教学体系,形成了生活环境即实验环境、实验项目即实际应用的沉浸式

实践教学模式，体验“学以致用”的快乐。

表 1 计算机网络实践环节技能知识点

实践教学内容	能力目标
常用网络设备	系统运维
网络测试与管理命令	
组建 Windows 环境下的局域网	系统组建
静态路由	
网络数据包的监听和分析	系统分析
应用服务器的搭建	系统设计
编写简单的客户/服务器程序	

(3) 面向未来，培养学生良好的学习方法与获取知识的能力，促进学生全面发展。

本书以建构主义学习理论为指导，以互联网为基础，结合信息化技术，设计、开发了配套的网络资源，包括教学课件、教学视频、教学案例、线上虚拟仿真实践项目指导、线上虚拟仿真实践平台、各章配套习题等，这不仅为教师开展线上线下混合式教学提供了支持，促进了个性化教育的实现，提高了学习效果，还培养了学生自主式、合作式、探究式的学习能力，实现了知识学习、能力发展、价值观培养为一体的教育目标，促进学生全面发展，促进教育现代化进程。

本书相关线上资源均可通过学银在线 <https://www.xueyinonline.com/detail/222935591> 访问。

本书第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章及实践教学内容由溪利亚编写，第 3 章和第 6 章由苏莹编写，第 7 章由蔡芳编写，全书由溪利亚和刘智珺统稿。

本书实践部分的视频录制得到了鲁子轩同学的帮助，在此表示衷心的感谢。

限于编者的学术水平，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

服务邮箱：476371891@qq.com

本书教学课件和习题答案可通过扫描下方二维码下载，教学视频可通过扫描书中二维码观看。



教学课件+习题答案

编者

2022 年 10 月

# 目 录

第一部分 理论篇	
第 1 章 计算机网络概述	2
1.1 计算机网络基本概念	2
1.1.1 计算机网络的产生和发展	2
1.1.2 计算机网络的概念	5
1.1.3 计算机网络的功能	6
1.2 计算机网络的分类	7
1.2.1 不同覆盖范围的网络	7
1.2.2 不同使用者的网络	8
1.3 计算机网络的组成	8
1.4 计算机网络的性能	13
1.4.1 计算机网络的性能指标	13
1.4.2 计算机网络的非性能指标	15
1.5 计算机网络的发展趋势	15
1.5.1 云计算	16
1.5.2 物联网	17
习题	19
第 2 章 数据通信技术	21
2.1 数据通信基本概念	21
2.1.1 信息、数据、信号和信道	21
2.1.2 数据通信系统	23
2.2 数据传输介质	27
2.2.1 传输介质的主要特性	28
2.2.2 导向传输媒体	28
2.2.3 非导向传输媒体	33
2.3 信道复用技术	35
2.3.1 频分多路复用	36
2.3.2 时分多路复用	37
2.3.3 波分多路复用	38
2.4 数据交换技术	38
2.4.1 电路交换	38
2.4.2 报文交换	40
2.4.3 分组交换	40
2.4.4 交换技术比较	45
2.5 数据编码技术	45
2.5.1 数字信号模拟化时的编码方法	45
2.5.2 模拟信号数字化时的编码方法	46
2.5.3 数字数据编码	47
2.6 差错控制技术	48
习题	51
第 3 章 计算机网络体系结构	53
3.1 网络体系结构概述	53
3.1.1 网络体系结构的形成	53
3.1.2 网络协议及相关概念	55
3.1.3 层次结构	57
3.2 OSI参考模型	58
3.2.1 OSI参考模型结构	58
3.2.2 OSI参考模型各层的功能	59
3.2.3 OSI环境中数据的传输	61
3.3 TCP/IP参考模型	65
3.3.1 TCP/IP概述	65
3.3.2 TCP/IP参考模型及各层功能 (TCP/IP协议集)	65
3.3.3 TCP/IP环境中数据的传输	67
3.4 具有五层结构的参考模型	68
3.4.1 OSI与TCP/IP参考模型的比较	68
3.4.2 具有五层结构的参考模型	70
习题	71

<b>第4章 局域网</b> .....	<b>73</b>	5.3.3 IP地址概述.....	123
4.1 局域网概述.....	73	5.3.4 IP地址的分配.....	126
4.1.1 局域网的特点.....	73	5.3.5 IP数据报格式.....	127
4.1.2 局域网的关键技术.....	74	<b>5.4 互联网中IP数据的流动</b> .....	<b>129</b>
4.1.3 局域网的体系结构.....	75	5.4.1 IP地址与硬件地址的关系.....	129
4.1.4 IEEE 802标准系列.....	76	5.4.2 地址解析协议(ARP)和逆地址 解析协议(RARP).....	131
4.2 以太网概述.....	77	5.4.3 IP层转发分组的流程.....	134
4.2.1 以太网的工作原理.....	77	5.4.4 ICMP.....	138
4.2.2 争用期.....	81	<b>5.5 IP地址扩展技术</b> .....	<b>140</b>
4.2.3 传统以太网的连接方法.....	83	5.5.1 划分子网.....	140
4.3 局域网互联技术.....	85	5.5.2 网络地址转换.....	146
4.3.1 共享式介质局域网互联.....	85	<b>5.6 IPv6</b> .....	<b>148</b>
4.3.2 交换式局域网互联.....	90	<b>5.7 因特网传输层协议</b> .....	<b>149</b>
4.4 虚拟局域网.....	98	习题.....	153
4.4.1 虚拟局域网的概念.....	98	<b>第6章 Internet 技术</b> .....	<b>156</b>
4.4.2 虚拟局域网的实现方式.....	99	6.1 Internet概述.....	156
4.4.3 虚拟局域网的应用特点.....	101	6.1.1 Internet的概念.....	156
4.5 高速局域网.....	102	6.1.2 Internet的发展历程.....	157
4.5.1 高速局域网的发展.....	102	6.1.3 Internet的标准化工作.....	159
4.5.2 快速以太网.....	103	<b>6.2 Internet的接入</b> .....	<b>160</b>
4.5.3 吉比特以太网.....	103	<b>6.3 域名系统DNS</b> .....	<b>163</b>
4.5.4 10吉比特以太网.....	105	6.3.1 域名系统概述.....	163
4.5.5 FDDI.....	106	6.3.2 Internet的域名结构.....	164
4.6 无线局域网.....	107	6.3.3 域名服务器.....	165
4.6.1 无线局域网的概念.....	107	<b>6.4 WWW服务</b> .....	<b>167</b>
4.6.2 无线局域网的应用.....	108	6.4.1 统一资源定位符.....	168
4.6.3 无线局域网标准.....	109	6.4.2 超文本传送协议.....	169
4.7 局域网结构化综合布线.....	111	6.4.3 超文本标记语言.....	170
4.7.1 结构化布线的优点.....	112	6.4.4 搜索引擎.....	171
4.7.2 结构化布线系统的组成.....	112	<b>6.5 E-mail服务</b> .....	<b>172</b>
4.7.3 结构化综合布线系统的设计要点.....	114	<b>6.6 FTP服务</b> .....	<b>174</b>
习题.....	116	<b>6.7 Telnet服务</b> .....	<b>176</b>
<b>第5章 网络互联技术</b> .....	<b>119</b>	<b>6.8 网络管理</b> .....	<b>177</b>
5.1 网络互联概述.....	119	6.8.1 网络管理的目的和内容.....	177
5.2 互联网络协议TCP/IP.....	120	6.8.2 网络管理系统的构成.....	178
5.3 网际协议(IP).....	121	6.8.3 网络管理系统的功能.....	179
5.3.1 网际协议(IP)的特征.....	121	6.8.4 简单网络管理协议.....	179
5.3.2 虚拟互联网络.....	121		

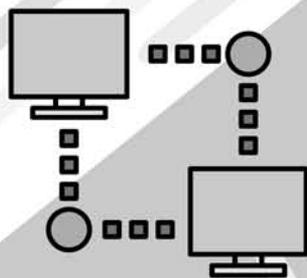
6.9 多媒体网络应用	180	2.3.3 tracert命令	208
习题	182	2.3.4 netstat命令	209
<b>第7章 网络安全技术</b>	<b>185</b>	2.3.5 ARP命令	210
7.1 网络安全问题概述	185	2.4 实验设备	211
7.1.1 网络安全的基本含义	185	2.5 实验步骤	211
7.1.2 计算机网络面临的威胁	185	2.6 思考	212
7.1.3 计算机网络安全的内容	186	<b>实验3 组建 Windows 环境下的</b>	
7.2 网络安全的主要技术	186	<b>局域网</b>	<b>213</b>
7.2.1 防火墙技术	187	3.1 实验目的	213
7.2.2 典型防火墙简介	188	3.2 实验任务	213
7.2.3 数据加密技术	190	3.3 实验设备	213
7.2.4 入侵检测技术	191	3.4 组建局域网	213
7.3 网络应用安全	191	3.4.1 安装TCP/IP协议软件	213
7.3.1 VPN技术	192	3.4.2 TCP/IP参数设置	214
7.3.2 SSL协议	193	3.4.3 测试TCP/IP协议	215
7.3.3 SET协议	194	3.5 实验步骤	215
习题	195	3.6 思考	216
<b>第二部分 实验篇</b>			
<b>实验1 常用网络设备</b>	<b>198</b>	<b>实验4 应用服务器的搭建</b>	<b>217</b>
1.1 实验目的	198	4.1 实验目的	217
1.2 实验任务	198	4.2 实验任务	217
1.3 常用网络设备简介	198	4.3 实验设备与环境	217
1.3.1 导向传输媒体	198	4.4 应用服务器搭建	222
1.3.2 网卡	201	4.4.1 WWW服务器的搭建	222
1.3.3 调制解调器	202	4.4.2 DNS服务器的搭建	226
1.3.4 集线器	202	4.4.3 FTP服务器的搭建	230
1.3.5 交换机	203	4.4.4 DHCP服务器的搭建	234
1.4 实验设备	203	4.5 实验步骤	237
1.5 实验步骤	203	4.6 思考	238
1.6 思考	205	<b>实验5 网络数据包的监听和分析</b>	<b>239</b>
<b>实验2 网络测试与管理命令</b>	<b>206</b>	5.1 实验目的	239
2.1 实验目的	206	5.2 实验任务	239
2.2 实验任务	206	5.3 实验设备与环境	239
2.3 Windows中的常用网络命令	206	5.4 OmniPeek软件介绍	239
2.3.1 ping命令	206	5.4.1 概述	239
2.3.2 ipconfig命令	207	5.4.2 OmniPeek工具的使用	240
		5.4.3 OmniPeek过滤器的使用	243
		5.5 实验步骤	246

5.6 思考	252	7.4.1 客户与服务器的特性	261
<b>实验 6 静态路由</b>	<b>253</b>	7.4.2 实现中需要解决的主要问题	262
6.1 实验目的	253	7.4.3 网络编程Socket	263
6.2 实验任务	253	<b>7.5 Windows Socket API相关介绍</b>	<b>266</b>
6.3 实验环境	253	7.5.1 Winsock介绍	266
6.4 实验步骤	254	7.5.2 CAsyncSocket介绍	274
6.4.1 两个网段的互联互通	254	<b>7.6 实验步骤</b>	<b>278</b>
6.4.2 多于两个网段的互联互通	257	7.6.1 利用Winsocket编制网络应用程序	278
6.5 思考	259	7.6.2 用C#编制网络应用程序	283
<b>实验 7 编写简单的客户/服务器程序</b>	<b>261</b>	7.7 思考	289
7.1 实验目的	261	<b>参考文献</b>	<b>290</b>
7.2 实验任务	261	<b>附录 A 实践虚拟仿真环境介绍</b>	<b>291</b>
7.3 实验环境	261		
7.4 相关理论知识	261		



第一部分

# 理论篇



## 第 1 章

# 计算机网络概述

计算机网络是计算机技术与通信技术相互渗透和结合的产物，以互联网为代表的计算机网络对当今人类社会的生活、科技、教育、文化与经济发展都有着深刻的影响。计算机网络已成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础，是人们日常生活和工作中不可缺少的工具，人类已进入以网络为核心的信息时代。本章从网络的产生和发展开始，全面介绍计算机网络的功能、组成、性能、应用和未来的发展趋势等相关知识。

本章主要讨论以下问题。

- 计算机网络是如何产生和发展的？
- 什么是计算机网络？
- 计算机网络可以为我们做什么？
- 计算机网络是如何构成的？
- 计算机网络可以分为哪几种类型？
- 如何衡量计算机网络的性能？
- 计算机网络未来的发展趋势如何？

## 1.1 计算机网络基本概念

### 1.1.1 计算机网络的产生和发展

计算机网络的发展始于 20 世纪 50 年代，是为了满足人们对数据通信和资源共享的需求而产生的。计算机网络是计算机技术和通信技术相结合的产物，计算机技术和通信技术的飞速发展，给计算机网络的产生提供了可能。通信技术为计算机之间交换信息和数据提供了手段，计算机技术渗透到通信技术，提高了通信技术的各种性能，包括智能和速度。纵观计算机网络发展的历程，从形成到成熟，经历了 4 个阶段。

#### 1. 第一阶段：以主机为中心的计算机网络(20 世纪 50 年代)

1946 年，世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 问世，此时，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(semi-automatic ground environment, SAGE)将远程雷达信号、机场与防空部队的信息，通过无线、有线线路和卫星信道传



计算机网络的  
发展

送到位于美国本土的一台 IBM 计算机中进行处理,有线和无线通信线路总长度超过了 241 万千米。这项研究是计算机技术与通信技术相结合的尝试,由此出现了第一代计算机网络,如图 1-1 所示。人们把这种以单台计算机为中心的联机系统,称为以主机为中心的联机系统,它是一种典型的计算机通信网络。例如,20 世纪 60 年代初,美国航空公司与 IBM 公司合作开发了航空订票系统 SABRE-1,由一台主机和 2000 多个终端组成。

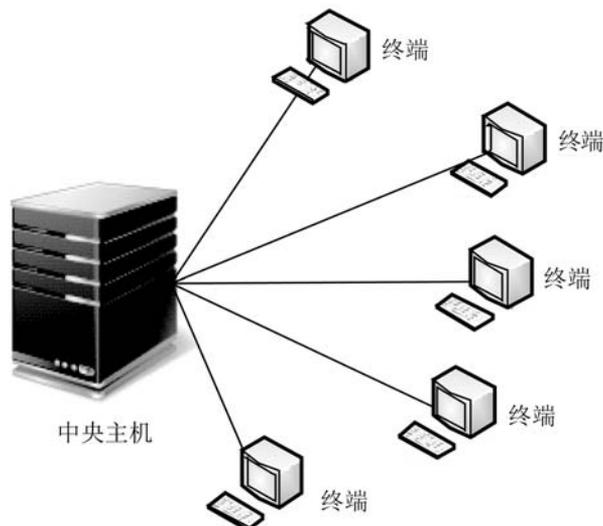


图 1-1 以主机为中心的计算机网络

这种网络结构简单,以主机为中心,集中控制,终端主要依赖于电话网络与中央主机分时进行数据通信。远程终端系统中,如果中央主机的负荷较重,会导致系统响应时间过长;单机系统的可靠性一般也较低,一旦中央主机发生故障,将导致整个网络系统瘫痪。

## 2. 第二阶段:计算机—计算机网络(20 世纪 60 年代中期—20 世纪 70 年代中期)

随着计算机应用技术和通信技术的进步,军事、科研、企业与政府部门希望将分布在不同地点的计算机通过通信线路互联,使网络用户可以使用本地计算机上的软件、硬件和数据资源,也可以使用联网的其他计算机的软件、硬件与数据资源。同时,为了克服第一代计算机网络的不足,提高网络的可靠性和可用性,设计出了将多台计算机相互连接的第二代计算机网络,如图 1-2 所示。该阶段的计算机网络采用了分组交换技术实现了计算机与计算机的互联,人们把这种网络称为以分组交换网为中心的计算机网络。

第二代计算机网络的典型代表是美国国防部高级研究计划局(advanced research project agency, ARPA)的 ARPANET(通常称为 ARPA 网)。1969 年,ARPA 提出了将多所大学、公司和研究所的计算机互联的课题。1969 年,ARPANET 只有 4 个节点,以电话线作为主干网络,到 1973 年,ARPANET 发展到 40 个节点,进入工作阶段。此后,ARPANET 规模不断扩大,1983 年已经达到 100 个节点,通过无线、有线与卫星通信线路,使网络覆盖了从美国本土到夏威夷甚至欧洲的广阔地域。

ARPANET 是计算机网络发展的重要里程碑。ARPANET 的研究提出了资源子网、通信子网两级网络结构的概念;研究了报文分组交换的数据交换方法;采用了层次化的网络体系结构模型与协议体系,促进了 TCP/IP 协议的发展,为 Internet 的形成奠定了基础。

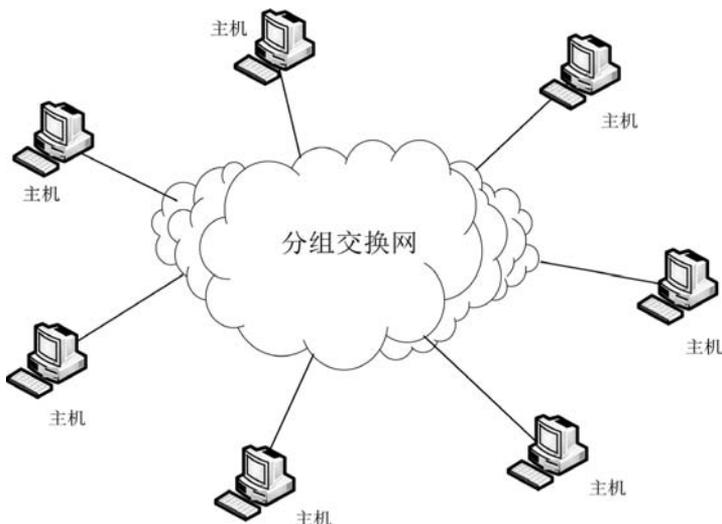


图 1-2 以分组交换网为中心的计算机网络

### 3. 第三阶段：网络体系结构标准化阶段(20 世纪 70 年代中期—20 世纪 80 年代末期)

经过 20 世纪 60 年代到 70 年代前期的发展,人们对组网技术、方法和理论的研究日趋成熟,为了促进网络产品的开发,各大计算机公司纷纷制定自己的网络技术标准。IBM 公司为了使自己公司制造的计算机易于联网并有标准可循,使网络的系统软件、网络硬件具有通用性,1974 年在世界上首先提出了完整的计算机网络体系结构化的概念,宣布了 SNA 标准。IBM 公司将 SNA 作为标准建立起来的网络称为 SNA 网,用户可以非常容易地将 IBM 各系列和型号的计算机互联构建网络。为了增强计算机产品在世界市场的竞争力,其他公司也都公布了自己的网络体系结构标准,例如,DEC 公司公布了 DNA(数字网络系统结构)、Univac 公司公布了 DCA(数据通信体系结构)等。这样就形成了各计算机制造厂商网络体系结构的标准化。

各公司有自己的网络体系结构,可使生产的各种设备容易互联成网,有助于该公司垄断自己的产品。但是,随着社会的发展,不同网络体系结构的用户迫切要求互相交换信息。

为了使不同体系结构的计算机网络都能互联,国际标准化组织(ISO)于 1977 年成立专门机构研究该问题。1978 年,ISO 提出了“异种机联网标准”的框架结构,这就是著名的开放系统互连参考模型(open system interconnection reference model, OSI/RM)。只要遵循 OSI 标准,一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这一标准的其他任何系统进行通信。OSI 在国际上得到了认可,几乎所有网络产品厂商都表示支持,OSI 极大地推动了计算机网络的发展,成为不同计算机网络体系结构依照的标准。

20 世纪 80 年代,微型计算机的发展和普及,推动了企业内部的微型计算机与智能设备的互联需求,从而带动了局域网技术的高速发展。局域网厂商从一开始就按照标准化、互相兼容的方式竞争。1980 年,IEEE 802 委员会制定了局域网标准,极大地促进了局域网的发展和成熟。

### 4. 第四阶段：Internet 的广泛应用(20 世纪 90 年代后)

1993 年,美国宣布实施“国家信息基础设施(national information infrastructure, NII)行动计划”。人们通常将其称为“信息高速公路”计划,即在全美建成一个由通信网、计算机、信息资源、用户信息设备与人构成的互联互通、无所不在的信息网络。

1994 年,美国又提出了建立“全球信息基础设施(global information infrastructure, GII)计划”的倡议,建议将各国的 NII 互联起来组成世界范围的信息基础结构。GII 的形成使互联网的发展进入了一个新的阶段。

在 20 世纪 90 年代以后,以互联网为代表的计算机网络得到了飞速的发展,推动了科学、文化、经济和社会的发展。Internet 中的信息资源涉及商业、医疗卫生、科研教育、休闲娱乐、金融、政府管理等。用户可以使用 Internet 上提供的 WWW 服务、电子邮件(E-mail)服务与文件传输(FTP)服务等,也可以通过 Internet 与朋友聊天,发表自己的见解或寻求帮助。

Internet 的广泛应用和高速网络技术的发展,使得移动网络、网络多媒体计算、网络并行计算、存储区域网、云计算和物联网等逐渐成为新的网络研究热点。

## 1.1.2 计算机网络的概念

### 1. 计算机网络的定义

计算机网络在发展的不同阶段或从不同的角度来看,有着不同的含义。目前,关于计算机网络的定义可以分为三类:广义的观点、资源共享的观点和用户透明性的观点。

#### 1) 广义的观点

广义的观点指出计算机网络是“在某种协议控制下,由一台或多台计算机、若干台终端设备、数据传输设备,以及便于终端和计算机之间或若干台计算机之间数据流动的通信设备所组成的系统的集合”。计算机网络中的协议就是通信双方为了实现通信所建立的标准、规则或约定。协议由语义、语法和时序三部分组成。语义规定通信双方彼此“讲什么”,即确定协议元素的类型,如规定通信双方要发出什么控制信号、执行的动作和返回的应答;语法规则规定通信双方彼此“如何讲”,即确定协议元素的格式,如数据和控制信息的格式;时序(同步)规定事件执行的顺序,即确定通信过程中通信状态的变化。

#### 2) 资源共享的观点

资源共享的观点能够准确地描述现阶段计算机网络的基本特征,将计算机网络定义为“以相互共享资源(硬件、软件和数据等)的方式而连接起来的,并且各自具有独立功能的计算机系统的集合”。按照资源共享的观点定义的计算机网络主要有以下 3 个特征。

(1) 计算机网络建立的目的是实现计算机资源的共享。计算机资源包括计算机硬件、软件和数据。网络用户不仅可以使本地资源,而且可以通过互连网络访问远程计算机资源,还可以调用网络中的几台不同的计算机共同完成某项工作。

(2) 互连的计算机是分布在不同地理位置、具有独立处理能力的自主计算机。在计算机网络中计算机之间没有主从关系,所有计算机都是平等独立的,既可以联网工作,也可以独立工作。

(3) 互连计算机之间的通信必须遵循共同的网络协议。计算机网络由多个互连的节点组成,节点之间要做到有条不紊地交换数据,每个节点就必须遵守事先约定好的通信规则,即协议。这就像人与人之间的交流,没有共同语言,交流就会有障碍。



计算机网络的定义

### 3) 用户透明性的观点

用户透明性的观点定义了计算机网络中“存在着一个能为用户自动统一管理资源的网络操作系统，由它调用完成用户任务所需要的资源，而整个网络像一个大的计算机系统一样对用户透明”。严格地说，用户透明性观点的定义描述是一种分布式计算机系统(distributed computer system)，简称为分布式系统。它基于计算机网络，也区别于计算机网络。计算机网络与分布式系统的共同点主要表现在一般的分布式系统建立在计算机网络之上，因此两者在物理结构上基本相同。两者的区别主要表现在分布式操作系统与网络操作系统的设计思想不同，因此它们的结构、工作方式与功能也不同。计算机网络为分布式系统的研究提供了技术基础，而分布式系统是计算机网络发展的高级阶段。

尽管计算机网络与应用已经取得了很大的进步，新的技术不断涌现，但是从资源共享的观点定义计算机网络仍然能准确地描述现阶段计算机网络的基本特征。

## 2. 网络的网络

在对计算机网络有了初步了解后，我们来进一步看一看计算机网络、互联网(或互连网)及因特网之间的关系。

网络是由若干节点(node)和连接这些节点的链路(link)组成的。网络中的节点可以是计算机、集线器、路由器、交换机等网络设备，如图 1-3(a)所示，三台计算机通过三条链路连接到一个集线器上，构成了一个简单的网络。通常，可以用一朵云表示一个网络。网络和网络可以通过路由器互联起来，这样就构成了一个覆盖范围更大的网络，即互联网，如图 1-3(b)所示。因此，互联网是“网络的网络”(network of networks)。而因特网是世界上最大的互联网(用户数以亿计，互联的网络数以百万计)。因特网通常也用一朵云来表示，如图 1-3(c)所示，表示许多主机连接在因特网上。

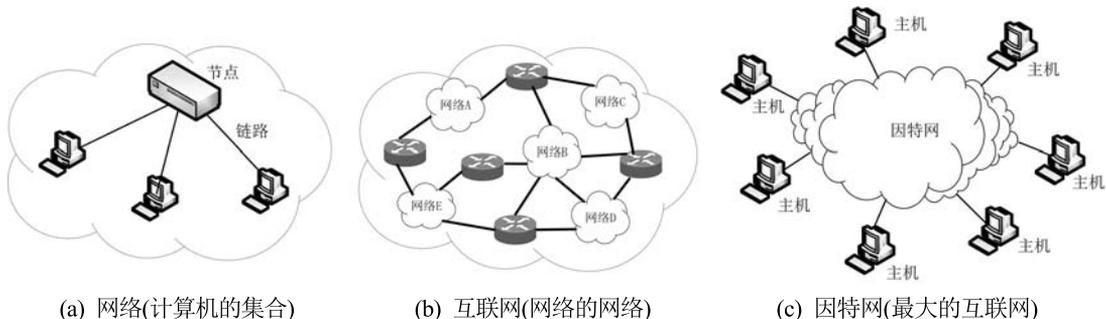


图 1-3 网络、互联网、因特网的概念

因此，可以这样理解：网络是许多计算机互联的集合，互联网是许多网络互联的集合，世界上最大的互联网就是因特网。互联网和因特网都是计算机网络。

### 1.1.3 计算机网络的功能

计算机网络向用户提供的主要功能有两个：资源共享和数据通信。

资源共享是计算机网络最具吸引力的功能，用户可以共享网络中各种硬件和软件资源，使网络中各地区的资源互通有无、分工协作，从而提高系统资源的利用率。利用计算机网络可以共享主机设备，如中型机、小型机、工作站等，以完成特殊的处理任务；可以共享一些较高级

或较昂贵的外部设备，如激光打印机、绘图仪、数字化仪、扫描仪等，以节约投资；更重要的是，利用计算机网络共享软件、数据等信息资源，可以最大限度地降低成本，提高效率。

数据通信是计算机网络的基本功能之一，是资源共享的基础，用以实现计算机与终端或计算机与计算机之间的各种信息传送。利用这一功能，用户之间的距离变得更近了，地理位置分散的生产单位或业务部门可通过计算机网络连接起来进行集中的控制和管理，如通过计算机网络实现铁路运输的实时管理与控制，提高铁路运输能力。

在日常社会活动中可以利用计算机网络加强相互间的通信，如通过网络上的文件服务器交换信息和报文、发送电子邮件、相互协同工作等。计算机网络改变了利用电话、信件和传真机通信的传统手段，也解除了利用软盘和磁带传递信息的不便，一方面提高了计算机系统的整体性能，另一方面大大方便了人们的工作和生活。

## 1.2 计算机网络的分类



计算机网络的分类

计算机网络有很多类别，一般可以从覆盖范围、使用者的角度进行划分。

### 1.2.1 不同覆盖范围的网络

#### 1) 局域网(local area network, LAN)

局域网是指在十几千米的地理范围内将计算机、外设和通信设备互联在一起的网络系统。常见于一幢大楼、一个工厂或一个企业内。它规模小，硬件设备相对简单。因为距离比较近，所以传输速率一般比较高，误码率较低。局域网组建方便，采用的技术较为简单，是目前计算机网络发展中最活跃的分支。

#### 2) 广域网(wide area network, WAN)

广域网是与局域网相对而言的，它涉及的范围较大，通常可以达到几十千米、几百千米，甚至更远。例如，CHINANET、ARPANET 等就属于广域网的范畴。广域网可以遍布于一个城市、国家，乃至全球。因为传输距离较远，所以传输速率比较低，误码率较高于局域网。在广域网中为了保证网络的可靠性，一般采用比较复杂的控制机制。

#### 3) 城域网(metropolitan area network, MAN)

城域网的覆盖范围介于局域网和广域网之间，一般是一个城市，也可以为一个单位或几个单位所拥有，但也可以是一种公用设施，用来将多个局域网进行互联。目前，很多城域网采用的是以太网技术，因此，有时也常并入局域网的范围进行讨论。

#### 4) 接入网(access network, AN)

接入网又称为本地接入网或居民接入网，一般由 ISP 提供，是用户能够与互联网连接的“桥梁”，如图 1-4 所示。目前，常用的接入网技术有 xDSL 技术、混合光纤同轴电缆(HFC)网和 FTTx 技术。

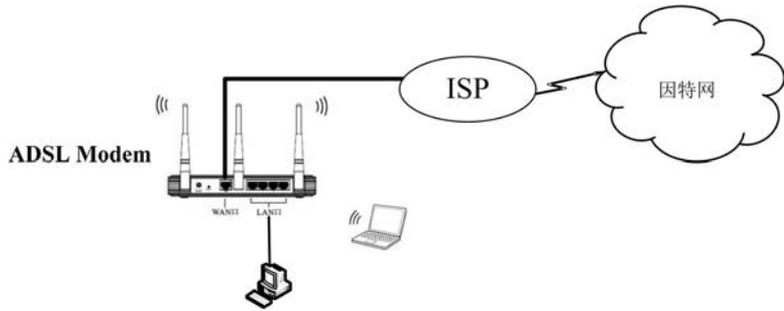


图 1-4 通过 ISP 接入 Internet

### 1.2.2 不同使用者的网络

#### 1) 公用网

公用网，是指国有或私有出资建造的大型网络。只要按照规定缴纳一定的费用，所有人都可以使用，所以也称为公众网。

#### 2) 专用网

专用网是某个部门为满足本单位的特殊业务工作的需要而建造的网络。这种网络不向本单位以外的人提供服务。例如，军队、铁路、金融等系统均有专用网。

## 1.3 计算机网络的组成



计算机网络的组成

从计算机网络的功能来看，计算机网络可以分为两部分：负责数据处理的主机和终端；负责数据通信的路由器与通信线路，如图 1-5 所示。通常称这两部分为资源子网和通信子网，资源子网由主机、终端、终端控制器、联网外设、各种网络软件与信息资源组成，负责全网的数据处理业务，向用户提供各种网络资源与网络服务；通信子网由路由器、通信线路与其他的通信设备组成，负责完成网络数据传输、转发等通信处理任务。

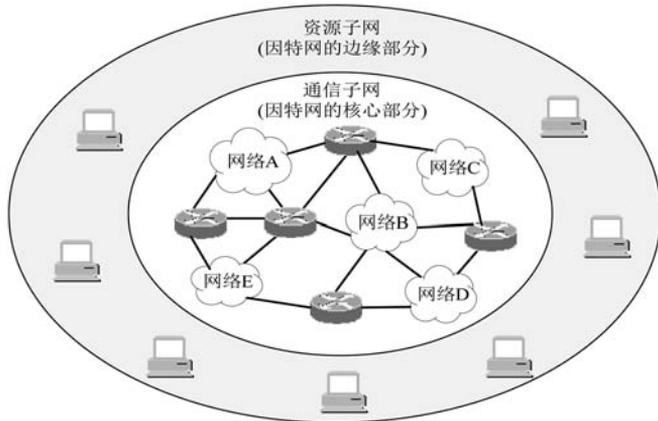


图 1-5 计算机网络的组成(因特网的组成)

因特网已成为世界上最大的计算机网络，虽然结构复杂，并且在地理上覆盖了全球，但是从工作方式上看，可以划分为边缘和核心两部分。边缘部分由所有连接在因特网上的主机组成，这部分是用户直接使用的，用来进行通信(传送数据、音频或视频)和资源共享。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)。

### 1. 因特网的边缘部分

在结构和功能上，因特网的边缘部分类似于计算机网络的资源子网，由因特网上的所有主机组成。这些主机又称为端系统(end system)，即因特网的末端。端系统可以是个人的一台普通计算机，也可以是一个单位(如学校、政府、企业或是因特网服务提供商)所拥有的一台非常昂贵的大型计算机。边缘部分的主机之间利用核心部分提供的服务互相通信并交换或共享信息。

两个端系统之间的通信实际上就是端系统中进程之间的通信，而进程是指运行着的程序。例如，“主机 A 和主机 B 进行通信”，实际上是指“运行在主机 A 上的某个程序和运行在主机 B 上的另一个程序进行通信”，简称为“计算机之间的通信”。

在人们打电话的时候，电话机的振铃声使被叫用户知道现在有电话呼叫。那么计算机之间进行通信时，一方是如何通知、唤醒另一方通信交流的呢？在因特网边缘的计算机中运行的进程之间的通信方式通常可划分为两大类：客户/服务器(client/server, C/S)方式和对等连接(peer-to-peer, P2P)方式。

#### 1) 客户/服务器方式

这种方式是因特网上最常用，也是最传统的方式。人们在网上访问网站、发送电子邮件时，使用的就是这种方式。客户(client)和服务器(server)是通信中所涉及的两个应用进程。客户/服务器方式所描述的是进程之间服务和被服务的关系。在图 1-6 中，主机 A 运行客户程序，而主机 B 运行服务器程序，这时主机 A 就是客户，主机 B 就是服务器。客户 A 向服务器 B 发出请求服务，服务器 B 向客户 A 提供服务，它们之间是服务的请求方和服务方的关系。

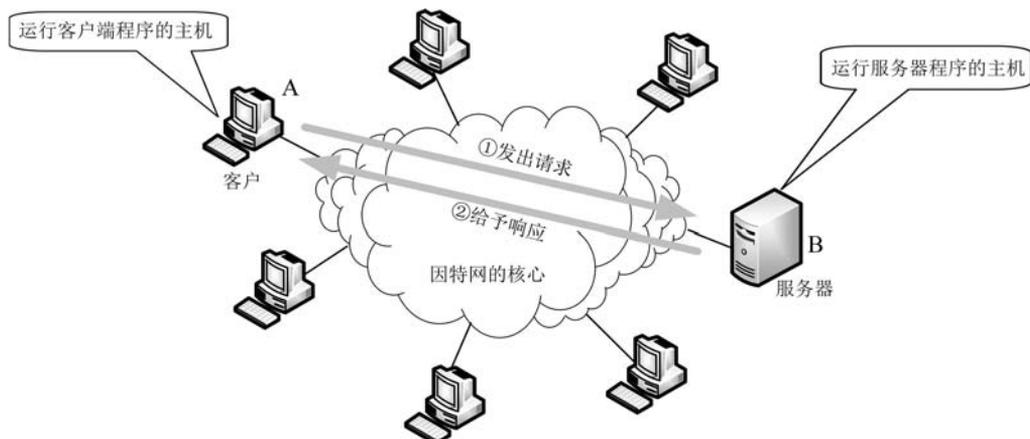


图 1-6 客户/服务器工作方式

在客户/服务器方式中，客户是指运行着客户程序的机器，是服务的请求方；服务器是运行着服务器程序的机器，是服务的提供方，它们都要使用网络核心部分所提供的服务。



边缘部分工作方式

在实际应用中，客户程序和服务器程序通常具有以下主要特点。

(1) 客户程序被用户调用并在用户计算机上运行，在打算通信时主动向远程服务器发起通信。因此，客户程序必须知道服务程序的地址。另外，客户程序的运行不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统支持。

(2) 服务器程序在共享计算机上运行，是专门用来提供某种服务的程序，可同时处理多个远程或本地客户的请求。当系统启动时自动调用并一直不断地运行着，被动地等待并接受来自多个客户的通信请求，一般需要强大的硬件和高级的操作系统支持，但不需要事先知道客户的地址。

## 2) 对等连接方式

对等连接方式是指两台计算机在通信时并不区分哪台是服务请求方哪台是服务提供方。只要两台主机都运行了 P2P 软件，它们就可以进行平等的对等连接通信，通过直接交换信息来共享计算机资源和服务。双方都可以下载对方已经存储在硬盘中的共享文档。人们在网上传输文件时，使用的就是这种方式。

实际上，对等连接方式从本质上看仍然是使用客户/服务器方式，只是对等连接中的每台主机既是客户又是服务器。在图 1-7 中，主机 A、B 和 C 都运行了 P2P 软件，因此这几台主机都可以进行对等通信。当 A 请求 B 的服务时，A 是客户，B 是服务器；当 C 请求 A 的服务时，A 又成了服务的提供方，担任了服务器的角色。

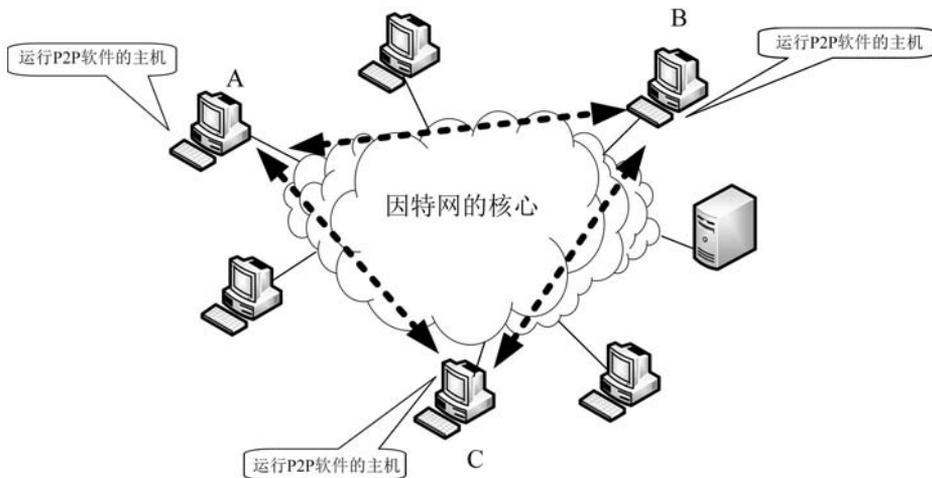


图 1-7 对等连接工作方式

## 2. 因特网的核心部分

在结构和功能上，因特网的核心部分类似于计算机网络的通信子网，是因特网中最复杂的部分，负责向网络边缘中的大量主机提供连通性。因特网核心部分的核心设备是路由器。路由器是实现分组交换的关键构件，负责将收到的分组进行转发，提供全网的连通性。这样说，分组交换技术是因特网的核心技术，下面对其进行详细介绍。

## 1) 分组交换的概念

分组交换最初是由巴兰(Baran)于 1964 年在美国兰德(Rand)公司的“论分布式通信”的研究报告中提出来的,后在美国的分组交换网 ARPANET 中被正式采用。

分组交换技术中“交换”的概念源于电路交换技术。在电话出现后不久,人们便认识到,在所有用户之间架设直达的线路对通信线路的资源是极大的浪费,必须依靠电话交换机实现用户之间的互联,如图 1-8 所示。一百多年来,电话交换机经过多次更新,从人工交换机、步进制交换机、纵横制交换机,直至现代的存储程序控制交换机(简称程控交换机),其本质始终未变,采用的都是电路交换(circuit switching)技术。



分组交换的概念



图 1-8 电话机的不同连接方式

电路交换技术的基本原理是在通话之前,通过用户的呼叫(即拨号),由通信网络各中间节点预先给用户分配传输信道(数据交换通路),如图 1-9 所示,用户  $X_1$  若呼叫  $Y_2$  成功,则从  $X_1$ (主叫端)到  $Y_2$ (被叫端)就建立了一条物理通路(交换资源仅为  $X_1$  到  $Y_2$  预留,其他用户不可用),此后双方才能互相通话。通话完毕挂机后,通信系统自动释放这条物理通路(此时,该通路所占用的交换资源被释放,其他用户可再利用)。电路交换的整个过程必须经过“建立连接(占用通信资源)→通话(一直占用通信资源)→释放连接(归还通信资源)”3 个步骤。经过这 3 个步骤进行的通信,称为电路交换提供了面向连接的服务。电路交换技术的特点:在数据交换前需建立起一条从发端到收端的物理通路;在数据交换的全部时间内用户始终占用端到端的固定传输信道;交换双方可实时进行数据交换且不会存在任何延迟。

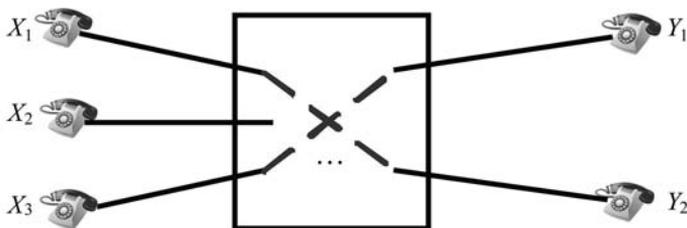


图 1-9 电话交换的基本原理

然而,具有这种交换特点的电路交换技术,在传输计算机之间的数据时,其线路的传输效率却很低。这是因为计算机之间的数据交换往往具有突发性和间歇性特征,对电路交换而言,用户支付的费用则是按用户占用线路的时间来收费的;另外,采用电路交换技术传递计算机数据,灵活性不够,在电路交换中,只要通信双方建立的通路中任何一点出现故障,就必须重新

拨号建立新的连接，这对十分紧急和重要的通信是很不利的。因此，电路交换技术不适用于计算机间的数据交换。在实际的网络通信中，一般不直接采用电路交换技术，而是采用分组交换技术以传输计算机之间的数据。

2) 分组交换的工作原理

分组交换技术的实质就是存储转发技术。假设将欲发送的整块数据称为一个报文(message)，那么基于分组交换的原则，在发送报文之前，应先将较长的报文划分成一个个更小的等长或变长的数据段，如图 1-10 所示。每个数据段为 1 024bit 或 512bit，在每个数据段前面加上一些由必要的控制信息(如该数据段从哪里来到哪里去等)组成的首部(header)后，就构成了一个分组(packet)。分组又称为“包”，分组的首部也可称为“包头”。分组是在互联网中传送的数据单元，分组中的首部非常重要，正是由于首部包含了诸如目的地址(哪里去)和源地址(从哪里来)等重要控制信息，每个分组才能在互联网中独立地选择传输路径。



分组交换的原理

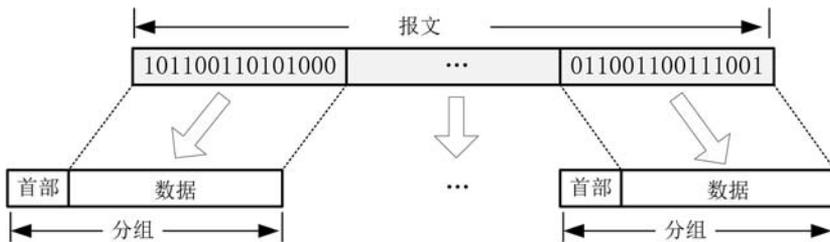


图 1-10 分组的概念

分组交换就是采用存储转发的原则，以分组为单位，在分组交换网中从一个(中间)节点传送到另一个(中间)节点。网络的核心部分主要是由一些路由器互联许多网络组成的，当我们讨论路由器转发分组的过程时，往往用一条链路表示核心部分的网络，如图 1-11 所示。

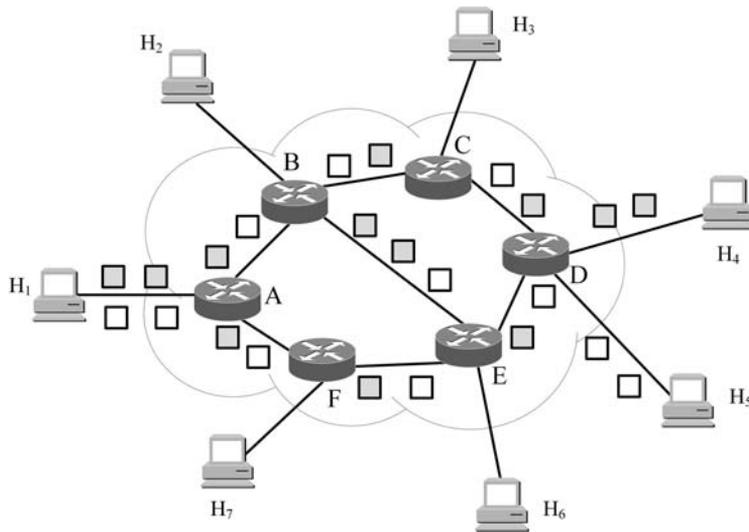


图 1-11 分组交换示意图

## 1.4 计算机网络的性能

影响计算机网络性能的因素有很多,如传输的距离、使用的线路、传输技术、带宽和时延等,其中最主要的两个指标是带宽和时延。

### 1.4.1 计算机网络的性能指标

#### 1. 带宽

一个特定的信号往往是由许多不同的频率成分组成的。因此,一个信号的带宽(bandwidth)是指该信号的各种不同频率成分所占据的频率范围,单位是赫兹(Hz)。例如,在传统的通信线路上传送的电话信号的标准带宽是 3.1 kHz(语音信号的频率范围是 300~3400Hz)。

当通信线路用来传送数字信号时,数据率就应当成为数字信道最重要的指标,数据率(或比特率)是指数字信道传送数字信号的速率,单位是比特每秒,记作 b/s。在计算机网络中,带宽表示网络的通信线路所能传送数据的能力。于是人们愿意将“带宽”作为数字信道所能传送的“最高数据率”的同义语。网络或链路的带宽单位就是“比特每秒”。常用的带宽单位有千比特每秒 Kb/s( $10^3$  b/s)、兆比特每秒 Mb/s( $10^6$  b/s)、吉比特每秒 Gb/s( $10^9$  b/s)、太比特每秒 Tb/s( $10^{12}$  b/s)。例如,我们平时所说的 10M 带宽,即指某数字信道的最高数据率为 10Mb/s。

另外,需要注意的是,在通信领域和计算机领域,计量单位“千”“兆”“吉”等的英文缩写意义不同。在计算机领域, $K=2^{10}$ 、 $M=2^{20}$ 、 $G=2^{30}$ 、 $T=2^{40}$ 。例如, Kb/s 表示每秒传送千比特,一般表示线路速率; KB/s 表示千字节每秒,一般表示下载速率。



带宽

#### 2. 时延

时延(delay)是指数据(一个报文或分组)从网络(或链路)的一端传送到另一端所需要的时间,一般由发送时延、传播时延、处理时延三部分组成。

##### 1) 发送时延

发送时延(transmission delay),又称为传输时延,是主机或路由器发送数据时使数据块从节点进入传送媒体,也就是从数据块的第一个比特开始发送算起,到最后一个比特发送完毕所需要的时间。发送时延的计算公式为



时延

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度(b)}}{\text{信道带宽(b/s)}}$$

信道带宽就是数据在信道上的发送速率,也常称为数据在信道上的传输速率。

由此可见,对于一定的网络,发送时延并非固定不变,而是与发送的数据块的大小成正比,与发送速率成反比。

##### 2) 传播时延

传播时延是电磁波在信道中传播一定的距离需要花费的时间。

传播时延的计算公式为

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

电磁波在不同的传输介质中传播速度不同：在自由空间的传播速度约等于光速，即  $3.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ ；在铜线电缆中的传播速度约为  $2.3 \times 10^5 \text{ km/s}$ ；在光纤中的传播速度约为  $2.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。例如，1 000 km 长的光纤线路产生的传播时延大约为 5ms。

从以上讨论可以看出，信号传输速率和电磁波在信道上的传播速度是两个完全不同的概念，因此，不能将发送时延和传播时延混淆。发送时延发生在机器内部的发送器(如网卡)中，而传播时延则发生在机器外部的传输信道媒体上。下面用一个简单的例子来说明。假定有 10 辆车的车队从公路收费站入口出发到相距 100km 的目的地。若每一辆车过收费站要花费 6s，车速是 100km/h。现在可以计算整个车队从收费站到目的地总共花费的时间：10 辆车经过收费站的时间为 60s(相当于网络中的发送时延)，行车时间需要 60 min(相当于网络中的传播时延)，因此总共花费的时间是 61min。

### 3) 处理时延

处理时延是数据在交换节点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。在节点缓存队列中分组排队所经历的时延是处理时延中的重要组成部分。

因此，数据经历的总时延就是以上 3 种时延之和，计算公式为

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延}$$

图 1-12 描述了 3 种时延所产生的地方。

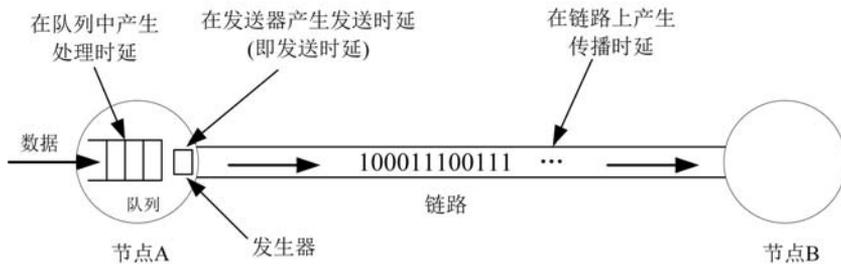


图 1-12 从节点 A 向节点 B 发送数据时 3 种时延产生的地方

一般来说，小时延的网络要优于大时延的网络。在某些情况下，一个低速率、小时延的网络很可能要优于一个高速率、大时延的网络。

另外，在总时延中，发送时延与传播时延是我们主要考虑的，但究竟哪个时延占主导地位，必须具体分析。对于报文长度较大的情况，发送时延是主要矛盾；对于报文长度较小的情况，传播时延是主要矛盾。

### 3. 吞吐量

吞吐量是指单位时间内通过某个网络(或接口)的数据量。吞吐量的大小说明了单位时间内网络的通信量，其值受网络带宽的限制。例如，具有 8 个站的交换式以太网，其带宽为 10Mb/s，则该网络的吞吐量为 80Mb/s。有时，吞吐量也可以用每秒传送的字节数或帧数来表示。



吞吐量

## 1.4.2 计算机网络的非性能指标

除了性能指标外, 还有一些非性能指标也对计算机网络的性能有很大的影响, 下面对其进行详细介绍。

### 1. 费用

网络价格(包括设计和实现的费用)是构建网络必须考虑的问题之一, 因为网络的性能与其价格密切相关。一般来说, 网络的速率越高, 其价格也越高。在实际工程中, 总是选择性价比高的。

### 2. 质量

网络的质量取决于网络中所有构件的质量, 以及这些构件是怎样组成网络的。网络的质量影响很多方面, 如网络的可靠性、网络管理的简易性, 以及网络的性能。但网络的性能与网络的质量并不是一回事。例如, 有些性能不错的网络, 运行一段时间后就出现了故障, 无法再继续工作, 说明其质量不好。高质量的网络往往价格也较高。

### 3. 标准化

网络硬件和软件的设计既可以按照通用的国际标准, 也可以遵循特定的专用网络标准。最好采用国际标准设计, 这样可以得到更好的互操作性, 更易于升级换代和维修, 也更容易得到技术上的支持。

### 4. 可靠性

可靠性与网络质量、性能都有密切的关系。速率高的网络可靠性不一定会很差, 但是速率高的网络要可靠地运行, 往往会更困难, 同时所需的费用也会更高。

### 5. 可扩展性和可升级性

在构建网络时就应当考虑网络今后可能需要扩大规模、提高性能、升级软件版本。网络的性能越高, 其扩展费用往往也越高, 难度也会相应增加。

### 6. 易于管理和维护

网络如果失去良好的管理和维护, 就很难达到和保持所设计的性能。

## 1.5 计算机网络的发展趋势

随着我国经济的高速发展, 社会对互联网应用的需求日趋增长, 互联网的广泛应用对我国信息产业发展产生了重大影响。

我国互联网发展状况数据由中国互联网络信息中心(CNNIC)组织调查、统计和发布。从 1998 年起, 每年的 1 月和 7 月定期发布《中国互联网络发展状况统计报告》, 主要内容包括网民规模、结构特征、接入方式、互联网基础资源和网络应用等方面的情况。

计算机网络技术不断发展深刻地改变着人们的生活, 人们就像离不开水和电一样离不开计算机网络。在计算机网络基础上发展起来的新兴技术“云计算”“物联网”在学术界和产业界

引起了极大的关注,并带来了新的网络应用体验,进一步改变着人们的生活方式和思维模式。互联网对于整体社会的影响已进入新的阶段。

## 1.5.1 云计算

### 1. 云计算的产生

互联网的形成,将全世界的企业和个人连接起来。这种基于互联网沟通和交互的形式在改变人们工作和生活方式的同时,也带来了网络业务需求激增、应用程序层出不穷、信息规模迅猛增长、处理任务复杂多变、存储设备日趋紧张等问题,企业或个人需要不断地升级各种软硬件设施以满足需要。然而,建立一套IT系统不仅需要购买硬件等基础设施,还需要购买软件的使用权,需要有专门的人员进行维护。对于企业来说,计算机等硬件和软件仅是完成工作、提供效率的工具,并非它们真正需要的;对于个人来说,想正常使用计算机需要安装许多软件,而大多数软件都是收费的,这对于经常使用该软件的用户来说,购买软件是非常不划算的。于是,人们设想能否通过租用软件(或硬件)的方式,获得需要的软件(或硬件)服务呢?用户只需要在使用时,付少量“租金”即可“租用”这些服务,这样便能节省许多购买它们的资金,就像人们使用电和水一样。人们每天都要用电,但不是每家都要自备发电机,电可以由电厂集中提供;人们每天都要用自来水,但不是每家都有水井,水可以由自来水厂集中提供。这种模式极大地节约了资源,方便了人们的生活。

云计算(cloud computing)正是在这样的时代背景下应运而生的,最终目标是将计算、服务和应用作为一种公共基础设施提供给公众,使人们能够像使用水、电、煤气和电话那样使用计算机资源。

云计算模式类似于电厂集中供电模式。在云计算模式下,用户的计算机会变得十分简单,不需要太大的内存,甚至不需要硬盘和各种应用软件,仅需通过浏览器给“云”发送指令和接收数据,便可以使用云服务提供商的计算资源、存储空间和各种应用软件来满足自己的需求。这种模式就像是把“显示器”和“主机”的连接线变成了网络,“显示器”放在本地使用者的面前,而“主机”变成云服务提供商的服务器集群,放在远端的某个地方,这个地方的计算机使用者可能也不知道。

在云计算环境下,用户的使用观念也会由“购买产品”向“购买服务”转变。因为他们直接面对的将不再是复杂的硬件和软件,而是最终的服务。用户不需要拥有看得见、摸得着的硬件设施,也不需要为机房支付设备供电、空调制冷、专人维护等费用,并且不需要等待供货周期、项目实施等冗长的时间,只需要把钱汇给云计算服务提供商,就会马上得到需要的服务。

### 2. 云计算的定义

云计算是网格计算(grid computing)、分布式计算(distributed computing)、并行计算(parallel computing)、效用计算(utility computing)、网络存储技术(network storage technologies)、虚拟化(virtualization)、负载均衡(load balance)技术的发展,或者说是这些计算机技术的商业实现,是一种新兴的商业计算模型。

中国网格计算、云计算专家刘鹏给出了定义:云计算将计算任务分布在由大量计算机构成的资源池上,使各种应用系统能够根据需要获取计算力、存储空间和各种软件服务。

云计算中的“云”指的是可以自我维护 and 管理的由大量计算机构成的资源的集合,也可以

理解为提供资源的网络,包括软件资源、存储资源、计算资源等。“云”中的资源在使用者看来是可以无限扩展的,并且可以随时获取、按需使用、随时扩展、按使用付费。通俗地讲,云计算中的“云”就是存在于互联网上的服务器集群上的资源,它包括硬件资源(服务器、存储器、CPU 等)和软件资源(如应用软件、集成开发环境等),本地计算机只需要通过互联网发送一个需求信息,远端就会有成千上万的计算机为其提供需要的资源并将结果返回本地计算机,这样,本地计算机几乎不需要做什么,所有的处理都由云计算提供商所提供的计算机群来完成。

### 3. 云计算的服务类型

按照服务类型分,云计算的主要服务形式有 3 种:软件即服务(software as a service, SaaS)、平台即服务(platform as a service, PaaS)、基础设施即服务(infrastructure as a service, IaaS)。

#### 1) 软件即服务(SaaS)

SaaS 将某些特定的应用软件功能封装成服务。SaaS 服务提供商将应用软件统一部署在自己的服务器上,用户根据需求通过互联网向厂商订购应用服务,服务提供商根据客户所定软件的数量、时间的长短等因素收费,并且通过浏览器向客户提供软件。这种服务模式的优势是,由服务提供商维护和管理软件、提供软件运行的硬件设施,用户只需拥有能够接入互联网的终端,即可随时随地使用软件。这种模式下,客户不再像传统模式下那样花费大量资金用于硬件、软件、维护人员,只需要支出一定的租赁服务费用,通过互联网就可以享受相应的硬件、软件和维护服务,这是网络应用最具效益的营运模式。对于小型企业来说,SaaS 是采用先进技术的最好途径。

#### 2) 平台即服务(PaaS)

PaaS 把开发环境作为一种服务来提供。这是一种分布式平台服务,厂商提供开发环境、服务器平台、硬件资源等服务给客户,用户在其平台基础上定制开发自己的应用程序并通过其服务器和互联网传递给其他客户。PaaS 能够给企业或个人提供研发的中间件平台,同时涵盖应用程序开发、数据库、应用服务器、试验、托管及应用服务等。

#### 3) 基础设施即服务(IaaS)

IaaS 把硬件设备等基础资源封装成服务提供给用户使用。IaaS 将基础资源内存、I/O 设备、存储和计算能力整合成一个虚拟的资源池,为整个业界提供所需要的存储资源和虚拟化服务器等。这是一种托管型硬件方式,用户付费使用厂商的硬件设施。IaaS 的优点是用户只需采购较低成本的硬件,就能按需租用相应计算能力和存储能力的服务,大大降低了用户的硬件开销。

目前,典型的云计算平台有 Google 的云计算平台、IBM 的“蓝云”计算平台,以及 Amazon 的弹性计算云。云计算作为一种全新的互联网应用模式,成为解决高速数据处理、海量信息存储、资源动态扩展、数据安全与实时共享等问题的有效途径,向人们展示了其强大且独具特色的发展优势。但是云计算技术发展也面临着一些问题,如数据隐私问题、安全问题、软件许可证问题、网络传输问题等。

## 1.5.2 物联网

物联网(internet of things, IoT)的概念最早由美国麻省理工学院的 Ashton 教授于 1999 年提出。随着“智慧地球”“感知中国”等概念的出现,物联网这一概念才逐步进入公众视野。各国政府对物联网产业的关注和支持力度已经提升到国家战略层面,现在业界一致认为物联网将

成为继计算机和互联网之后信息技术的第三次浪潮。无论在国际上还是在国内，物联网引起了技术、产业、资本等方面的高度重视，是经济发展的新的增长点。

根据国际电信联盟(ITU)的定义，物联网是指通过二维码识读设备、射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统和激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网基础上延伸和扩展的网络，实现了人与人、人与物、物与物之间的交流。

物联网主要包括 3 个层次：第一个层次是传感器网络，包括 RFID、条形码、传感器等设备，主要用于信息的识别和采集；第二个层次是信息传输网络，主要用于远距离无缝传输来自传感网所采集的大量数据信息；第三个层次是信息应用网络，主要通过数据处理及解决方案满足人们所需的信息服务。

物联网把感应器嵌入、装备到各种物体中，将其与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合，在该整合网络中，存在能力超级强大的中心计算机群，它能够对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制，在此基础上，人类可以通过更加精细和动态的方式管理生产和生活，达到智能状态，提高资源利用率和生产力水平，改善人与自然间的关系。

物联网和其他的服务一样都具有一定的服务形式和特点。物联网主要有 3 种服务模式：智能标签、环境监控与智能追踪、智能控制。

#### 1) 智能标签

每一个事物都有一个自己的标签，人们可以通过设备的近距离无线通信(near field communication, NFC)等功能对事物进行智能识别或感知。例如，具有 NFC 功能的手机可以识别公交卡内的数据信息，而且通过 NFC 功能也可以将公交卡的数据信息写入手机中，乘客乘车时只需要用手机进行刷卡就可完成支付。现在很多移动支付功能都是利用物联网中的智能标签来识别用户的不同身份，并且可以使用户进行支付与消费等动作。

#### 2) 环境监控与智能追踪

利用多种类型的传感器可以对周边环境与事物进行监控，同时可以做出分析和判断。例如，在气象领域，通过广泛分布的探测器，对周围的气象数据进行收集并通过网络将数据传递到数据中心进行汇总计算，最终可以得出一张完整的地区气象数据图。

#### 3) 智能控制

智能控制基于云计算平台与智能网络。它通过对传感器所收集的数据进行分析做出判断，改变对象的行为动作。例如，无人驾驶汽车通过车上的传感器收集周围车辆和行人的运动轨迹，再通过计算机处理信息后判断汽车应该如何行驶(车辆直行、转向或是遵守当地的交通法规行驶)。

物联网将现实世界数字化和网络化，其用途广泛，发展前景广阔，涉及智能交通、环境保护、政府工作、公共安全、平安家居、工业监控等众多领域，极大地改变了人们的生活方式。例如，在医疗辅助系统中，让患者身穿带有 RFID 装置和传感器的衣物，可以将患者的心跳速率等与健康有关的信息上传网络，医生获得这些信息后，可以通过各种先进医疗设备进行远程即时诊断，并安排护士帮助患者治疗。又如，在提醒系统中，利用物联网可以极大地改善人们的生活质量和方式。在雨伞上加上一个小型装置，就可以知道是否下雨，如果下雨或即将下雨，则在用户出门

时,自动提醒带伞出门。智能家居是物联网的典型应用,你可以在千里之外随时了解家中的状况;当你即将到家时,家里的热水器、空调、车库就已经开始准备迎接你了;当你进入超市,手机就会收到冰箱中还有哪些食物的提醒,并依照你的生活习惯提供需要购买的食物清单。

物联网与云计算是天生的一对。云计算的基本形态就是将数据计算从本地转移到服务器端,本地只是进行数据的传输与执行,而大量复制的计算过程则是放到服务器端利用服务器的计算功能来完成。这与物联网的整体理念是完全相符的,也就是说,当物联网真正兴起的时候,与云计算相关的服务和技术必然已经成熟,也许会发展得更好。

## 习题

### 一、选择题

- 在计算机网络发展过程中,对计算机网络的形成与发展影响最大的是( )。
  - DATAPAC
  - OCTOPUS
  - ARPANET
  - Newhall
- ( )用于将有限范围(如一个实验室、一栋大楼、一所学校)中的各种计算机、终端与外部设备互联起来。
  - 广域网
  - 接入网
  - 城域网
  - 局域网
- 将计算机网络划分成局域网、广域网和城域网的依据是( )。
  - 网络使用者
  - 网络技术
  - 网络的覆盖范围
  - 网络软件
- 目前,传统局域网的带宽可以达到 10 M,表示( )。
  - 数据传输速率可达 10 MB/s
  - 数据传输速率可达 10 Mb/s
  - 数据传输速率至少为 10 Mb/s
  - 数据传播速率可达 10 Mb/s
- 下列关于 C/S 方式的描述中不正确的是( )。
  - 客户是服务的请求方,服务器是服务的提供方
  - 客户和服务器实质是指计算机进程
  - 不区分哪一个是服务请求方哪一个是服务提供方
  - 客户程序必须知道服务器程序的地址,服务器程序不需要知道客户程序的地址
- ( )的作用范围通常为几十千米到几千千米,因此也称为远程网。
  - 广域网
  - 城域网
  - 局域网
  - 接入网
- ( )表示在单位时间内从网络中的某一点到另一点所能通过的“最高数据率”。
  - 时延
  - 带宽
  - RTT
  - 传播时延
- 下列关于 P2P 工作模式的描述中正确的是( )。
  - 常用的电子邮件服务就是基于该模式工作的
  - 互联网核心部分的主要工作方式
  - 客户/服务器方式,指两台主机在通信时一定有一方是服务请求方,一方是服务提供方
  - 对等连接方式,指两台主机在通信时并不区分哪台是服务请求方哪台是服务提供方

9. IEEE 802.3u 的标准速率为 100 Mb/s, 那么发送 1bit 数据需要用( )。
- A.  $10^{-8}$ s                      B.  $10^{-6}$ s                      C.  $10^{-7}$ s                      D.  $10^{-5}$ s
10. 下列关于互联网边缘部分的描述中不正确的是( )。
- A. 端系统中运行的程序之间的通信方式通常可以划分为两大类: 客户/服务器方式和对等连接方式
- B. 在 C/S 方式中, 客户是服务的请求方, 服务器是服务的提供方
- C. 在 P2P 方式中, 区分哪一个是服务请求方哪一个是服务提供方
- D. B/S 方式是 C/S 方式的一种特例

## 二、填空题

- 从逻辑上看, 计算机网络可以分成\_\_\_\_\_子网、\_\_\_\_\_子网两部分。
- 从覆盖范围上看, 计算机网络常可以分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和接入网。
- 关于计算机网络的性能指标, \_\_\_\_\_是指数据从网络的一端传送到另一端所需的时间。
- 互联网的核心部分采用\_\_\_\_\_技术传输数据。
- 计算机网络的主要功能是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 在互联网边缘部分的端系统中运行的程序之间的通信方式可以分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大类。

## 三、问答题

- 计算机网络的发展可以分为哪几个阶段? 每个阶段有什么特点?
- 从资源共享的观点出发, 计算机网络有哪些特征?
- 互联网由哪两大部分组成? 它们的工作方式各有什么特点?
- 在某网络中, 传输 1bit 二进制信号的时间为 0.01 ms, 那么该通信信道的带宽是多少?
- 简述计算机网络未来的发展趋势。