

高等院校信息技术规划教材

计算机网络技术及应用 (第2版)

沈鑫剡 等 编著



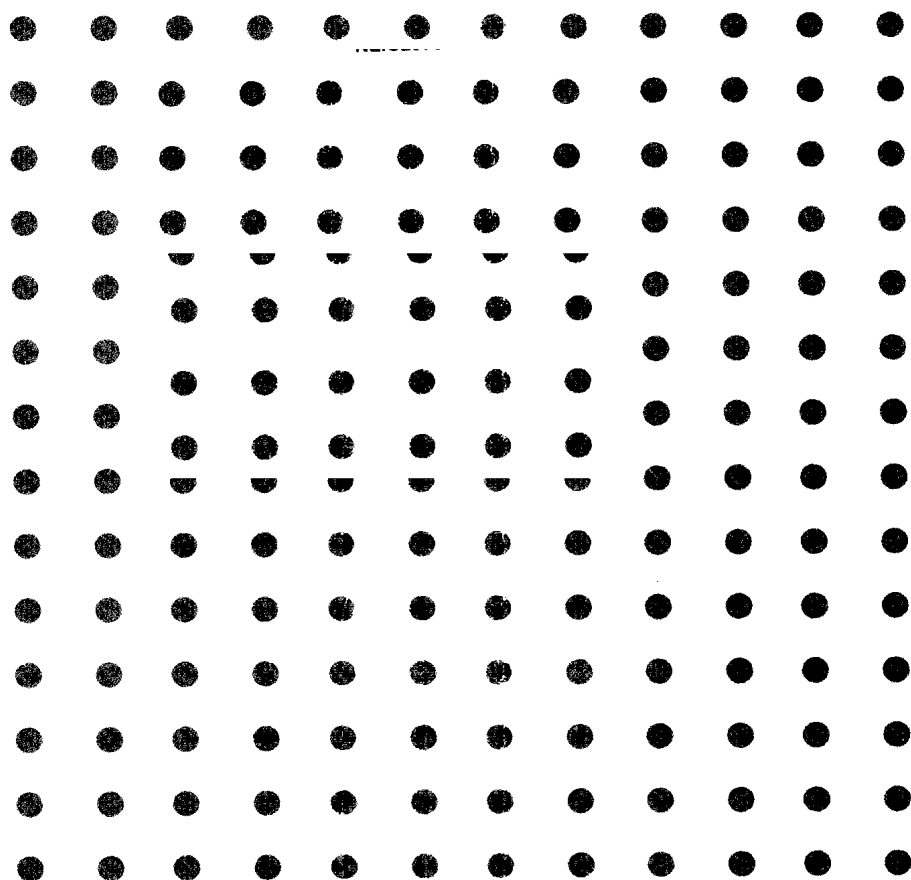
清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

计算机网络技术及应用

(第2版)

沈鑫剡 俞海英 伍红兵 胡勇强 魏涛 龙瑞 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书编写的目的—是为非计算机专业学生提供完整、系统的计算机网络知识,二是培养读者的实际应用技能。本书深入浅出地讨论了以太网、无线局域网、广域网、Internet 接入技术、网络安全、网络操作系统和服务器配置及 Internet 常见应用等方面内容。与其他针对非计算机专业学生的网络教材不同,本书不是简单罗列一大堆有关网络的概念,而是在实际的网络环境下讨论交换式以太网、无线局域网、PSTN、SDH 和 ATM 的工作机制及相关协议,讨论交换机、路由器的工作机制及在网络中的作用,讨论数据加密机制和防火墙、入侵防御系统对网络安全所起的作用,讨论应用层协议的操作原理及服务器配置。

本书内容组织严谨,叙述方法新颖,适合作为理工类非计算机专业学生的教材,也可作为应用型计算机专业学生的教材,对从事校园网设计和 Internet 接入的工程技术人员也是一本非常好的参考书。

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。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络技术及应用/沈鑫剡等编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2010.7
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-22101-2

I. ①计… II. ①沈… 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(2010)第 029696 号

责任编辑:袁勤勇 顾 冰

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:23.75

字 数:545 千字

版 次:2010 年 7 月第 2 版

印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00 元

产品编号:035890-01

前言

foreword

从 20 世纪 90 年代开始,计算机网络获得了飞速发展,学会使用网络已成为人们的现实需求,因此,计算机网络课程不再只是计算机专业的重要课程,已经成为非计算机专业的重要公共课程。目前已有的面向非计算机专业本科学生的计算机网络教材,更多在于让学生了解计算机网络的一些概念和技术,不能为学生提供完整、系统的网络知识。计算机网络是一个复杂的系统,网络中端到端的数据传输过程是各种协议、各种网络技术相互作用的结果,因此,只有在实际的网络环境下讨论各种协议的工作流程、各种网络技术的工作机制及它们之间的相互作用过程,才能提供完整、系统的网络知识。本书的最大特点是在讲述每一种网络技术前,先构建一个网络环境,在该网络环境下详细讨论网络技术的工作机制、相关协议的工作流程及相互作用过程,所提供的网络环境和实际网络十分相似,从而较好地解决了教学内容和实际应用的衔接问题。

由于面向非计算机专业的学生,本书以本科“计算机基础”课程的内容为基础讨论计算机网络知识。考虑到第一次接触网络知识的学生可能无法理解有关网络的概念、技术及工作机制,引用了许多生活中的例子。本书着力培养学生五个方面的能力:用无线局域网、交换式以太网技术设计类似校园网这样的互连网络的能力;用 ADSL 或以太网解决 Internet 接入的能力;用路由器的分组过滤功能或防火墙解决一般的网络安全问题的能力;完成应用服务器配置的能力;使用 Internet 常用的应用工具的能力。

第 2 版主要作了以下改动:一是对内容结构作了较大幅度的调整,使其更加适合非计算机专业学生;二是考虑到非电类专业学生的基础和无线局域网的日益普及,增加了数据通信基础和无线局域网这两章;三是充实了每一章的习题,并在附录中给出了部分习题答案。

全书共 12 章,内容安排如下:第 1 章介绍导致计算机网络飞速发展的因素和分层网络体系结构的必要性,通过例子介绍电路交换和分组交换的异同和各自的适用范围;第 2 章介绍有关数据通信的

基本概念,着重讨论实现数据通信的一些基本方法和基本技术;第3章介绍以太网从共享式到交换式、从10Mbps传输速率到10Gbps传输速率的发展过程,VLAN划分和交换式以太网的设计过程;第4章介绍无线电通信的基本原理、无线局域网结构、无线局域网和以太网互连机制;第5章介绍作为目前主流广域网技术的PSTN、SDH和ATM的工作机制;第6章介绍路由的概念和路由器转发分组的机制,通过实例详细讨论路由协议RIP生成路由表的过程、三层交换机和IP over Ethernet的实现机制;第7章介绍三种目前最流行的Internet接入技术的实现机制,通过实例详细介绍通过PSTN、ADSL和以太网接入Internet的过程;第8章介绍UDP和TCP的工作机制及各自的适用范围;第9章介绍应用层协议DNS、DHCP、HTTP、SMTP、POP3、FTP的工作原理及对应的应用服务器配置过程;第10章介绍加密、解密算法的工作原理,以太网安全机制,利用路由器分组过滤功能和防火墙解决网络安全问题的机制和过程;第11章介绍常见的Internet应用工具和利用这些工具访问Internet资源的操作过程;第12章介绍网络设计原则和方法,并通过两个实例介绍校园网和Internet接入网的详细设计过程。

本书由解放军理工大学工程兵工程学院计算机应用教研室的沈鑫剡、俞海英、伍红兵、胡勇强、魏涛、龙瑞共同编写,由沈鑫剡定稿。在本书编写过程中教研室同事谭明金、邵发明、李兴德提出了许多很好的建议,牟钧完成了全书的录入工作,其他同事也给予了很多帮助和鼓励,在此向他们表示衷心的感谢。

作为一本无论在内容组织、叙述方法还是教学目标都和传统计算机网络教材有一定区别的新教材,本书的错误和不足之处在所难免,殷切希望使用本书的老师和学生批评指正。

作者

2010年3月

目录

Contents

第 1 章 概述	1
1.1 网络概述	1
1.1.1 互连网结构	1
1.1.2 基本术语	2
1.2 网络发展过程	4
1.2.1 从 ARPA 网络到 Internet	4
1.2.2 从低速网络到高速网络	6
1.2.3 从数据网络到统一网络	8
1.3 计算机网络的定义和分类	10
1.3.1 计算机网络的定义	10
1.3.2 计算机网络的分类	11
1.4 计算机网络协议和体系结构	20
1.4.1 网络分层的必要性	20
1.4.2 OSI 体系结构	24
1.4.3 TCP/IP 体系结构	26
1.4.4 OSI 和 TCP/IP 体系结构比较	26
1.4.5 TCP/IP 体系结构数据封装过程	28
习题	28
第 2 章 数据通信基础	30
2.1 数据通信基本知识	30
2.1.1 通信方式	30
2.1.2 数字通信和模拟通信	31
2.2 传输媒体	32
2.2.1 同轴电缆	33
2.2.2 双绞线	33
2.2.3 光纤	34



2.3	信号调制技术	36
2.3.1	振幅键控调制技术	38
2.3.2	移频键控调制技术	38
2.3.3	移相键控调制技术	39
2.3.4	正交幅度调制技术	39
2.4	差错控制技术	41
2.4.1	检错码和数据检错	41
2.4.2	停止等待算法	44
2.4.3	连续 ARQ	47
习题	.....	48
第3章	以太网	50
3.1	局域网拓扑结构	50
3.1.1	总线形拓扑结构	50
3.1.2	星形拓扑结构	50
3.1.3	环形拓扑结构	51
3.1.4	树形拓扑结构	51
3.1.5	网状形拓扑结构	51
3.2	以太网体系结构	52
3.3	总线形以太网	53
3.3.1	基带传输与曼彻斯特编码	53
3.3.2	MAC 帧结构	55
3.3.3	CSMA/CD 操作过程	58
3.3.4	冲突域直径和最短帧长	61
3.3.5	集线器和星形以太网结构	64
3.4	网桥与冲突域分割	65
3.4.1	网桥分割冲突域原理	65
3.4.2	网桥根据转发表转发 MAC 帧	67
3.4.3	网桥工作流程	67
3.4.4	网桥无限扩展以太网	68
3.4.5	全双工通信扩展无中继传输距离	69
3.4.6	网桥工作过程举例	69
3.5	以太网交换机与交换式以太网	72
3.5.1	VLAN 与广播域分割	72
3.5.2	802.1Q 与 VLAN 内数据传输	77
3.5.3	端口确定 MAC 帧所属 VLAN 规则	78
3.5.4	VLAN 配置举例	79
3.6	以太网标准	83

3.6.1	10Mbps 以太网标准	83
3.6.2	100Mbps 以太网标准	83
3.6.3	1Gbps 以太网标准	84
3.6.4	10Gbps 以太网标准	85
习题	.....	85
第 4 章	无线局域网	89
4.1	无线局域网概述	89
4.1.1	无线局域网体系结构	89
4.1.2	无线电传输	90
4.1.3	无线局域网拓扑结构	92
4.1.4	无线局域网标准	94
4.2	无线局域网 MAC 层	95
4.2.1	MAC 帧结构	95
4.2.2	差错控制和寻址过程	96
4.2.3	DCF 和 CSMA/CA	98
4.3	无线局域网工作过程	104
4.3.1	BSS 配置信息	104
4.3.2	同步过程	105
4.3.3	鉴别过程	106
4.3.4	建立关联过程	106
4.4	无线局域网数据传输过程	107
4.4.1	同一 BSS 内的终端之间数据传输过程	107
4.4.2	不同 BSS 的终端之间数据传输过程	108
4.4.3	MAC 层漫游过程	110
习题	.....	112
第 5 章	广域网	114
5.1	公共交换电话网	114
5.1.1	PSTN 结构	114
5.1.2	呼叫连接建立过程	115
5.1.3	PCM 和时分复用	116
5.1.4	转接表和时隙交换	119
5.2	SDH	121
5.2.1	E 系列链路和 SDH	121
5.2.2	SDH 帧结构	123
5.2.3	SDH 复用结构	125



5.3	ATM	127
5.3.1	引出 ATM 的原因	127
5.3.2	虚电路和信元交换	129
5.3.3	宽带综合业务数字网的设想	130
习题	.....	131
第 6 章	IP 和网络互连	133
6.1	网络互连	133
6.1.1	网络互连需要解决的问题	133
6.1.2	信件投递过程的启示	134
6.1.3	端到端传输思路	135
6.1.4	IP 实现网络互连机制	136
6.1.5	路由器结构	137
6.2	网际协议	138
6.2.1	IP 地址分类	138
6.2.2	IP 地址分层分类的原因和缺陷	140
6.2.3	无分类编址	144
6.2.4	IP 分组格式	149
6.3	路由协议建立路由表过程	153
6.3.1	IP 分组传输过程	153
6.3.2	配置静态路由表	155
6.3.3	路由协议分类	156
6.3.4	RIP 建立路由表过程	157
6.4	IP over 以太网	166
6.4.1	ARP 和地址解析过程	166
6.4.2	三层交换	168
6.5	Internet 控制报文协议	173
习题	.....	175
第 7 章	Internet 接入技术	180
7.1	接入网络概述	180
7.1.1	接入网络一般结构	180
7.1.2	点对点协议	182
7.2	拨号接入技术	185
7.2.1	拨号接入网络结构	185
7.2.2	Modem 和呼叫连接建立过程	186
7.2.3	成功接入后的接入网络配置	187

7.2.4	用户终端访问 Internet 过程	187
7.2.5	远程用户接入设备的作用	188
7.2.6	Windows 建立和启动拨号连接过程	189
7.3	ADSL 接入技术	192
7.3.1	接入网络结构	192
7.3.2	ADSL 调制技术	192
7.3.3	PPPoE	194
7.3.4	ADSL 路由器网桥工作方式	197
7.3.5	ADSL 路由器路由器工作方式	199
7.3.6	ADSL 路由器作为桥设备和路由设备使用的不同之处	201
7.4	以太网接入技术	202
7.4.1	接入网络结构	202
7.4.2	PPP 接入控制机制	202
7.4.3	DHCP+Web 接入控制机制	204
7.5	VPN 接入技术	205
7.5.1	VPN 接入网络结构	205
7.5.2	实现机制	206
7.5.3	Windows 建立和启动 VPN 连接过程	208
习题	.....	209
第 8 章	传输层	212
8.1	传输层端口的概念	213
8.2	用户数据报协议	214
8.2.1	UDP 报文格式	214
8.2.2	UDP 用途	214
8.3	传输控制协议	215
8.3.1	TCP 的主要特点	215
8.3.2	TCP 报文格式	216
8.3.3	TCP 差错控制机制	218
8.3.4	TCP 拥塞控制机制	221
8.3.5	TCP 建立连接和释放连接的过程	225
习题	.....	226
第 9 章	网络应用系统配置	229
9.1	客户/服务器结构	229
9.2	域名系统	230
9.2.1	域名结构	231



9.2.2	域名解析过程	232
9.2.3	客户端和服务端配置	235
9.3	动态主机配置协议	239
9.3.1	DHCP 工作机制	239
9.3.2	客户端和服务端配置	243
9.4	HTTP 和 WWW	244
9.4.1	统一资源定位器	245
9.4.2	HTTP	245
9.4.3	HTML	247
9.4.4	服务器配置	248
9.5	电子邮件	251
9.5.1	电子邮件传输过程	251
9.5.2	电子邮件信息格式	253
9.5.3	客户端和服务端配置	255
9.6	文件传输协议	258
9.6.1	FTP 工作原理	258
9.6.2	服务器配置	259
	习题	260
第 10 章	网络安全	262
10.1	网络安全概述	262
10.1.1	网络安全目标	262
10.1.2	网络威胁类型	263
10.2	网络安全基础	267
10.2.1	加密技术	267
10.2.2	报文摘要技术	268
10.2.3	数字签名技术	269
10.3	以太网接入控制技术	271
10.3.1	访问控制列表	271
10.3.2	安全端口	272
10.3.3	802.1X 接入控制过程	272
10.4	防火墙	273
10.4.1	无状态分组过滤器	274
10.4.2	有状态分组过滤器	276
10.5	入侵防御系统	279
10.5.1	入侵防御系统的分类	279
10.5.2	入侵防御系统的工作过程	281
10.5.3	入侵防御系统的不足	284

10.5.4	入侵防御系统的发展趋势	285
10.6	无线局域网安全机制	286
10.6.1	WEP 加密机制	286
10.6.2	WEP 帧结构	287
10.6.3	WEP 鉴别机制	288
10.7	应用层安全协议	288
10.7.1	安全插口层	288
10.7.2	电子邮件安全协议	290
习题	.....	290
第 11 章	Internet 应用	292
11.1	FTP 下载工具	292
11.1.1	FlashGet 的界面	292
11.1.2	添加下载任务	293
11.2	P2P 技术与工具	296
11.2.1	P2P 技术简介	296
11.2.2	eMule	298
11.2.3	PPLive	300
11.3	搜索引擎	303
11.3.1	搜索引擎技术简介	303
11.3.2	Google 的基本使用方法	305
11.3.3	Google 的基本搜索功能	308
11.3.4	Google 的高级功能	310
11.4	在线交流工具	312
11.4.1	MSN Messenger 的安装与启动	312
11.4.2	MSN Messenger 登录	312
11.4.3	添加好友	313
11.4.4	与好友聊天	313
11.5	Blog	315
11.5.1	注册 Blog 空间	316
11.5.2	管理 Blog 空间	316
11.5.3	发表文章	317
11.5.4	展示照片	317
习题	.....	319
第 12 章	网络工程	320
12.1	网络规划和设计	320



12.1.1	计算机网络的设计原则	320
12.1.2	网络分层结构	321
12.2	典型网络设备介绍	322
12.2.1	华为网络设备	322
12.2.2	Cisco 网络设备	323
12.3	网络设计实例	325
12.3.1	局域网接入 Internet 的设计实例	325
12.3.2	校园网设计实例	327
习题	.....	339
附录 A	部分习题答案	341
附录 B	英文缩写词	360
参考文献	.....	363

概 述

1.1 网络概述

1.1.1 互连网结构

图 1.1 是常见的互连网结构,企业中的 PC 和服务器用两端带水晶头的双绞线接入集线器或交换机,接入集线器或交换机的 PC 和服务器互连在一起,构成一个以太网,整个以太网接入 Internet。家庭中的 PC 通过串行口连接线连接 Modem(调制解调器),Modem 通过用户线连接公共交换电话网(Public Switched Telephone Network,PSTN),PSTN 和 Internet 相连。在图 1.1 中,以太网中的 PC 和服务器之间能够相互通信,连接 PSTN 的 PC 之间也能相互通信,以太网和 PSTN 本身就是一个用于实现 PC 之间通信的传输网络,Internet 又把无数个以太网和 PSTN 这样的传输网络互连在一起。因此,目前的现状是传输网络连接 PC 和服务器,Internet 互连传输网络。事实上,Internet 本身是一个由无数个传输网络互连而成的网际网。互连网由两部分组成,一是连接在网络上的 PC、服务器等主机系统;二是实现主机系统之间通信的通信系统。通信系统由传输网络和互连传输网络的设备组成,用于互连不同类型传输网络的设备称为路由器。每一个传输网络可能又由线路和连接设备组成,如一个简单的以太网可能由集线器和用于实现集线器和 PC 之间连接的双绞线缆组成。数据传输过程中,主机系统或是数据的发送端,或是数据的接收端,属于末端设备,因此也将连接在网络上的主机系统称为网络终端。网络终端及路由器、集线器这样的连接设备统称为结点,有时为了区分,将网络终端称为终端结点,将连接设备称为转发结点。

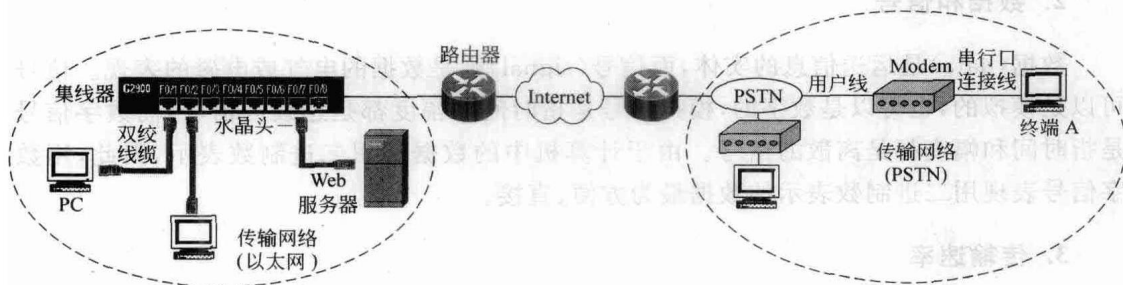


图 1.1 互连网结构

严格地讲,网络指某种特定类型的传输网络,如以太网,互连网指图 1.1 所示的由多种不同类型传输网络互连而成的网际网,但在不需要严格区分网络和互连网的情况下,网络泛指传输网络和互连网。

网络上的许多应用系统,如用于实现让用户用某个主机系统中的浏览器软件访问另一个主机系统上的 Web 页面的万维网系统,往往是一个主机系统中的应用进程提出访问请求,另一个主机系统中的应用进程提供访问结果,当在浏览器软件地址栏中输入 `http://www.tsinghua.edu.cn` 时,由域名为 `www.tsinghua.edu.cn` 的主机系统中的 Web 服务器提供默认 Web 页面,对于这种应用系统,提出服务请求的浏览器称为客户,提供服务的 Web 服务器进程称为服务器,运行 Web 服务器的主机系统也称为服务器,有时为了区分,将后者称为服务器平台。

网络的作用就是实现两个不同主机系统上的进程之间通信,而且,这两个主机可以连接在不同类型的传输网络上,如图 1.1 中,终端 A 运行的浏览器和 Web 服务器运行的服务器软件之间的通信。因此,网络需要解决的问题一是实现连接在不同传输网络上的终端之间的通信,二是在此基础上实现运行在不同主机系统上的应用进程之间通信,三是在实现应用进程之间通信的基础上,构建网络应用系统,如万维网系统。

1.1.2 基本术语

1. 物理线路、物理链路、逻辑链路和链路

物理线路指实际接触到的线缆,如双绞线电缆、光纤等。物理链路指实现信号传输的信道。由于存在复用技术,一条物理线路可能包含多条物理链路,这些物理链路和物理线路的关系是固定的。逻辑链路指在物理链路基础上增加了类似检错、流量控制和可靠传输等功能后的数据传输路径(或数据传输通路)。通俗一些讲,物理线路好像高速公路,物理链路是高速公路中的一个特定车道,逻辑链路指增加了类似检修、加油等服务后的汽车行驶路线。在互连网结构下,链路指两个端点之间不包含路由器的传输路径。由于通常情况下,不同传输网络之间用路由器实现互连,因此,链路通常是同一传输网络上两个端点之间的传输路径,不同的传输网络,对应着不同的链路类型,但也存在由网桥实现不同传输网络之间互连的情况,这种情况下,链路可能由多段属于不同传输网络的传输路径组成,由网桥实现这些传输路径的交接。

2. 数据和信号

数据(data)是运送信息的实体,而信号(signal)则是数据的电气或电磁的表现。信号可以是模拟的,也可以是数字的,模拟信号是指时间和幅度都是连续的信号,而数字信号是指时间和幅度都是离散的信号。由于计算机中的数据都用二进制数表示,因此,用数字信号表现用二进制数表示的数据最为方便、直接。

3. 传输速率

传输速率是指终端单位时间内经过连接的线路发送或接收的二进制位数,单位为比

特每秒,缩写为 bps、bit/s 或 b/s,有时也称为比特率。当传输速率较高时,采用的传输速率单位有 kbps(kb/s)、Mbps(Mb/s)、Gbps(Gb/s)和 Tbps(Tb/s)。1kbps = 10^3 bps, 1Mbps = 10^6 bps, 1Gbps = 10^9 bps, 1Tbps = 10^{12} bps,这和计算机表示内存容量的单位不同,计算机表示内存容量的单位 K、M、G、T 分别等于 2^{10} 、 2^{20} 、 2^{30} 、 2^{40} 。

4. 带宽

带宽(bandwidth)本来指线路上允许通过的信号频段宽度,单位为 Hz。如某条线路允许通过的频段为 20Hz~3220Hz,则该线路的带宽等于 3200Hz。由于目前广泛采用数字信号传送方式,而传送数字信号的线路用单位为 bps 的传输速率作为其性能指标,因此,对于传送数字信号的线路,带宽等同于传输速率。

5. 时延

时延指图 1.2 中终端 A 发送一组长度为 M 字节的数据给终端 B 所需要的时间,即从终端 A 发送第一位数据,到终端 B 接收最后一位数据的时间间隔。图 1.2 表明直接用长度为 L 的线路互连终端 A 和终端 B。

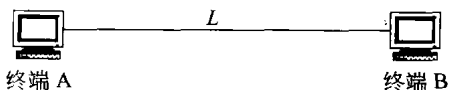


图 1.2 直接相连方式

针对图 1.2 所示的连接方式,时延由两部分组成,一是终端 A 发送数据所需的发送时延,二是表示数据的电信号从线路一端传播到线路另一端所需的传播时延。

发送时延取决于终端 A 的传输速率和数据的长度,在数据长度为 M 字节的假定下,如果终端 A 的传输速率为 Xbps,得出发送时延 = $(M \times 8)/X$,单位为秒。

传播时延取决于电信号的传播速度和线路长度,电信号传播速度和线路类型有关,对于普通电缆(包括双绞线和同轴电缆),传播速度是 $(2/3)c$, c 是光速。在线路长度为 L 的假定下,得出传播时延 = $(3L)/(2c)$ 。由此得出总的时延 = $(M \times 8)/X + (3L)/(2c)$,从中可以看出,在假定条件不变的情况下,时延是确定的。

信号传播速度虽然和传输媒体有关,但差别不大,如光信号在光纤中的传播速度和电信号在电缆中的传播速度大致相当,因此,在以后的分析中基本假定信号传播速度为常量,等于 $(2/3)c$,这就确定传播时延只和物理链路的长度有关,和信号类型、传输媒体类型无关,这意味着不同传输速率的物理链路有着相同的传播速度。

如果终端 A 和终端 B 之间连接方式如图 1.3 所示,终端 A 发送给终端 B 的数据需要经过终端 C 转发,即先由终端 C 通过连接终端 A 的线路完整接收长度为 M 的数据,然后,找到连接终端 B 的线路,把数据发送给终端 B。将终端 C 从通过连接终端 A 的线路接收最后一位数据到终端 C 通过连接终端 B 的线路发送第一位数据的时间间隔称为处理时延,在其他假定不变的情况下,终端 A 发送数据给终端 B 的总时延 = $2 \times [(M \times 8)/X + (3L)/(2c)] + \text{处理时延}$ 。

6. 比特时间、比特长度和时延带宽积

比特时间是单个比特的时间宽度,它是发送速率的倒数,如果发送速率为 10Mbps,



图 1.3 中继方式

即比特时间为 100ns , 表示单个比特的时间宽度为 100ns 。假定电信号经过线路的传播速度是 v , 则单个比特占用线路的长度 $= v \times \text{比特时间}$ 。以此可以计算出长度为 L 的线路允许同时容纳的比特数 $= L / (v \times \text{比特时间})$, 实际上它是线路的传播时延乘以终端的发送速率, 这个乘积被称为时延带宽积。因此, 可用时延带宽积来表示这些传输中的二进制位数, 即比特数。对于图 1.3 所示的连接方式, 将端到端传输时延乘以终端的发送速率作为时延带宽积, 端到端传输时延是数据从源终端传输到目的终端所需要的时间, 等于时延减去发送时延。时延带宽积相当于端到端传输管道的容量, 当发送端发送的数据能够填满该传输管道时, 传输管道的效率最大。

7. 吞吐率

发送端持续以发送速率发送数据时, 传输管道的效率最大, 为 100% , 吞吐率等于某段时间内发送端实际发送的数据量除以发送端能够发送的数据量, 发送端能够发送的数据量等于时间段 T 乘以发送端发送速率。

1.2 网络发展过程

1.2.1 从 ARPA 网络到 Internet

网络已经深刻地影响着人们的生活、工作方式, 但网络为什么能够在短短几年如此迅速地发展起来, 并占据如此重要的位置?

人们或许更熟悉电视事业, 可以通过比较电视事业的发展来更好地了解网络的发展过程。

电视事业的发展取决于以下三个因素: 电视机制造工业; 电视信号传播设备; 电视节目制作、播放单位。

随着电子技术的飞速发展, 电视机的生产成本急剧下降, 而各种技术指标却迅速提升, 使得电视机走进千家万户不仅成为可能, 而且使各种类型的优质电视机走进了千家万户。回顾一下 20 世纪 70 年代初, 当电视机还是稀罕物时, 能想象有今天这样繁荣的电视事业吗?

年龄大的读者或许还有这样的记忆, 为了得到较好的画面质量, 不得不架设很高的天线, 并不时加以调整。如果没有卫星和有线电视这样的传播设备的出现和普及, 接收如此多画面清晰的频道根本是不可想象的事情。

当然, 光有价廉物美的电视机和良好的电视信号还不够, 还必须要有丰富多彩的电视节目, 也就是必须有大量能够制作、播放优秀电视节目的单位, 这样才能让人们有购买电