

高等院校教材

Digital Communication

数字通信

李树广 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



Digital Communication

数 字 通 信

李树广 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书分为 12 章, 主要介绍了有线通信、无线通信、移动通信、GSM 通信系统的优化、卫星通信原理、由卫星测量与卫星通信系统构成的 GPS 定位与导航技术等。本书的每一章都适当增加了专业理论与技术知识的深度, 以适应从事本专业的工程技术人员及研究人员的需要。

本书可作为电子信息通信、计算机科学、自动控制工程等专业的研究生、本专业领域工程技术人员及科研人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字通信/李树广编著. -北京: 机械工业出版社, 2006.1

ISBN 7-111-17977-3

I. 数… II. 李… III. 数字通信 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 140084 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吴宏伟 责任编辑: 张晓娟 版式设计: 赵丽娜

三河市宏达印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm/16·26.25 印张·647 千字

0001-5000 册

定价: 34.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话: (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

计算机与通信网络结合构成了计算机通信网络系统。这种相互连接的计算机信息网络，把距离和时间缩小到零，大大降低了人们物理位置靠近的必要，把整个社会结构紧密结合在了一起，这将改变人们的生活、学习和工作方式。如今，计算机通信网络已遍布全球，对人类社会的发展产生了深远的影响。人们在面临计算机网络技术迅速发展的同时，也面临着网络建设发展的挑战。如何掌握计算机通信网络知识，根据自身的需要规划设计网络系统，如何开发网络上的应用系统，使其充分发挥网络系统的作用，取得应有的社会效益，成为摆在信息与计算机科学技术与研究人员在网络建设中迫切需要解决的课题。

本课程是信息通信与计算机科学、控制工程学科的重要前沿课程之一。作者多年来在国内外从事本学科的研究与教学，结合在实际工作中遇到的问题和解决的经验，在本课程教学讲义的基础上，参考了国内外多部著作和文献，著成《数字通信》与《计算机网络系统》两本书，作为本学科的教学和本研究领域科技人员的参考书。两本书的目的是使本领域的科研技术人员，全面理解数字通信与计算机网络系统的基本概念，掌握有线通信、无线通信、移动通信与卫星数字通信、计算机网络系统拓扑、局域网、广域网、数字广播、网络互连、数据安全等知识和技术，掌握用户服务器环境下的组网和编程方法，了解工业计算机网络系统、有线计算机网络、无线移动计算机网络、卫星数字通信网络、蓝牙通信技术、网格计算技术等，使本科技领域的科研技术人员能够跟踪本学科前沿科学的发展。本书的每一章中都适当增加了专业知识的深度，以适应从事本专业的工程技术人员及研究人员的需要。

本分为 12 章，主要介绍了有线通信、无线通信、移动通信、GSM 通信系统的优化、卫星通信原理、由卫星测量与卫星通信系统构成的 GPS 定位与导航技术等。

由于篇幅有限，不能对各部分都作详细的介绍。书中若有错误和不当之处，敬请指正。

作 者
上海交通大学

目 录

前言

第 1 章 概论.....	1
1.1 通信技术的发展.....	1
1.2 通信技术应用.....	2
1.3 计算机系统的发展.....	3
1.4 计算机与通信的结合.....	3
1.5 计算机网络系统的发展.....	4
1.5.1 计算机通信网络的形成.....	5
1.5.2 计算机通信网络技术的 发展.....	5
1.6 计算机网络的体系结构.....	8
1.6.1 计算机网络的构成.....	8
1.6.2 计算机系统网络的拓扑 结构与特点.....	9
1.6.3 计算机网络的功能.....	11
1.7 计算机网络的分类.....	11
1.8 数字通信技术的发展.....	12
思考题.....	13
第 2 章 信道与数字通信.....	15
2.1 数字通信的基本概念.....	15
2.2 信道与数据通信.....	16
2.2.1 信息与信号.....	16
2.2.2 信道的基本概念.....	16
2.2.3 信号的传输形式.....	16
2.2.4 基带方式.....	17
2.2.5 频带方式.....	17
2.2.6 宽带方式.....	18
2.3 信道的分类与功能.....	18
2.3.1 信道的分类.....	18
2.3.2 信道容量.....	20
2.3.3 带宽限制.....	21
2.3.4 数字信号的带宽.....	22
2.3.5 基带系统.....	24
2.4 码元与码字.....	24

2.5 数据通信系统的主要技术指标... ..	25
2.6 模拟信号与数字信号传输.....	26
2.7 数字信号传输系统.....	30
2.7.1 数据传输方式.....	30
2.7.2 串行信号通信.....	31
2.7.3 20mA 电流传输环路.....	32
2.7.4 RS-422A/V.11.....	32
2.8 基带数字信号的编码方法.....	33
2.9 关于信道共享.....	37
2.9.1 共享点到点信道.....	37
2.9.2 按需分配信道.....	39
2.9.3 按排队方式分配信道.....	40
2.10 共享用点到点链路构成的网络	40
2.11 数据交换技术.....	42
2.12 共享广播信道.....	44
2.13 差错控制机制.....	45
思考题.....	45
第 3 章 从模拟信号到数字信号	46
3.1 信号采样.....	46
3.2 信号的混掺现象.....	47
3.3 模拟脉冲调制方式.....	48
3.4 采样电平量化.....	48
3.4.1 非均匀量化.....	49
3.4.2 压扩特性.....	49
3.5 PCM 通信方式与 AD-DA 变换	50
3.5.1 PCM 通信方式	50
3.5.2 PCM 波形的类型	50
3.5.3 PCM 码字的长度	52
3.5.4 M 进制脉冲调制波形	53
3.5.5 相关编码.....	54
3.5.6 双二进制信号.....	54
3.5.7 双二进制解码.....	55

3.5.8 预编码.....	56	4.6.1 单极性信号.....	87
3.6 波形编码.....	56	4.6.2 双极性信号.....	88
3.6.1 正交编码.....	57	4.7 滤波器.....	88
3.6.2 双正交码.....	58	4.7.1 余弦滤波器.....	88
3.6.3 超正交(单纯)码.....	59	4.7.2 均衡与信道特性.....	91
3.6.4 波形编码系统举例.....	59	4.7.3 均衡滤波器的类型.....	92
3.7 生成矩阵.....	60	4.7.4 预置式均衡与自适应 均衡.....	96
3.7.1 系统线性分组码.....	62	4.8 超外差式 AM 接收信号机.....	98
3.7.2 监督矩阵.....	62	4.9 频分多址方式.....	98
3.7.3 伴随式检验.....	63	思考题.....	99
3.7.4 陪集的伴随式.....	64	第 5 章 信号的调制与解调.....	100
3.7.5 纠错译码.....	64	5.1 数字带通调制技术.....	100
3.7.6 译码器的实现.....	65	5.2 数字信号调制方式.....	101
3.7.7 循环码.....	66	5.3 信号的调制与载波.....	101
3.7.8 循环码的代数结构.....	66	5.3.1 正弦信号的相量表示.....	101
3.7.9 二进制循环码的特性.....	67	5.3.2 波形振幅系数.....	102
3.7.10 系统形式的编码.....	68	5.3.3 相移键控.....	103
3.8 双二进制码等效传递函数.....	69	5.3.4 频移键控.....	103
3.8.1 二进制信号与双二进制 信号的比较.....	70	5.3.5 幅移键控.....	104
3.8.2 多二进制信号.....	70	5.3.6 振幅相位联合键控.....	104
3.9 AD-DA 转换器.....	70	5.3.7 角度调制方式.....	105
3.10 DPCM 数字化方式.....	72	5.3.8 高效带宽调制.....	106
3.11 三角形调制方式.....	72	5.4 网格编码调制.....	109
思考题.....	73	5.4.1 高维网络信号星座图.....	109
第 4 章 信号的载波与传输.....	74	5.4.2 高维数的信号星座图.....	110
4.1 信号的调制与载波技术.....	74	5.5 网格编码.....	111
4.2 单边带调制方式与残留边带调制 方式.....	75	5.5.1 平行路径与状态网格的编 码增益.....	111
4.3 信号的调制与解调.....	76	5.5.2 8 状态的网格图.....	112
4.4 信号的解调与检测.....	78	5.5.3 QAM 网格编码.....	112
4.4.1 信号解调与检测概述.....	78	5.6 TCM 编码.....	113
4.4.2 差错概率.....	80	5.6.1 Ungerboeck 分割.....	113
4.5 匹配滤波器.....	81	5.6.2 波形到网格转换的映射	113
4.5.1 采样匹配滤波器.....	82	5.7 带宽受限信道的调制与编码.....	114
4.5.2 匹配滤波器的相关实现.....	84	5.7.1 带宽——功率权衡.....	114
4.5.3 卷积与相关的比较.....	84	5.7.2 电话调制解调器.....	115
4.6 最佳差错性能.....	85		

5.8 多维网格编码调制.....	116	6.5 IS-95 切换技术.....	154
5.9 FM 波的频谱特性.....	117	6.6 cdma2000 系统特征.....	156
5.10 相关接收器.....	120	6.6.1 信道功能与协议栈.....	157
5.10.1 二进制的鉴别门限值.....	121	6.6.2 物理信道.....	158
5.10.2 多相相移键控的相干 检测.....	122	6.6.3 前向信道传输功能.....	159
5.10.3 差分 PSK 的检测.....	123	6.6.4 反向信道传输功能.....	160
5.10.4 FSK 的非相干检测.....	124	6.7 cdma2000 系统特点.....	161
5.10.5 最小频率间隔和带宽.....	125	思考题.....	162
5.10.6 对偶关系.....	126	第 7 章 通信信道与多址复用技术.....	163
5.10.7 复包络.....	127	7.1 信道资源的分配.....	163
5.11 调制器的正交实现.....	128	7.2 频分复用与频分多址方式.....	164
5.11.1 D8PSK 调制.....	129	7.2.1 卫星系统的频分多址 方式.....	165
5.11.2 QPSK 调制器.....	130	7.2.2 时分复用与时分多址.....	165
5.11.3 D8PSK 解调.....	130	7.2.3 固定分配 TDM/TDMA.....	166
5.12 AM 波、FM 波的各种特征.....	131	7.2.4 通信资源信道化.....	166
5.13 信号的多重化.....	133	7.2.5 FDMA 和 TDMA 的 性能.....	166
思考题.....	135	7.2.6 码分多址.....	167
第 6 章 通信信道与传送特性.....	136	7.3 空间分割和极化分割多址 技术.....	168
6.1 有线系统的信号传输特性.....	136	7.3.1 多址通信系统及其 结构.....	169
6.1.1 金属电缆的构造及传送 特性.....	137	7.3.2 多址接入信息流.....	169
6.1.2 光纤的传输特性.....	138	7.3.3 按需分配多址接入.....	170
6.1.3 决定光纤传送频带的 要素.....	140	7.4 扩频技术.....	170
6.2 无线系统的信号传输特性.....	142	7.4.1 Walsh 码.....	170
6.2.1 天线的发射特性.....	142	7.4.2 直接扩频 CDMA 原理.....	171
6.2.2 发射与接收天线.....	143	7.4.3 扩频系统的优点.....	172
6.2.3 自由空间的信号传播 特性.....	146	7.5 扩频技术.....	173
6.2.4 折射现象与特性.....	147	7.5.1 多址接入.....	174
6.2.5 利用电离层反射传播.....	148	7.5.2 扩频技术的种类.....	174
6.3 通信的物理信道.....	149	7.5.3 直接序列扩频抗干扰 特性.....	174
6.3.1 通信系统频谱分配.....	149	7.5.4 传输与存储基准.....	175
6.3.2 物理信道.....	150	7.5.5 直接序列扩频系统.....	175
6.3.3 信道传输功能.....	150	7.5.6 扩频系统增益和性能.....	176
6.3.4 前向信道功能.....	152	7.6 跳频系统.....	178
6.4 功率控制.....	153		

7.6.1 分集跳频.....	179	8.3.1 功率控制.....	208
7.6.2 快跳频与慢跳频.....	179	8.3.2 信道衰落与分集接收.....	209
7.7 FFH/MFSK 解调器	180	8.3.3 CDMA 与 FDMA、TDMA 蜂窝通信系统容量的 对比.....	213
7.7.1 相关器结构.....	180	8.4 窄带 CDMA 通信系统.....	215
7.7.2 串行搜索.....	181	8.4.1 IS-95 标准.....	215
7.7.3 序贯估计.....	182	8.4.2 MTSS 功能.....	216
7.7.4 跟踪.....	183	8.4.3 窄带 CDMA 系统系列 标准.....	216
7.8 码分多址.....	184	8.4.4 无线信道.....	218
7.9 FCC-15 扩频系统规范.....	185	8.4.5 CDMA 信道的结构 分层.....	219
7.10 直接序列扩频与跳频扩频.....	186	8.4.6 网络结构.....	220
7.11 IS-95 CDMA 数字蜂窝系统.....	187	8.4.7 窄带 CDMA 可提供的 业务.....	222
7.11.1 前向信道.....	188	8.4.8 窄带 CDMA 移动业务网 编号.....	223
7.11.2 反向信道.....	189	8.4.9 路由及接续.....	225
7.11.3 功率控制.....	189	8.5 IS-95 CDMA 逻辑信道.....	225
7.12 发射机功能.....	190	8.6 IS-95 CDMA 呼叫处理.....	227
7.12.1 语音编码.....	191	8.6.1 移动台.....	227
7.12.2 信道编码.....	192	8.6.2 移动台的 CDMA 工作 模式.....	227
7.12.3 UMTS 的信道编码器 ...	193	8.6.3 移动台呼叫处理.....	228
7.12.4 交织器.....	194	8.6.4 系统接入状态.....	230
7.12.5 调制.....	194	8.6.5 业务信道控制状态.....	231
7.12.6 相位调制信号的解调....	195	8.6.6 基站设备.....	231
7.13 接收机.....	195	8.6.7 基站呼叫处理.....	233
7.13.1 接收机结构.....	195	8.7 IS-95 CDMA 中信令的应用.....	233
7.13.2 硬和软鉴别.....	196	8.7.1 接口.....	233
7.13.3 CDMA 中的多径 分集.....	196	8.7.2 空中接口 (Um)	234
7.14 多用户检测.....	197	8.7.3 A 接口.....	235
7.15 Rake 接收机	197	8.7.4 Abis 接口	235
思考题.....	199	8.7.5 移动交换中心 (MSC)	236
第 8 章 移动通信与计算机系统网络.....	200	8.8 传呼机及网络其结构.....	236
8.1 移动通信系统的概况.....	200	8.9 移动通信的发展.....	238
8.1.1 移动通信的特点与传输 特性.....	201	思考题.....	238
8.1.2 蜂窝方式的特征及 优点.....	205		
8.1.3 无线频道的分配.....	205		
8.2 信号通信的多重化方式.....	206		
8.3 CDMA 蜂窝网的关键技术.....	208		

第 9 章 GSM 通信网络系统与优化	239	9.6.3 GSM 信令系统的特点 ...	263
9.1 GSM 发展历史和技术规范	239	9.6.4 Um 空中接口	264
9.1.1 GSM 系统技术规范	239	9.6.5 GSM 网络中的其他	
9.1.2 GSM 系统结构	240	接口	270
9.1.3 交换网络子系统	240	9.7 GSM 系统网络优化	272
9.1.4 无线基站子系统	242	9.7.1 网络优化目标	273
9.1.5 移动台	242	9.7.2 网络优化分类	273
9.1.6 操作维护子系统	242	9.7.3 网络优化的主要内容	274
9.2 GSM 网络区域组成	243	9.7.4 数据采集	275
9.2.1 GSM 网络编号计划	243	9.7.5 数据分析	276
9.2.2 GSM 系统中各种号码的		9.7.6 优化方案制定	277
应用	246	9.7.7 网络优化方法	278
9.3 无线电波传播	247	9.8 双频网络优化	280
9.3.1 陆地移动通信环境的		9.8.1 DCS1800MHz 频段的	
特点	247	特点	281
9.3.2 GSM 频率资源	247	9.8.2 双频网络结构	281
9.3.3 频率分配	248	9.8.3 小区的切换优先级	282
9.3.4 蜂窝技术	248	9.8.4 小区参数优化	282
9.3.5 频率再利用	248	思考题	283
9.3.6 TDMA 空中接口技术	248	第 10 章 卫星通信	284
9.3.7 多址方式	249	10.1 卫星通信的发展	284
9.3.8 TDMA 帧结构	250	10.2 卫星通信系统的组成	284
9.3.9 突发脉冲	252	10.2.1 卫星轨道	284
9.4 信道分类	252	10.2.2 静止轨道与低轨道	
9.4.1 话音信道	253	卫星	285
9.4.2 控制信道	253	10.2.3 通信卫星	285
9.4.3 信号处理过程	255	10.2.4 系统的组成	286
9.4.4 逻辑信道到物理信道的		10.2.5 卫星通信网的特性	288
映射	255	10.2.6 “点-多点”网络	288
9.5 GSM 空中控制技术	256	10.2.7 “点-点”网络	289
9.5.1 分集	256	10.3 多址技术	291
9.5.2 时间色散	257	10.3.1 频分多址技术	291
9.5.3 时间提前量	257	10.3.2 时分多址技术	292
9.5.4 跳频技术	257	10.4 星载和地面站设备	295
9.5.5 功率控制	259	10.4.1 高功率放大器	295
9.6 GSM 的信令与协议	260	10.4.2 低噪声放大器	296
9.6.1 GSM 网络接口与协议	260	10.4.3 星载转发器	296
9.6.2 GSM 分层结构与协议	262	10.4.4 数字处理转发器	297

10.5 通信地面站设备.....	300	系统.....	333
10.5.1 射频部分.....	301	10.10.2 网络控制与管理.....	335
10.5.2 中频与基带处理部分.....	302	10.10.3 跟踪和数据中继卫星	
10.5.3 地面接口与陆地链路.....	303	系统.....	335
10.5.4 其他类型的地球站.....	305	10.10.4 系统网络组成.....	337
10.5.5 TV 上行站和广播		10.10.5 TDRSS 卫星.....	338
中心.....	306	10.11 未来的伽利略系统.....	339
10.5.6 TV 单收站.....	307	第 11 章 GPS 定位与卫星导航系统.....	340
10.5.7 MSS 移动终端和信		11.1 卫星定位与导航技术.....	340
关站.....	308	11.1.1 GPS 卫星通信与导航	
10.6 VSAT 网络结构和地面设备.....	309	系统.....	340
10.6.1 VSAT 网络结构.....	309	11.1.2 精密定位.....	341
10.6.2 VSAT 系统的主站和小		11.1.3 标准定位服务.....	341
站设备.....	310	11.1.4 全球导航卫星系统.....	341
10.6.3 VSAT 数据网.....	311	11.1.5 地面支持.....	342
10.6.4 VSAT 电话网.....	313	11.1.6 GPS 与导航技术应用...	344
10.7 卫星移动通信系统.....	313	11.1.7 卫星 GPS 的特性与	
10.7.1 非静止轨道卫星系统.....	313	构成.....	345
10.7.2 中轨区域星座.....	314	11.2 GPS 的组成.....	346
10.7.3 星际链路.....	314	11.2.1 GPS 卫星星座的构成...	346
10.7.4 频率计划.....	315	11.2.2 地面监控部分.....	347
10.7.5 实际系统简介.....	316	11.2.3 用户设备部分.....	347
10.8 卫星系统中 TCP/IP 技术与		11.2.4 GPS 的应用.....	348
协议.....	321	11.2.5 我国 GPS 定位技术的	
10.8.1 与星座有关的路由		应用和发展概况.....	348
问题.....	321	11.3 卫星导航与 GPS 定位原理.....	348
10.8.2 卫星移动组播管理.....	322	11.3.1 利用测量信号的传送	
10.8.3 适合多媒体传播的卫星		时间计算测距的原理...	348
数据链路层技术.....	322	11.3.2 GPS 定位坐标系.....	349
10.8.4 卫星链路 Web 新		11.3.3 GPS 绝对定位原理.....	354
技术.....	323	11.3.4 动态绝对定位原理.....	354
10.8.5 IP 卫星通信技术.....	323	11.3.5 静态绝对定位原理.....	356
10.8.6 宽带卫星通信平台.....	327	11.3.6 观测卫星的分布与 GPS	
10.8.7 DIRECWAY 的技术		授时.....	357
指标.....	328	11.3.7 GPS 测时.....	358
10.9 地球站标准.....	331	11.3.8 GPS 相对定位原理.....	360
10.10 广播通信卫星系统.....	332	11.3.9 静态相对定位的观测	
10.10.1 天丛 (Skypeplex) 网络		方程及其解算.....	361

11.3.10 差分 GPS 测量原理	363	11.10.2 GPS 接收机的码和载 波跟踪	383
11.3.11 广域差分 GPS	366	11.10.3 基带信号处理	384
11.3.12 整周未知数的确定 方法	368	11.10.4 载波跟踪环	385
11.4 求解运动体的速度	370	11.10.5 锁相环	385
11.5 用卡尔曼滤波法确定用户位 置和速度	372	11.10.6 锁频环	386
11.6 卫星运动的瞬时速度计算	373	11.10.7 码跟踪环	386
11.7 GPS 卫星系统的操作控制	373	11.10.8 信号截获	386
11.8 导航载荷	376	11.11 GPS 导航系统	386
11.8.1 Block IIA——升级 卫星	376	11.12 系统状态	387
11.8.2 Block IIR——补充 卫星	376	11.13 GPS 导航技术应用	393
11.9 GPS 卫星信号的特性	376	第 12 章 公共通信网络的构成——传输 与交换	394
11.9.1 频率和调制格式	377	12.1 通信网络的构成	394
11.9.2 GPS 导航电文	378	12.2 回路交换与分组交换	395
11.9.3 卫星信号的载波与 解调	381	12.3 计算机通信与多媒体通信 ——ISDN 与网络	399
11.9.4 GPS 卫星信号的解调	381	12.4 LAN	402
11.10 卫星信号的截获与跟踪	383	12.5 ATM 方式与超高速通信因特网 ——21 世纪的方式	403
11.10.1 GPS 信号的截获与 跟踪	383	思考题	406

第 1 章

概 论

随着社会信息科学的发展,数字通信科学与计算机通信网络系统已成为自然科学中发展最快的学科,已渗透到社会的各个领域。现代计算机网络通信,不仅大大提高了通信线路的利用率,改善了通信质量,而且实现了全数字化、宽频带、多媒体信息的高速传输及计算机、电视和电话通信的三位一体化。这种互连的计算机信息网络,把距离和时间缩小到零,大大降低了人们物理位置靠近的必要,通过它把整个社会结构紧密结合在了一起,它将改变人们传统的生活观和工作方式,对人类社会产生深刻的影响。信息的数字化,不仅有利于信息的通信,还有利于信息的永久性保存和传播。

如今,在计算机网络技术迅速发展的时代,如何掌握计算机通信网络知识,并根据自身的需要规划设计网络系统,以及如何开发网络的应用技术,使其充分发挥网络系统的作用,取得应有的社会效益,成为计算机通信科学领域的科技人员在网络建设中迫切需要解决的课题。

1.1 通信技术的发展

利用电气线路进行通信的尝试起始于 18 世纪后半叶。1838 年,莫尔斯(S.F.Morse)等人发明了电报机和莫尔斯电码,这就是数字通信科学的开始。莫尔斯把电信号利用电波作载波进行发送,发明了无线电报。特别是泰坦尼克号客船遇难以来,无线电报成为航海船舶非常重要的通信手段。

电码通信方式作为现代信息科学发展的先导,它是利用电气信号一个字一个字地进行文字传输,直到 1876 年电话的发明(A.G.Bell)与模拟方式的出现,才进入模拟通信时代。

自 1920 年开始,人们使用电波模拟的方法,在美国匹兹堡利用声音波形调幅方式进行放送广播,人们不仅建起东京广播电台和远程国际无线电话,还发明了可以传送图像的电视机。1928 年后彩色电视机的出现,奠定了现代彩色电视播送的基础。

1957 年,前苏联同伴者号(Sputnik)卫星发射成功,引发了世界性的宇宙开发竞争。同伴者号发射后,1960 年美国最早开始使用卫星进行远距离中转通信,两年后发展成为像现在通信卫星使用的能动传播方式,并且逐步向收发信号天线与转播器搭载方式发展,进而构成了现在的多信道宽带综合通信卫星工作方式。

世界最早的通信中就有了数字通信方式,而以 H.Nyquist(1928 年)发表的采样化原理、以 A.H.Reeves(1937 年)发明的脉冲符号调制方式(pulse code modulation, PCM)为基础,开始了现代的数字通信时代。

现代的光通信技术依存于激光技术和高传导率的超导光纤技术。激光是 1960 年由

G.Maiman 发明的红宝石激光器为基础的。1970 年发明了室温下连续振荡的激光半导体, 加上光纤的产生, 使光束通信方式得到快速的普及与发展。

通信技术的发展, 从莫尔斯发明了电报机到三极真空管 (L.De Forest, 1906 年)、晶体管 (W.B.Shockley, W.H.Brattain, J.Bardeen, 1948 年)、LSI 集成电路、激光、光纤、计算机的发明使通信技术产生了飞跃发展。卫星技术的产生使船舶通信、列车电话、汽车电话等移动通信方法都产生了阶跃性的飞跃。以个人所拥有的移动信息通信终端、PHS、移动电话, 及通过无线移动电话进行联网的移动计算机系统网络在社会上已经普及。就像多媒体那样, 不仅声音, 还包括图像、数据通信、计算机系统网络等也能自由地用于移动通信的终端设备。如今, 通信技术正朝着覆盖全球的多元化技术与多目的化的方向发展。

1.2 通信技术应用

1. 电缆通信

电缆用于长途通信已有 60 年的历史。在光纤通信和移动通信发展之前, 电话、传真和电报等各用户终端与交换机的连接全部利用市话电缆。电缆还曾是长途通信和国际通信的主要手段。大西洋、太平洋均有大容量越洋电缆。电缆通信中主要采用模拟单边带调制 (SSB) 和频分多路复用 (FDM)。自从数字电话问世以来, 各国都在大力发展脉冲编码调制时分多路信号在同轴电缆中的基带传输技术, 电缆的数字电话容量可达 4032 路。

2. 光纤通信

光纤通信具有容量大、成本低的优点, 而且不怕电磁干扰, 与同轴电缆相比, 可以大量节约有色金属和能源。自 1977 年世界上第一个光纤通信系统在芝加哥投入运行以来, 光纤通信发展极为迅速, 世界各国和国际通信干道, 跨越大西洋、太平洋的海底电缆, 均广泛采用光纤通信。由于长波长激光器和单模光纤的诞生, 每芯光纤的通信容量已达上百万路, 中继距离超过 100km 以上。

光纤通信的主要发展方向是单模长波长光纤通信技术、大容量数字通信技术和相干光通信技术。

3. 无线通信

在合适的距离范围内, 可以采用地面发送器和接受设备, 用低频无线电波取代电线连接进行通信。例如, 为了连接分散在一个区域里的数字信号采集装置和计算机设备, 或是把本地的计算机连接到远程计算机网络, 都可以采用无线联网通信技术。

4. 微波中继通信

微波通信是 20 世纪 60 年代开始发展的, 它弥补了同轴电缆的缺点, 可达到同轴电缆无法铺设的地区。在同轴电缆发展的同时, 微波通信也成为美国、前苏联、日本等国的国内长途电话和电视广播的主要传输手段。模拟电话的微波通信容量每频道可达 6000 路, 主要采用 SSB/FM/FDM 调制方式。早期的数字微波通信大都采用 BPSK、QPSK 调制方式。

为了提高频带利用率,增加容量,现在已向多电平调制技术发展,采用 16QAM 和 64QAM 调制,并已出现 256QAM 和 1024QAM 等超多电平调制的数字微波。采用多电平调制,在 100MHz 的标准间隔内可传送 5000~15000 路脉冲编码调制数字电话,超过了模拟微波通信的容量。

5. 卫星通信

卫星通信的特点是通信距离远,覆盖面积大,不受地形条件限制,传输容量大,可靠性高。自 1965 年第一颗国际通信卫星投入运行以来,卫星通信得到迅速的发展,现在第六代通信卫星已经投入使用。目前,许多国家都拥有卫星通信系统,卫星通信范围已遍及全球,仅国际卫星通信组织就拥有上百万条话路,80%的洲际通信业务和 100%的远距离电视传输业务均采用卫星通信。

卫星通信中目前大量使用的是模拟调制、频分多路和频分多址工作方式。如同其他通信技术一样,其发展方向也是采用数字调制、时分多路和时分多址技术。目前,卫星通信正在向更高频段发展,采用多波束卫星和星上处理技术。

6. 移动卫星通信

移动卫星通信是现代通信中发展最为迅速的一种通信手段,它是与汽车、飞机、轮船、列车等交通工具的发展而同步发展起来的。近年来,在微电子技术 with 计算机技术高速发展的推动下,移动卫星通信从过去简单的无线对讲或广播方式发展成为一个集有线、无线、计算机网络系统为一体、固定与移动相互连通的世界规模的通信系统。

1.3 计算机系统的发展

1946 发明了世界第一台真空管 ENIAC 计算机,当时主要用于第二次世界大战中计算弹道(导弹)轨迹。

1960 年新一代的计算机产生,才真正用于生产科研计算。在机械化与电气化时代,人们用机械代替了部分体力劳动,而计算机的诞生,使得人们用它部分地代替了人的脑力劳动。

20 世纪 70 年代,个人计算机(PC)问世。80 年代,我国长城中型计算机研制成功。由于微型计算机的出现,改变了主机模式的集中管理和运行方式,并向个人微型机与大型并行运算计算机系统发展,把强大的计算和处理能力交给集中式或分散式的计算机来完成。

20 世纪 80 年代后期,分布式计算机系统和大型并行运算计算机系统开始问世,其多种多样并涉及不同的系统体系结构。对一些用户来说,一个分布式计算机系统,是为解决一个个单一问题而密切结合在一起工作的多处理机的集合。对另一些用户来说,一个分布式系统,可能意味着一个由地理位置分散的各自独立的多处理机组成的计算机网络。

1.4 计算机与通信的结合

计算机本来是用于数值计算,后来增加了具有文字信息处理功能的信息处理设备,

又连接成网络，并作为信息通信与处理的末端装置，起着非常重要的作用。目前，公共通信的线路交换工作都是由计算机进行控制，移动电话等新的通信方式的交换与控制也是如此，都要借助大型存储器和转送的功能，每时每刻记忆着用户的信息。现代的通信业务，如果没有计算机是不能完成的。

采用计算机网络通信，不仅大大提高了通信线路的利用率，改善了通信质量，而且为实现全数字化、宽频带、多媒体信息的高速传输及计算机、电视机、电话的三合一奠定了基础。计算机通信原理如图 1-1 所示。

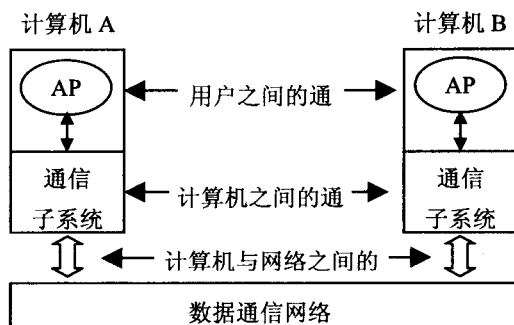


图 1-1 计算机通信原理

1.5 计算机网络系统的发展

20 世纪 60 年代初，人们利用通信线路把计算机与远方的终端连接起来，形成了具有通信功能的终端——计算机网络系统，称为计算机通信网络。1969 年，美国国防高级研究计划局（DARPA）建立了世界上第一个分组交换网 ARPANET，即 Internet 的前身，这是一个结点式存储转发方式的分组交换广域网，是为了验证远程分组交换网的可行性而进行的一项实验工程。分组交换与电路交换相比，具有线路利用率高、可进行数据率的转换、便于数据流量控制及优先权的使用等优点。

20 世纪 70 年代，随着计算机技术的高速发展，1974 年英国剑桥大学开发的“剑桥环网”（Cambridge, Ring）问世，1975 年美国的 Xerox 公司研制成功第一个总线竞争型实验性以太网（Ethernet）。这两种网为计算机系统局域网的理论、方法和实现技术奠定了基础，对促进局域网的发展起到了重要的作用。

1978~1979 年，美国国防部的高级研究计划局组织有关专家开发 ARPANET 第三代协议，即 TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol，传输控制协议/互联网协议），并于 1983 年在 ARPANET 上正式使用。TCP/IP 的广泛采用是 Internet 迅速发展的重要原因。

国际标准化组织（ISO）于 1978 年提出了开放系统互连参考模型（OSI/RM），即 OSI 网络体系结构，以推动网络标准化的工作。

20 世纪 80 年代，计算机开始与通信结合，计算中心服务模式逐渐让位于计算机网络模式。

20 世纪 80 年代末~90 年代初，Internet、万维网、Windows NT 网问世。

1989 年，我国从法国 SESA 公司引进第一台 Chinapac 网。

1993 年，我国从加拿大北方电讯公司引进 DON-100 网络系统设备。

1.5.1 计算机通信网络的形成

计算机通信网络的形成分为4个阶段。

第一阶段：计算机技术与通信技术相结合，形成了初期的计算机网络模型。此阶段网络应用的主要目的是提供网络通信，保证网络连通。

第二阶段：在计算机通信网络的基础上，完成了网络体系结构与协议的研究，形成了完整的计算机网络。此阶段网络应用的主要目的是提供网络通信、保证网络连通、网络数据共享、网络硬件设备与资源共享。

第三阶段：解决了计算机连网与互连标准化问题，提出了符合计算机网络国际标准的“开放式系统互连参考模型”(OSI/RM)，从而极大地促进了计算机网络技术的发展。此阶段网络应用的主要目的已经发展成为社会提供信息共享服务的信息服务时代。

第四阶段：计算机网络向互连、高速、智能和全球化发展，并且迅速得到普及，实现了全球化网络的广泛应用。

1.5.2 计算机通信网络技术的发展

计算机网络从20世纪60年代诞生以来，经历了计算机网络互连的初期、ARPANET的诞生、NSFNET网的建立及Internet在全世界的形成和发展等阶段。

1. 面向终端的计算机通信网

用一台计算机专门进行数据处理，用一台通信处理机或前端处理机(Font End Processor FEP, 线路控制器)，或称通信控制处理机(Communication Control Processor, CCP)，通过调制解调器与远程终端相连。然后在终端设备较集中的地方设置一台集线器(Hub)，终端通过低速线路先汇集到集线器上，再用高速线路将集线器连到主机上。

通信控制处理机完成全部通信任务。在通信线路上为串行传输，而在计算机内部为并行传输，计算机专门进行数据处理，如图1-2所示。

调制解调器用于把终端或计算机的数字信号转变成可以在电话网上传输的模拟信号。这种网络本质上是以单机为中心的星形网，各终端通过通信线路共享主机的软件和硬件资源。

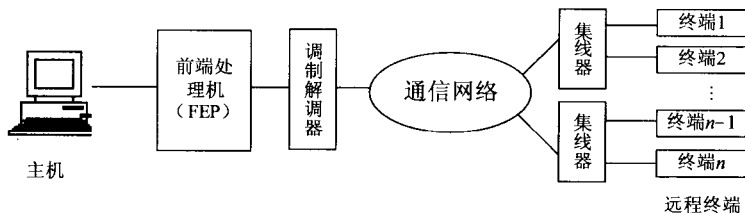


图 1-2 面向终端的计算机通信网络

2. 分组交换网

分组交换(Packet Switching)也称数据包交换，它是现代计算机技术的基础，如图1-3所示。计算机网络是通过电话网进行数据传输的，电话传输是采用电路交换，即通过电路

转换,在两个用户之间建立一条专用通信线路,在通话时间内,用户始终占用端到端的固定线路直到通话结束。这种方式不适合传输计算机或终端的数据。

(1) 计算机信号是不连续的,它与电话传送的连续信号不同,具有突发性和间歇性,传送信号所占用时间很少,往往不到 10%甚至 1%,在绝大部分时间里,通信线路处在空闲状态。但是,不论线路是否在传输数据都要收费。

(2) 电路交换建立通路的时间为 10~20s,而对于计算机传输数据的时间仅为 0.5s,这种时间的浪费太大了。

(3) 电路交换很难适应各种不同类型、规格和速率的终端和计算机之间的通信,必须在终端与计算机之间经过缓冲寄存器暂存后,然后经过适当变换再进行接收或发送。

(4) 计算机通信要求可靠性高,需要差错控制,电路交换难以做到。

因此,为了解决以上问题,必须寻找适合于计算机通信的交换技术,才能适应计算机网络技术的发展。1964 年,巴兰(Baran)提出分组交换的概念。

1969 年 12 月,美国的分组交换网 ARPANET 投入运行,从此,计算机数据通信技术产生了一个飞跃,标志着计算机网络技术进入了一个崭新的阶段。

分组交换采用存储转发分组交换技术,实际上采用的策略是断续分配传输通道。

3. 资源子网

资源子网一般是由主计算机系统、终端、终端控制器、联网外设、软件资源和数据资源组成。网络中的主计算机主要负责数据处理与网络控制。资源子网负责网络的数据处理和向网络用户提供网络资源及网络服务等。

4. 通信子网

在局域网和广域网中,通信子网是由传送处理控制为主要功能的转发控制专用计算机,主机由接口控制器(网卡、接口板)和传输线路所构成。转发控制专用计算机连接两条或多条传输线路,控制主机之间的数据转发,相当于电话系统中的程控交换机。在分组交换网中,转发控制计算机称为常用分组交换节点(Packet Switch Node, PSN)、中间系统(Intermediate System, IS)或分组交换机(Packet Switching Exchange, PSE)。在 ARPANET 网中称为接口报文处理机(Interface Message Processor, IMP)或者通信控制处理机。在互联网系统中称为互联网路由器(Internet Router)或者互联网关(Internet Gateway),简称 IP 网关。在应用 TCP/IP 的互联网中,称为协议转换器,用于实现互联网中不同协议的转换。通信子网中主要有以下几种设备:

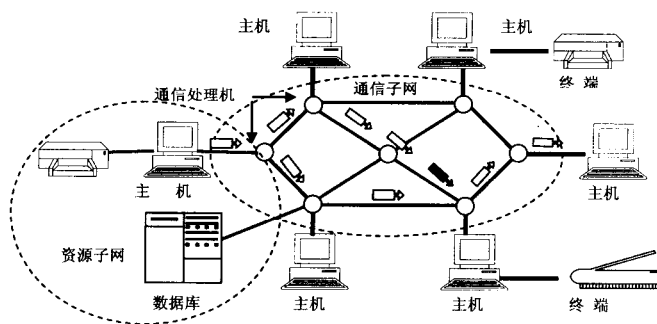


图 1-3 分组交换网示意图