

高等学校交通信息工程系列教材

信息传输原理

本书是为交通信息工程 and 各类应用信息工程本科专业（含成人教育）编写的教材。内容包括信息与信息系统、模拟信息传输、数字信息传输、数字信息编码、多媒体信息传输、无线信息传输和信息传输网络等7章。每章后均有小结与精选的习题，以便学生复习巩固。

本书的特点是突出信息传输的基本原理与方法，强化物理概念，有助于教学和自学。本书也可作为从事信息通信系统的科研设计与工程技术人员参考。

张树京 董德存 编著

同济大学出版社



高等学校交通信息工程系列教材

TN919

Z170

信息传输原理

张树京 董德存 编著

QAA84/10

邮电部上海人民邮电出版社

地址：上海市四川中路100号

电话：(021) 42244900 电传：42244900

邮政编码：200001 邮购部：200001

同济大学出版社

内 容 提 要

本书是为交通信息工程和各类应用信息工程本科专业(含成人教育)编写的教材。内容包括信息与信息系统、模拟信息传输、数字信息传输、数字信息编码、多媒体信息传输、无线信息传输和信息传输网络等7章。每章后均有小结与精选的习题,以便学生复习巩固。本书的特点是突出信息传输的基本原理与方法,强化物理概念,有助于教学和自学。本书也可作为从事信息通信系统的科研设计与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信息传输原理/张树京,董德存编著. —上海:同济大学出版社,
2004.2

ISBN 7-5608-2748-9

I. 信… II. ①张… ②董… III. 信息传输—通信理论
IV. TN919.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 117214 号

信息传输原理

张树京 董德存 编著

责任编辑 曹炽康 责任校对 郁 峰 封面设计 陈益平

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 苏州望电印刷有限公司印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 25.75

字 数 659000

印 数 1—3000

版 次 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2748-9/TN·7

定 价 33.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

高等学校交通信息工程系列教材编委会

主 任 杨东援

副主任 董德存

编委会委员

同济大学 杨东援 董德存 张 浩 严作人 张树京 吴汶麒

上海交通大学 刘允才 朱 杰 何 晨 敬忠良 李建勳

上海大学 费敏锐 陈惠民

华东理工大学 顾幸生

北方交通大学 徐洪泽

上海海运学院 金永兴 汤天浩 施朝健 宗蓓华 周溪召 蔡存强 陈伟炯

丁以中 施 欣

西南交通大学 王长林

南京航空航天大学 王成华

上海电信技术研究院 祁庆中

东华大学 丁永生

上海第二工业大学 蒋川群

常州工学院 肖闯进

大连海事大学 任 光

集美大学 邵哲平

华东船舶工业学院 王建华

镇江高等专科学校 杨国祥

武汉理工大学 刘明俊

地铁建设有限公司 袁哲雷 黄 钟

深大通信网络有限公司 关志超

上海城市交通信息中心 朱 昊

普陀区科学技术委员会 张小松

中兴通讯股份有限公司 钟 宏

上海船舶运输科学研究所 徐永发

上海海滔通信技术有限公司 张臣雄

东南大学无线电工程系 吴镇扬

常州电信局 郭建冬

上海铁路局城市轨道交通设计研究院 曹俊文 刘 藩

总 序

随着信息技术突飞猛进地发展,大力推动了全球信息化前进步伐。信息化带动工业化已经明显地促进了国民经济的持续发展。同时,信息技术也为综合交通(铁路、公路、水运、航运以及城市交通)的现代化和智能化带来了无限生机和活力,由此诞生了一个崭新的专业,这就是交通信息工程专业。

为了培养 21 世纪我国乃至全球紧缺的交通信息工程领域内的高级专门人才,同时为了深化高等院校课程体系改革和教材建设的急需,同济大学出版社邀请了上海乃至全国有关交通、信息、通信、控制等领域的专家和教授,组成了阵容强大的交通信息工程专业系列教材编委会,他们在长期从事教学科研和工程领域的基础上,规划并编写出一套面向高校本科的交通信息工程专业系列教材,并将陆续出版发行。

这套教材具有明显的交通信息工程专业特色,是国内首创,国外也不多见。编写这套教材的宗旨在于培养学生综合运用多门学科知识的能力,提高交叉复合型人才的素质。它是以综合交通系统的信息化、智能化、集成化和网络化为核心,全面运用信息、通信、控制及计算机等高新技术,结合交通系统工程的特点,大力改进和实现交通系统的现代化,以便迎接 21 世纪全球经济一体化的挑战。

这套教材具有“厚基础、强背景、宽专业、重综合”,以及交叉多门学科领域的实用型信息工程专业本科教材的特点,主要为交通信息工程应用类,但对于其他实用型信息工程类专业(如经济信息、社会信息、军事信息、人文信息、医学信息、工程信息等)也具有一定的参考价值,同时也可以作为成人教育、网络教育、高职教育、人员培训等授课教材,同样也适合自学者使用。

这套教材的内容结构是围绕着综合交通系统的信息化和智能化,全方位地展示各种新技术和新方法,并强调理论联系实际,专业基础教材有练习,专业教材有案例。同时,紧密配合本科教学计划和课程体系,着重于基本原理和实用技术方面的内容,体现知识和技能的有机结合,全面培养学生理论分析和独立解决问题的能力,进一步拓展知识面,激发学生学习的积极性和创新意识。

这套教材可以按照教学计划和课程体系分别安排在不同学年的专业基础类和专业类课程系列内,并根据教学大纲和教学时数安排为必修课或选修课。

张 煦
2003年12月5日

前 言

从信息论的观点来研究信息传输技术是撰写本书的宗旨。随着信息时代的脚步越来越临近,全世界信息产业蓬勃发展,已将信息传输这门学科推向最新的科技前沿。信息传输是所有信息系统不可缺少的重要内容,而且在一定程度上决定了信息系统的服务质量和应用价值。从历史的沿革出发,信息传输技术是从传输话音信息开始,习惯上称为模拟通信时代。经过百年来的更新改造,目前信息传输的对象已经不限于话音信息,而是非话业务信息越来越占有很大的比例。特别是集话音、文字、图像、数据、音频视频业务为一体的综合业务数字信息(也称多媒体信息)得到了广泛应用。包括文体传媒在内的各种应用信息领域都要求建立宽带高速信息传输系统;在金融保险、证券交易等场所又要求建立可靠和安全的信息传输系统。所有这些都说明信息传输技术在信息时代的地位和作用越来越重要,各种各样的信息资源都要依靠信息传输系统来开发应用。与此同时,信息产业的飞快发展,也推动了信息传输技术自身的创新和改造,从模拟通信到数字通信,目前正朝着个体化、网络化、智能化的发展方向前进。这里有必要澄清一个基本概念,即信息传输与通信技术是否有区别?回答是:既相同,又有区别。在通信发展史上,曾经历过模拟通信和数字通信两个不同的时代,但是从信息传输的观点来理解,它们是统一的,只不过传输信息的对象和特征有所区别而已。另外,在模拟通信时代是以传输话音信息为主,但自从模拟信源可以改造成为数字信源后,话音和图像信息都可以成为数字通信的对象。再加上大量涌现的数据信息和音频视频业务,因此信息传输的对象已从原来的模拟信息转向包括数字话音在内的多媒体数字信息,而且后者的比例急速上升,成为信息传输的主要对象。可以这样来理解,信息传输已经突破了原来通信的概念,它包括传输所有的话音和非话业务信息,因此信息传输已经包含了通信的全部内容,并且极大地拓展了原有通信的业务功能。

循着上述思路,本书不同于作者原来撰写过的通信系统原理教材。本书的特点是在信息论的基础上强调信息传输的一致性和多样性,主要内容包括各类信息的传输原理,并着重分析各类信息系统的传输性能。具体内容除绪论外包括7章,其中第1章是信息和信息系统,着重介绍信息论的基本概念和有关信源与信道的物理特性和数学模型,还介绍两个应用信息系统。第2章是模拟信息传输,在对随机模拟信号和噪声分析的基础上,着重分析各种模拟信号调制的传输带宽和抗噪声性能,并指出其中的矛盾所在。第3章是数字信息传输,在分析基带传输信号的基础上着重讨论各种数字信号调制方式以及它们的传输性能,其中包括信息传输速率和误码率。第4章是数字信息编码,其中包括属于信源编码的模拟信号数字化方法和性能分析,重点是介绍属于信道编码的差错控制编码方法,其中包括线性分组码和卷积码。第5章是多媒体信息传输,在介绍不同媒体特征的基础上着重分析传输多媒体通信业务的特点和多媒体通信系统的实现方案。第6章是无线信息传输,该章简要介绍天线和电波传播方面的基本概念和计算方法,着重讨论无线信息传输的某些专门技术,包括多址技术和扩频技术。第7章是信息传输网络,其中除了电信网以外还包括计算机网和国际互联网,着重介绍各类网络的通信协议,特别是TCP/IP协议,最后还介绍了有线和无线接入网的多种方案。各章均配有小结和习题,便于教学。

本书按照交通信息工程专业本科教学计划的安排,属于专业基础课程教材或教学参考用书,因此着重于基本原理和方法的介绍。不涉及到专业课程所要讨论的内容,但又与专业课密切相关。本书针对交通信息工程专业的特点偏重于应用方面,因此除了必要的数学分析外尽量减少繁琐的数学推导,突出论述物理概念。另外,本书篇幅较大,内容较多,在使用时可根据教学时数灵活掌握。

本书也适用于其他各类应用信息工程专业、通信工程及相关专业的学生和工程技术人员参考使用。

编著者
2003年6月

目 录

0. 绪论	(1)
0.1 模拟通信	(1)
0.2 数字通信	(2)
0.3 网络通信	(4)
0.4 个人通信	(5)
0.5 信息传输业务	(6)
0.5.1 电话通信业务	(7)
0.5.2 电报通信业务	(7)
0.5.3 数据传输业务	(7)
0.5.4 图文传输业务	(7)
0.5.5 图像通信业务	(8)
0.5.6 网络通信业务	(8)
0.5.7 综合通信业务	(9)
0.5.8 增值通信业务	(10)
1. 信息与信息系统	(11)
1.1 信息与信息量	(11)
1.1.1 信息的定义与度量	(11)
1.1.2 信息熵	(15)
1.1.3 连续消息的信息量	(19)
1.2 信源模型	(22)
1.2.1 信源的物理特性	(22)
1.2.2 离散信源的熵	(26)
1.2.3 信源的冗余度与信源编码	(28)
1.2.4 连续信源的熵	(31)
1.3 信道模型	(34)
1.3.1 信道的物理特性	(34)
1.3.2 无干扰离散信道模型	(41)
1.3.3 有干扰离散信道模型	(44)
1.3.4 连续信道的信道容量	(47)
1.4 应用信息系统	(51)
1.4.1 社会信息系统	(51)
1.4.2 交通信息系统	(58)
1.5 小结	(63)
习题	(65)

2. 模拟信息传输	(67)
2.1 随机模拟信号	(67)
2.1.1 随机过程及其统计特性	(67)
2.1.2 平稳随机过程	(73)
2.1.3 随机信号的频谱特性	(76)
2.2 随机噪声分析	(79)
2.2.1 高斯型白噪声	(79)
2.2.2 窄带高斯噪声	(82)
2.2.3 余弦信号加窄带高斯噪声	(86)
2.3 模拟信号调制	(88)
2.3.1 幅度调制(AM)	(89)
2.3.2 频率调制(FM)	(93)
2.3.3 相位调制(PM)	(105)
2.4 模拟信号解调	(108)
2.4.1 相干解调	(108)
2.4.2 非相干解调	(117)
2.5 小结	(125)
习题	(127)
 3. 数字信息传输	 (129)
3.1 数字基带信号	(129)
3.1.1 数字基带信号的码型	(129)
3.1.2 随机数字序列的功率谱	(132)
3.2 数字信号的基带传输	(137)
3.2.1 无码间串扰的基带传输特性	(138)
3.2.2 基带传输系统的抗噪声性能	(144)
3.3 基本的数字信号调制	(148)
3.3.1 幅移键控(ASK)	(148)
3.3.2 频移键控(FSK)	(150)
3.3.3 相移键控(PSK)	(154)
3.4 已调制数字信号的传输	(155)
3.4.1 ASK 信号的传输性能	(156)
3.4.2 FSK 信号的传输性能	(159)
3.4.3 PSK 信号的传输性能	(164)
3.5 多元数字调制	(169)
3.5.1 多元数字幅度调制(MASK)	(169)
3.5.2 多元数字频率调制(MFSK)	(170)
3.5.3 多元数字相位调制(MPSK)	(173)
3.5.4 多元数字调制的传输性能比较	(176)

3.6 先进的数字调制	(178)
3.6.1 正交调幅(QAM)	(178)
3.6.2 $\pi/4$ 偏移 QPSK	(181)
3.6.3 最小频移键控(MSK)	(182)
3.6.4 改进的 MSK 调制	(189)
3.7 小结	(191)
习题	(194)
4. 数字信息编码	(195)
4.1 模拟信号数字化	(195)
4.1.1 量化	(195)
4.1.2 编码	(201)
4.1.3 差分编码	(204)
4.2 差错控制编码	(208)
4.3 简单的检错码	(214)
4.4 线性分组码	(217)
4.4.1 一致监督矩阵和生成矩阵	(218)
4.4.2 线性分组码的伴随式	(221)
4.4.3 汉明码	(222)
4.5 循环码	(224)
4.5.1 码多项式	(224)
4.5.2 循环码的编码	(228)
4.5.3 循环码的译码	(230)
4.6 BCH 码和 RS 码	(231)
4.6.1 BCH 码的编译码	(231)
4.6.2 RS 码的编译码	(234)
4.7 卷积码	(236)
4.7.1 卷积码的编码	(236)
4.7.2 最大似然译码	(241)
4.7.3 维特比译码	(242)
4.8 交织码和级联码	(244)
4.9 网格编码调制(TCM)	(247)
4.10 小结	(251)
习题	(253)
5. 多媒体信息传输	(255)
5.1 多媒体信息的特征	(255)
5.2 多媒体通信业务	(257)
5.2.1 多媒体通信业务的类型	(257)

5.2.2 多媒体通信业务的功能模型	(260)
5.2.3 多媒体通信业务的服务质量(QoS)	(263)
5.3 多媒体通信终端	(263)
5.3.1 数据压缩技术及相关标准	(264)
5.3.2 多媒体通信终端的组成	(266)
5.4 多媒体通信网络	(269)
5.4.1 多媒体通信网络的功能	(269)
5.4.2 多媒体通信网络的业务配置	(270)
5.4.3 多媒体通信网络接口	(271)
5.4.4 多媒体通信网络协议	(274)
5.5 多媒体通信系统	(279)
5.5.1 基于 H.323 建议的电视会议系统	(279)
5.5.2 基于 H.321 建议的电视会议系统	(282)
5.5.3 基于 H.322 建议的可视电话系统	(283)
5.5.4 基于 H.324 建议的可视电话系统	(285)
5.5.5 基于 H.331 建议的电视会议系统	(286)
5.6 小结	(287)
习题	(288)
6. 无线信息传输	(289)
6.1 无线电波的辐射和接收	(289)
6.2 天线及其特性参数	(297)
6.3 电波传播及场强计算	(304)
6.3.1 自由空间中的传播	(304)
6.3.2 地球曲率的影响	(308)
6.3.3 大气不均匀性的影响	(309)
6.3.4 衰落和多径效应	(311)
6.4 多址技术	(312)
6.4.1 频分多址(FDMA)	(313)
6.4.2 时分多址(TDMA)	(315)
6.4.3 码分多址(CDMA)	(318)
6.5 扩频技术	(321)
6.5.1 直接序列扩频(DS-SS)	(323)
6.5.2 跳频扩频(FH-SS)	(327)
6.5.3 地址码	(333)
6.6 小结	(338)
习题	(341)

7. 信息传输网络	(342)
7.1 通信网的结构和分类	(342)
7.2 电路交换数据网	(345)
7.3 分组交换数据网	(348)
7.3.1 分组交换数据网的基本结构	(351)
7.3.2 分组数据通信协议	(353)
7.4 数字数据网和帧中继	(359)
7.4.1 数字数据网(DDN)	(359)
7.4.2 帧中继(FR)	(361)
7.5 局域网	(363)
7.5.1 局域网的拓扑结构	(364)
7.5.2 局域网的参考模型	(365)
7.5.3 高速局域网	(367)
7.5.4 无线局域网	(370)
7.6 综合业务数字网	(371)
7.6.1 ISDN 的功能特点	(371)
7.6.2 B-ISDN 和 ATM 技术	(375)
7.7 互连网	(379)
7.7.1 网络互连技术	(379)
7.7.2 国际互联网	(383)
7.8 接入网(AN)	(388)
7.8.1 有线接入网	(389)
7.8.2 无线接入网	(390)
7.9 小结	(393)
习题.....	(395)
 参考文献	 (396)

0. 绪论

本章将从信息传输技术和信息传输业务两个方面来论述它们各自的发展历史和现状,以及今后的发展方向。随着时代进步和科技创新,信息传输技术从模拟走向数字,信息传输业务也从单一走向综合,以便满足社会需求和经济发展,不断提高生活质量。

正如前言所述,“信息传输”是从信息科学的概念出发定义的,是信息系统中不可缺少的组成部分,在传统习惯上将它称为“通信”。因此,在本章及以后各章内均将“信息传输”与“通信”视为相同的内容,但用“信息传输”这个名词,其内涵更加广泛和深刻。

0.1 模拟通信

人类在长期的劳动和社会实践中不断地创造和发展文字,丰富了语言,并利用文字和语言充分地表达和交流人们的意志和感情,传递各种信息,推动了社会进步和经济发展。经过广大科技工作者的悉心研究和提炼加工,将传递信息和双向交流的工具逐步完善,其功能不断地由低级到高级发展,终于形成了一门独立的学科,这就是通信学,或称信息传输科学。

古代的通信方式比较简单,通信内容也很贫乏,例如人们使用信物、绳结、旗语、烽火、象形文字等作为通信工具,传递数字和文字信息。近代通信技术是与电的发明分不开的,因此也称电信技术,从 19 世纪 30 年代开始就有一系列的创造发明,如莫尔斯(Morse)发明电报、贝尔(Bell)发明电话、波波夫(Popov)和马可尼(Marconi)几乎同时发明无线电等,这些创造发明为 20 世纪通信技术的大发展奠定了坚实的基础。

20 世纪是通信技术发展的新纪元,它首先是从模拟通信开始的。所谓模拟通信是指在信道中所传递的信息是模拟量,相应的电信号是模拟波形。最初是以电子管作为主要的电子器件,用来发送和接收传输信号;到 20 世纪 40 年代末期晶体管的出现,给通信技术带来了生机,为通信设备的小型化和提高通信设备的可靠性起到了关键性的作用。但当时所采用的电子管或晶体管主要是实现有源模拟电路的功能,因此它们可以说是模拟通信时代的标志。

20 世纪初期所使用的传输线路一般是架空明线,后来改进为对称电缆和同轴电缆。由于电缆的通信质量明显优于架空明线,不仅传输带宽增加了成千倍,可以实现更多话路的复用;而且由于屏蔽效果好,通信质量大大提高。到 30 年代中期,由于采用了大同轴电缆传输话音,可以达到万路载波电话的复用程度;后来又可实现多路电话和电视信号同时传输,以

充分满足广大用户对通信的需求。

在无线通信领域,最初是依靠短波频率产生信号,它是利用电离层反射和折射原理,因此也称天波传输。其优点是传输距离远,但稳定性差,特别是要受到天气和时间的限制,通信质量不是很高。在某些应用领域,也可采用地波传输,它是依靠长波频率沿地表面传输信号,有时也可利用水面传输。其优点是通信稳定性好,但传输距离要受到地面(或水面)衰减的影响,不易实现远距离通信。从 20 世纪 60 年代开始发展微波和卫星通信,前者是在地面每隔 20~30km 建立中继站,因此也称微波接力通信。由于微波是利用空间波传输信号,要受到地形和雨雪等因素的衰减,因此直接传输距离有一定限制,需要增加中继站数目来实现远距离通信;但它的传输容量很大,可以连接万路载波机实现巨量多路传输,并且稳定性也比较好,一度受到通信界的青睐。卫星通信是在发射通信卫星的基础上转发传输信号,也是使用微波频率,因此容量大、稳定性好。卫星地面站利用大口径的抛物面天线,可以接收由卫星转发过来的微弱信号,并由高灵敏度的接收机提取信息。

在无线通信中还有一族是移动通信,最初用于车载电话,后来发展为便携式,它们都是使用超短波(例如 400MHz 和 800MHz)传输信号。老一代的移动电话都是模拟的,无论是蜂窝结构还是集群制式,所传输的信号都是模拟信号,因此音质不是很好,尤其是在大城市里要受到高层建筑的屏蔽影响,会恶化传输质量。但由于它使用方便灵活,建设周期快,特别适合于移动体的通信联络,因此很受用户市场的欢迎,它的发展速度是最快的。

从技术上来分析,上述模拟通信的最大特点是采用模拟调制方式,最早是调幅制和调频制,后来发展单边带和残留边带调制技术。调幅通信的优点是占用频带窄,因此节省频率资源;但它的抗干扰能力差,因此通信质量难以提高。调频通信则正相反,它的抗干扰能力很强,通信质量有明显改善;但它要占用很宽的频带,不利于频率复用。单边带调制则是模拟通信中的新技术,它不仅占用频带最少,而且抗干扰能力也很强,但它在技术上要求很高,特别是同步指标很严格,因此要采用锁相技术和频率合成器,这类调制方式在远洋通信中首先得到推广。

回顾模拟通信发展历史,它在通信技术上有过辉煌的一页,在推动通信学科发展中发挥过积极而又重要的作用,但由于它固有的缺点无法克服,不得不逐渐退出历史舞台,被日益兴旺发达的数字通信所替代。

0.2 数字通信

自从 1934 年美国学者李佛西(Reeves)提出脉冲编码调制(简称 PCM)的概念以后,应该说通信数字化的时代已经开始了,但数字通信的发展却是 20 世纪 70 年代以来的事情,数字通信的崛起说明了通信技术的重大革新和通信业务的飞速发展。随着时代的发展,通信用户不再满足于听清声音,而是要求看得见图像;通信终端不再是单一的电话机,而且要接传真机、计算机等一类数据终端;通信领域也不再是市内或国内,而更多的是国际和全球通信;通信业务也不再是简单的报话业务,而且更多的是数据业务,甚至包括集声音、图像和数据为一体的综合通信业务。这些通信需求对模拟通信来说已经难以胜任,甚至无法实现,只有依靠数字通信技术来解决。

众所周知,数字通信与模拟通信相比较,具有一系列优点:第一,用数字信号传递信息易于再生,防止干扰的积累;第二,数字信号便于连接各种数据终端、特别是计算机终端;第三,数字信号易于加密,可靠性好;第四,数字信息易于实现通信业务综合化,有利于组网传输;第五,数字信息的电子器件易于高度集成化,有利于通信设备的小型化和灵活性;第六,数字信息易于加工处理,有利于扩大通信容量和提高通信质量。诸多优点正是说明它在与模拟通信的竞争中具有绝对优势,它代表了通信技术的发展方向。

数字通信的崛起首先要归功于数字调制技术的发展。在模拟信号数字化方面,开始是采用脉冲编码调制(PCM)和增量调制(DM),后来改进为自适应脉冲编码调制(ADPCM),使语音信号数字化后的信息传输速率由原来的 64kb/s 减少到 32kb/s,既提高了通信效率,又没有使通信质量受到影响。为了进一步降低数字语音信号的信息传输速率,可以采用数字信号处理技术,在保证通信质量的前提下出现了许多中速率(传输速率在 9.6~32kb/s 之间)和低速率(传输速率在 9.6kb/s 以下)的数字语音声码器,例如自适应预测编码(APC)、残余激励线性预测(RELP)、脉冲激励线性预测(RPELP)、多脉冲激励线性预测(MELP)以及码本激励预测(CELP)等,后者已有国际标准,并首先在数字移动通信中推广使用,它的信息传输速率只有 4.8kb/s,而通话质量可以达到国际电话的音质要求。

在数字调制方面也有很大发展,从开始时的二元调制(包括幅度键控 ASK、频率键控 FSK 和相位键控 PSK)发展到多元调制技术,极大地提高了数字信号传输的频带利用率,而且改善了误码性能。先后采用的多元数字调制技术有连续相位调制(CPM)、多元相位调制(MPSK)、正交幅度调制(QAM),以及网格编码调制(TCM)等,特别是后者从 1982 年诞生以来引起了广大通信工作者的兴趣,它是将编码技术与调制技术有机地融合一体,依靠卷积码的良好抗干扰特性,即使在信噪比极差的条件下仍能改善误码性能;同时它又保持了极高的频带利用率,目前这种数字调制技术已经得到实用化。

为了传输高速率的多路复用数字信号,必须提供高速电子器件和宽带传输信道,它们是实现数字通信的基础技术。自从 1948 年出现第一只晶体管以来,微电子技术得到了突飞猛进的发展,如果以 1960 年的晶体管大小约有 1cm 为例,到 1970 年一只晶体管的大小就降到大约 $10\mu\text{m}$,1985 年降到 $1\mu\text{m}$,到 20 世纪末可以降到 $0.1\mu\text{m}$ 左右,即一根头发丝的横截面内可以集成 5 万个晶体管。微电子技术的集成度是沿着单个晶体管发展到中小规模集成电路,再发展到大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)和甚大规模集成电路(ULSI)的轨道前进,并且随着集成度的提高,微电子芯片的功能却越来越大,成本就越来越低。例如 1970 年在一个芯片上只能存储几行文字内容,到 1980 年就能存储一整页文稿,到 20 世纪 90 年代已能存储一本书的内容,预计到 21 世纪初期就能将一部百科全书的内容全部存储在一个芯片上;而芯片的成本却以每年 20%到 30%的速度在下降。不仅是芯片的存储容量扩大,而且还表现在信号处理的速度加快,例如在 1950 年需要用 100 年时间处理的数据量,到 20 世纪 90 年代就可以在千分之一秒内全部处理完毕,也就是说信号处理速度在过去的 40 年间大约提高了 10^{12} 倍,这些成就有可能用快速信号处理芯片来集成灵巧的便携式移动电话(俗称手机)或笔记本电脑。

宽带传输信道的发展离不开光纤通信和卫星通信技术。自从 1970 年发明光导纤维以来,一直受到人们的重视,并且开辟了光电通信的新时代。由于它在传输信号时具有一系列优点,例如频带宽、损耗低、串扰小、传输性能稳定等,因此对光纤通信技术的研究在世界各

国掀起了高潮,传输速率越来越高,传输距离越来越长,特别适合于高速数据传输。在光纤通信中开始是采用短波长($0.85\mu\text{m}$)光纤传输,后来向长波长($1.3\mu\text{m}$)光纤发展,其原因是后者传输损耗更小,因而中继距离可以增长,有利于远距离传输。根据理论计算,理想的传输波长应该是 $1.55\mu\text{m}$,此时传输损耗接近于零。另外,在光纤结构上从多模光纤向单模光纤发展,后者在传输容量方面要比前者大得多。如果以 1980 年为例,一对光纤的传输速率为 44.7Mb/s ,可以传输 672 路电话和 1 路电视;到 1991 年,一对光纤就可以传输 2488Mb/s 速率,即容纳 32256 路电话和 48 路电视信号,可见在十年内传输速率和传输容量方面的发展速度是惊人的。目前在光纤信道内传输的信息速率已经达到每秒千兆比特的数量级,甚至更高。

现在再来观察另一种宽带传输信道,即卫星通信。1965 年美国发射第一代国际同步卫星,定位于大西洋上空,可以传输 240 路电话和 1 路电视信号,这就标志着卫星通信时代的到来。接着发射第二代国际通信卫星,定位于大西洋—印度洋上空;第三代国际通信卫星定位于太平洋—大西洋—印度洋上空,从此卫星通信可以覆盖全球,每个转发器的传输容量已增加到 1200 路电话和 1 路电视。到 1992 年已发射第七代国际通信卫星,除了进一步增加传输容量以满足广大用户需求外,还设法延长通信卫星的使用寿命,以便降低通信成本。除了国际卫星通信以外,各通信发达国家还研制和发射国内通信卫星,用来弥补光纤通信难以到达的地区,或满足军事、公安、交通、防灾等部门的通信需求。最早的卫星通信是采用模拟调制方式,即调频/时分多址(简称 FM/TDMA)和频分复用多址(PCM/FDMA)两种制式。对于容量不大的低速用户,可以采用小口径终端数据卫星通信(简称 VSAT)系统,它的优点是天线直径不到 1m ,比一般卫星地面站的天线要小得多,传输速率可达 57.6kb/s ,有单独的网络管理和控制功能。中等容量的用户可以采用频分复用多址系统,它要比模拟调制的频分复用系统容量提高 4 倍左右,例如国际商业服务的 IBS 系统,其传输速率由 64kb/s 到 8.448Mb/s 不等,可按用户需求来选择。如果是传输多路电话为主,则可采用 IDR 系统,它的传输速率与 30 路 PCM 电话的数据率相同,即 2.048Mb/s 。对于容量较大的高速用户来说,应该采用时分复用多址系统,其传输速率已可达到 120Mb/s ,相当于 3300 路 PCM 电话信号。如果在通信卫星上安置 4 个转发器,每个转发器的容量是 25Mb/s ,则其总的传输速率就可实现 100Mb/s ,代表了最先进的数字卫星系统。在数字卫星通信中还有一类是移动卫星通信,例如美国研制开发的低轨道、铱卫星电话系统。

0.3 网络通信

尽管在 20 世纪内通信技术得到了突飞猛进的发展,但是随着科学技术的不断进步,特别是用户需求的不断提高,新的通信市场正在不断扩大,使得通信技术面临着进一步发展的机遇和挑战,面向 21 世纪的通信技术将朝着网络化和个人化的方向发展。

通信网络同样也经历着从模拟到数字,从单一功能到综合业务的发展过程。在模拟通信时代以步进制和纵横制交换机为代表的电路交换系统构成了模拟通信网络的主体,它包括地区电话网和长途电话网。自从数字通信的崛起,改用数字程控交换机来交换话音信号,所传送的数据是采用分组交换技术,因此出现了程控交换网和分组交换网。分组网最初是