

# 图像通信与图像处理

TUXIANG TONGXIN YU TUXIANG CHULI

杨济安 编著

19.8  
7

重庆大学出版社

# 图像通信与图像处理

杨济安 编著

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书是多媒体通信信息处理尤其是图像媒体通信与信息处理方面的一本专著,它是结合当今信息通信与信息处理的需要及本人多年的教学实践经验编写而成的。全书共分7章,重点讨论了数字图像通信与信息处理中的基本概念、基本理论及基本算法。特别对图像通信、图像变换、图像编码(含小波现代编码)、多维图像增强、多维图像复原重建及国内外数字图像处理系统的分类与举例等内容作了详尽的阐述。每个章节有一定的独立性,同时又保持了它们的连贯性与系统性,各章结尾均附有习题,便于学习者选用。

本书可作为高等院校通信与电子工程、信号与信息处理、信息科学与计算机应用等专业研究生与高年级本科生的试用教材,也可作为邮电高校师生及相关专业科技人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

图像通信与图像处理/杨济安编著. —重庆:重庆大学出版社,2003.2  
ISBN 7-5624-2773-9

I. 图... II. 杨... III. ①数字通信:图像通信②数字图像处理  
IV. TP919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 006267 号

## 图像通信与图像处理

杨济安 编著

责任编辑:曾令维 周立 版式设计:周立  
责任校对:蓝安梅 责任印制:张永洋

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

四川外语学院印刷厂印刷

\*

开本:850×1168 1/32 印张:5.375 字数:144千

2003年2月第1版 2003年2月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-2773-9/TN·69 定价:15.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

# 前 言

通信已在现代信息社会中起着非常重要的作用,现代通信系统犹如人们的神经系统。尤其近十年以来,随着现代通信技术与计算机技术的蓬勃发展,人们对各种视频和多媒体信息的需求日益增长。特别出现诸如静止或彩色图像的传递,航天器与军事卫星发回地球的图像信息的复原与重建等新的通信任务,依靠已有的电报、电话通信方式是无能为力的,只有借助于最近兴起的多媒体通信中的图像通信与图像处理技术才能完成。这是通信发展的必然,也是人类社会进步所期望的。因为图像通信与图像处理能充分利用人们的视觉特性,其通信灵敏度最高,传递的信息量最大。因此目前世界各国均投入巨资开发这一最新科技领域。

图像通信传递的是视觉信息,通过计算机及其网络共同完成多媒体通信中的人与人之间、人与机器之间的信息交流与传输,达到视觉信息在接收端的真迹重视或有形重现,以充分满足信息社会的要求。图像处理技术是在图像通信的基础上发展起来的又一新兴学科。它可以将传递的图像信源进行编码压缩、对接收的退化图像实现信息增强与重建,其基本功能是将退化的图像恢复其本来面貌。今天这一技术已在航天、遥感、军事通信及医疗等方面得到广泛的应用,它已成为当今具有强大生命力的高新技术。

本书是一本关于图像通信与图像处理方面的专著,它根据当前信息通信与信息处理的需要,共编著成7章,重点讨论了图像通信与图像处理方面的基本概念、基本理论及基本算法。可划分为5大部分:第1部分(第1章,第2章)较详细地概述了图像通信与图像处理的发展过程及多维数字图像的基本概念;第2部分(第3章)扼要论述了二维图像的变换、表示及其实现方法;第3部分(第4章)重点讨论了多维图像信源的编码压缩理论与编码方法,

特别对彩色图像编码及小波变换编码作了详尽的讨论;第4部分(第5章)主要介绍了图像信息增强技术的几种典型方法,并对图像伪彩色与假彩色处理作了较全面的论述;第5部分(第6章)重点阐述了图像退化模型、退化图像的恢复与重建的理论与方法;最后还介绍了国内外数字图像处理系统的典型例子。为了教学需要,本书每一章的后面均附有少量的基本习题,供师生选用。

本书虽已给研究生讲授了数遍,而且作了两次重大修改,但尚感不理想,因它涉及的知识面广,编写的难度大。在编著的过程中曾得到重庆大学李时光教授,重庆邮电学院刘光明教授的全力校审,并提出了宝贵的意见,还得到重庆邮电学院图像传真研究室的邱慧敏、黄启宏等研究生的热情支持,促使本书早日问世,在此对他们的关心与帮助表示衷心感谢。由于编者水平有限,时间仓促,书中难免出现差错,诚恳希望读者、同仁及专家批评指正。

编者  
2002年12月



**杨济安** 教授 男,1939年12月生。中共党员。毕业于北京邮电学院有线电系。现任重庆邮电学院多媒体教授、研究生导师,原电信工程系主任。系中国通信学会委员、高级会员、重庆电子学会理事。从事教育工作多年,讲授通信原理、数字传真技术及数字图像与多维信号处理等九门课程。主要指导研究生及对本科生与专科生的授课。两次获得优秀教师称号。1990年获院首届优秀教学成果二等奖及优秀教材三等奖,1994年又获第二本优秀教材三等奖。在这期间进行的科研工作也取得优秀成果,如研制我国第一代BC001-Ⅱ型文件传真机,BC120型高速电信传真机及BC003、BC004型相片传真机等,分别获得国家科技大会奖与广西科技大会奖。现指导十余名硕士研究生,从事多媒体信息处理与传输的研究工作,正在进行小波理论在图像压缩和信号消噪等方面的研究。在学术活动中曾撰写了专业学术论文46篇,参加全国大型的学术研讨会并于大会交流,全部刊登在全国相关重要杂志上,其中有8篇被评为四川省科协及重庆市科协优秀论文,获得四川省、重庆市科协嘉奖。

邮政编码:400065

通讯地址:重庆市重庆邮电学院

电话:023-62461147

# 目 录

第 1 章 图像通信与图像处理概述	1
1.1 图像通信与数字图像处理学科的兴起	1
1.1.1 图像通信的发展过程	1
1.1.2 图像处理的发展与应用	4
1.2 现代通信的两大分支	6
1.2.1 语音(电话)通信[ Language(Telephone) Communication ]	6
1.2.2 图像(图片)通信[ Image(Picture) Communication ]	7
1.3 图像通信的基本分类与其特点	7
1.3.1 图像通信的分类	7
1.3.2 图像通信的特点	9
1.4 图像信号的灰度表示	12
1.5 图像质量的评定标准	15
1.6 图像通信系统的组成及其各部分的功能	17
1.6.1 模拟图像通信系统	17
1.6.2 数字图像通信系统	17
1.6.3 数字图像通信系统与模拟图像通信系统的比较	18
习题	19
第 2 章 多维图像信号及其数字化	20
2.1 一维空间函数及其频谱	20
2.2 二维空间函数及其频谱	21
2.3 二维抽样定理及应用	23

2.3.1	二维抽样信号及其频谱函数 .....	23
2.3.2	从二维抽样信号中恢复原空间图像信号 .....	25
2.4	空间图像灰度级的量化 .....	27
2.4.1	量化与量化误差的概念 .....	27
2.4.2	最佳量化器 .....	30
2.5	数字图像的概念 .....	38
	习题 .....	40
<b>第3章</b>	<b>数字图像的变换及实现 .....</b>	<b>41</b>
3.1	二维连续图像的傅立叶变换 .....	42
3.1.1	变换式 .....	42
3.1.2	连续变换的幅度谱、相位谱及能量谱表达式 .....	42
3.2	二维离散图像的傅立叶变换 .....	43
3.2.1	变换式 .....	43
3.2.2	离散变换的幅度谱、相位谱及能量谱表达式 .....	44
3.3	二维离散傅立叶变换(DFT)的主要性质 .....	44
3.3.1	变换核可分离性 .....	44
3.3.2	变换平移性 .....	46
3.3.3	旋转不变性 .....	48
3.3.4	尺寸成比例性 .....	48
3.3.5	卷积定理 .....	51
3.4	数字图像变换的实现 .....	52
3.4.1	利用二维离散傅立叶变换核的可分离性将二维 DFT 转化为两个一维 DFT 来实现 .....	53
3.4.2	利用伊克兰茨(Eklandh)转置运算法来实现 .....	54
3.5	二维离散图像变换的一般表达式 .....	56
3.5.1	图像变换的代数表达式 .....	56
3.5.2	图像变换的矩阵表达式 .....	58
	习题 .....	59



<b>第 4 章 多维图像信源压缩编码的理论与方法</b> .....	61
4.1 灰度图像的方块平面编码 [BPC] .....	61
4.1.1 方块平面编码步骤及其编码方程 .....	62
4.1.2 方块平面编码举例 .....	63
4.1.3 选择亮度阈值的途径 .....	65
4.2 灰度图像比特平面编码 [BTC] .....	66
4.2.1 比特平面编码方法 .....	66
4.2.2 比特平面编码压缩比 $C_r$ 的定义 .....	67
4.2.3 提高压缩比 $C_r$ 的途径 .....	68
4.3 灰度与彩色静止图像编码 .....	71
4.3.1 JPEG 的压缩标准 .....	71
4.3.2 灰度与彩色图像的编码过程 .....	72
4.3.3 连续色调图像压缩质量评价 .....	75
4.4 彩色活动图像的压缩编码 .....	76
4.4.1 MPEG 的压缩标准 .....	76
4.4.2 MPEG 的压缩算法 .....	76
4.4.3 MPEG 的特点与质量 .....	81
4.5 小波变换现代编码 .....	83
4.5.1 小波变换 [WT] (Wavelet Transform) 的优越性 .....	83
4.5.2 小波变换的定义 .....	84
4.5.3 快速小波 Mallat 算法 .....	86
4.5.4 图像小波变换的现代编码 .....	90
习题 .....	92
<b>第 5 章 多维图像增强技术</b> .....	94
5.1 灰度直方图均匀化 .....	94
5.1.1 灰度直方图 .....	94
5.1.2 灰度映射及其对分布曲线的影响 .....	96
5.1.3 直方图均匀化 .....	99

5.2	直方图改善(匹配)	108
5.2.1	连续图像直方图改善(匹配)原理	108
5.2.2	离散图像直方图改善(匹配)原理	110
5.3	图像的平滑法	113
5.3.1	空域消噪平滑法	113
5.3.2	频域消噪平滑法	117
5.4	图像的伪彩色处理[ False color processing ]	122
5.4.1	灰度分层法	122
5.4.2	三基色变换法	122
5.5	图像的假彩色处理[ Pseudo color processing ]	125
	习题	127
<b>第6章</b>	<b>多维图像的复原与重建</b>	<b>129</b>
6.1	图像的退化模型及其表达式	130
6.1.1	退化模型	130
6.1.2	退化模型的表达式	130
6.2	图像复原的反向滤波器法	134
6.2.1	当噪声为零时[ $n_e(x,y) = 0$ ]反向滤波	134
6.2.2	当噪声不为零时[ $n_e(x,y) \neq 0$ ]反向滤波	135
6.2.3	反向滤波器法的改进	136
6.3	约束最小平方滤波器法	137
6.4	图像的重建技术	139
6.4.1	投影迭代法	140
6.4.2	投影迭代法的近似算法	142
6.5	图像重建技术的应用	144
	习题	146
<b>第7章</b>	<b>数字图像处理系统</b>	<b>148</b>
7.1	数字图像处理技术的分类与应用	148

7.1.1	数字图像处理技术的分类 .....	148
7.1.2	数字图像处理技术的应用 .....	149
7.2	数字图像处理系统 .....	154
7.2.1	图像输入设备 .....	154
7.2.2	主计算机和图像阵列处理机 .....	155
7.2.3	交互控制设备 .....	156
7.2.4	图像输出设备 .....	156
7.2.5	主机外部设备 .....	156
7.3	当前数字图像处理系统举例 .....	156
7.3.1	美国匹兹堡大学的数字图像处理系统 .....	156
7.3.2	瑞典国防研究院的图像处理系统 .....	158
7.3.3	重庆邮电学院数字图像处理系统(WT—2(3))型简介 ..	159
	习题 .....	160
	<b>主要参考文献</b> .....	161

# 第 1 章 图像通信与图像处理概述

## 1.1 图像通信与数字图像处理学科的兴起

通信在现代信息社会中起着非常重要的作用,现代通信系统犹如人们的神经系统,它的发生与发展经过了一个漫长的历史过程:从人们的击鼓、烽火及轻骑等初级传递信息阶段逐步发展由驿站与邮政传递文字信息阶段。自 1876 年美国贝尔发明电话机以来,语音通信到今天已发展得十分成熟,应用也极为普及。语音(电话)信息的传递已越过空间地域的界限,它可以通过多种网络信道快速地将信息从发端送到收端,这种通信方式人们称之为通信史上的第一次革命。随着通信内容的不断发展与丰富,其中不少通信业务如静止图像和活动图像、军事地图和卫星地图、黑白二值图像和多值彩色图像等业务,原来的电话通信(含用户电报通信)手段,已无法完成上述信息的传输,随着通信事业的发展,相继出现能传递图像信息的图像通信,这种通信能充分利用人的视觉特性,其通信灵敏度高出语音通信的若干个数量级,人们又称此通信方式是人类通信史上的第二次革命。由于图像通信技术与图像处理技术的强大生命力,目前各国已投入巨资,发展其通信领域内的信息产业,开发与应用图像通信和图像处理技术已形成新的热潮。

### 1.1.1 图像通信的发展过程

图像通信的最早形式是传真通信(Facsimile Communication),它主要传递静止图像信息。在 19 世纪 40 年代首先在英国问世,到了 20 世纪 20 年代传真技术已基本成熟,二次世界大战期间

(20 世纪 30 ~ 40 年代), 传真开始进入实用阶段, 20 世纪 70 年代以后, 它以前所未有的速度将传真通信推到了鼎盛的发展时期。

在传真通信的发展过程中, 其端机由一类机 (G1) 传送一页 ISO A4 尺寸的图像文件需要 6min, 到二类机 (G2) 仅需时 3min, 进而发展到三类机 (G3) 需时 15s 左右, 直到最新问世的四类机 (G4) 需时只要 5s。传真通信传输的过程是: 发送端将原稿图像经扫描与光/电变换为电图像信号, 经过抽样量化后进行减少信源信息冗余度的编码压缩处理, 以数字调制方式将信号发送到传输信道, 在接收端通过解调将信道上传来的信号恢复为代码信号, 最后再经过解码扩张还原为电图像信号, 以硬拷贝形式重现原图像 (即拷贝图像)。在静止传真图像的传输过程中利用了原 CCITT (ITU) 推荐的 T. 30 及 T. 4 等建议, 确定编码方案及传输规程, 以其中的一维改进型的霍夫曼码 (MHC) 及二维改进型的相对边缘地址码 (MRC) 的 I、II 型方案作为标准编码方案, 这样可以大大提高传输信息的速度, 也保证了信息的传输质量。相信随着超大规模集成电路和计算机技术的不断发展, 这种通信方式将在图像通信与办公自动化的过程中进一步显示出其强大的生命力。

电视电话 (Videophone) 是图像通信中的又一个重要组成部分。电视电话机在 1964 年美国纽约国际博览会上首次和观众见面, 其型号为: picturephone-MOD- I, 到 20 世纪 70 年代, 电视电话开始步入商用阶段, 其传输频率为 1MHz (模拟)。开始因设备成本昂贵及占用频带较宽等原因, 长期没有推广使用。后来由于数据处理技术的发展, 人们通过频带压缩手段, 减少信源信息的冗余度措施, 提高了信息的传输速度, 实现了在 64kb/s 的速率下良好的图像通信, 目前正在研究在 48kb/s 的速率下实现图像信息的传输。

会议电视是图像通信的另一种形式。它最早诞生在美国贝尔实验室。20 世纪 70 年代中期, 随着数字编码技术的发展先后出现了 6.3Mb/s 和 1.5Mb/s 的会议电视系统。1977 年美国通过卫星会议电视系统召开了全国订货会议, 20 世纪 80 年代利用会议

电视系统又召开了欧洲、美洲、亚洲的全球电视会议。当时参加的国家有瑞典、希腊、美国、墨西哥、阿根廷及亚洲的印度等,美国当时有5万人参加了会议。今天会议电视系统得到了进一步的完善与发展,已经出现了数码率为384kb/s,768kb/s及更高的会议电视系统,这样的数码率有利于视频信号进入综合业务数字网(ISDN)。

广播电视是图像通信中极其重要的组成内容。它主要传递活动图像中的彩色与黑白信息,它的出现使人们从以听觉为主的语音通信转变为以视觉为主的图像通信阶段。早在1925年首先在英国实现单色电视广播通信,1940年开始进行彩色电视传输。1948年美国已有数百万台电视端机,接着又出现了各种制式的电视系统,如北美与日本推广采用了“NTSC”制式,欧洲、非洲及我国采用了“PAL”制式,东欧、法国及俄罗斯等采用了“SECAM”制式。随着电视制式的标准化又进一步推动了广播电视的发展,今天高清晰度数字电视(HDTV)系统的问世,将大大提高广播电视的质量。尤其是数字彩色电视信号的数码率已达140Mb/s以上,通过编码压缩它可降为34Mb/s,即可以在数字通信系统的三次群上传输。目前电视图像的编码压缩方法可以采用线性预测编码和变换编码来实现,其中预测编码主要采用帧间与帧间线性预测和自适应预测编码来实现。变换编码开始采用1968年由Pratt提出的傅立叶变换编码来实现,后来相继采用了Hadamard变换、Walsh变换、斜变换及K-L余弦变换等编码法实现。它们从信息的角度可减少图像信息的相关性(即信息冗余度),从频率的角度可以压缩频带宽度,降低数码率,从而取得更好的图像传输效果。

图像通信的发展,除了上述传真、电视电话、会议电视、广播电视等通信形式之外,还出现了诸如图文电视、可视图文及电缆电视(CATV)等形式,它们现已应用于国民经济的各个领域以及人们的日常生活之中。图像通信已在今天的信息社会中成为一条重要的信息传输途径,它将大大地促进全球性的信息交流,预计在本世纪它将达到极其光辉的顶点。

### 1.1.2 图像处理的发展与应用

数字图像处理,指的是使用计算机对图像信号进行快速处理。在20世纪50年代,美国在太空探索计划中首先研究并应用了数字图像处理技术。1964年美国喷气推进实验室(JPL:Jet Propulsion Laboratory)使用数字电子计算机首次对“徘徊者7号”太空船送回地球的4000多张月球图片进行处理,得到了前所未有的清晰度,从而揭开了月球表面神秘的面纱。后又利用数字图像处理技术对“观察者”太空船的登月飞行,“阿波罗”载人太空船登月飞行及“水手者”太空船靠近火星的飞行等发回的数万张图片进行处理,使图像信息得到了增强与复原。数字图像处理技术还在生物医学工程及军事侦察卫星通信领域得到充分应用,并取得了重大成功,如在中东海湾战争及巴尔干战争中,这种技术在战争制胜中发挥了重大作用。总之,这门数字图像处理技术已具有完整的理论体系和多门类的操作处理系统,已构成了新兴的独立的工程学科,进入了现代学科之林。

数字图像处理技术在20世纪60年代因客观需要而兴起,到20世纪90年代它已处于发展的全盛时期。首先是人们发现每天从客观外界获得的总信息量中的图像视觉信息占70%以上,因此开发人的视觉领域将成为各国充分利用图像媒体传递信息的必然途径。图像处理技术进一步发展的另一原因是计算机硬件(尤其是固体超大规模集成电路的出现)的开发与软件系统的进一步完善,导致数字图像处理技术的精度更高、成本更低、速度更快及灵活性更好。它将成为人们认识世界、改造世界强有力的工具,为人类开辟更高分辨率,取得理想的通信效果服务。

数字图像处理除了上述发展情况外,还在以下诸方面得到广泛应用:

#### (1) 在遥感技术中的应用

遥感图像信息必须通过计算机处理后才能得到人们所需要的信息与特征参量,才能宏观了解自然界的山川、森林、气象、农作物

与海洋资源,才能探明地下的宝藏。如 20 世纪 70 年代美国发射的第一颗陆地卫星就是通过对获取的遥感图片进行处理后达到上述目的。随后美国又陆续发射了海洋卫星、气象卫星及军用卫星,从而取得了大量遥感资料。当前世界上约有 150 多个国家利用遥感技术与图像处理技术相结合,取得了大量经济上与军事上的宝贵资料。

#### (2) 在生物医学工程上的应用

数字图像处理技术从它一诞生就运用于医学方面。20 世纪 60 年代首先在细胞分类、染色体分类及放射学分类等方面得到应用。在 20 世纪 70 年代研究 X 射线断层摄影技术(CT 技术)并取得了成功,同时又开发了白血球自动分类仪。20 世纪 80 年代美国梅约生物医学研究所又研制了 X 射线动态空间重建仪,将心脏的活动立体图像在数字图像处理技术中应用于四维空间的高度,大大促进了这门学科的发展。

#### (3) 在工业中的应用

从 20 世纪 70 年代初发达国家就将数字图像处理技术应用于工业领域,如研究机器人与生产自动化中需解决的视觉检验、零部件选取及过程控制等流程,均需用数字图像处理技术。只有这样才能提高产品质量,降低生产成本,检测出各种缺陷。如电子工业中集成电路芯片的自动定位及焊接中的焊缝自动跟踪、熔深的自适应控制等。

#### (4) 在军事及通信方面的应用

随着科学技术日新月异的发展,数字图像处理技术在国防及经济建设各方面的应用日益突出。所谓电子战、通信信息战,在一定程度上就决定于数字图像处理技术的应用深度与广度,这方面技术先进,那么成功的把握也就越大,战争胜利的机会就越多。如火炮的控制,导弹的制导,卫星的飞行轨迹;图像信息的压缩,退化图像的恢复与重建,信息的伪、假彩色化等;公安部的指纹照片,人头相片,视纹照片及图章等的识别;其他如字符的识别,信息的传输、显示及记录等均需数字图像处理技术才能完成。总之,图像通



信与数字图像处理技术是国防与经济建设中不可缺少的重要关键技术。

## 1.2 现代通信的两大分支

当今的人类社会,人们之间的交往是通过各种信息的传递来达到的。而通信信息(Communication Informations)又是千变万化的,它存在于宇宙和人类社会的各个方面。随着人类社会的不断发展和科学技术的不断进步,信息的转换、交流与传输也日益频繁与快速。特别是今天已进入到知识经济、信息经济的时代,各种信息是无所不有、无所不包,它标志着人类信息社会的来临。

所谓信息就是赋予媒体消息差别的程度或称之为事物变化的不稳定度。由于客观事物存在着千差万别,它才具有信息,才具有不可知性与不稳定性的关系。今天在人类社会主要存在哪些信息呢?以人们能接收的或能感觉到的信息大概有这几类:语音信息,如声音、音乐等;图像信息,如图片、符号、文字等;数据信息,如各种代码等;还有味觉、触觉及嗅觉信息等。从而组成了信息社会。人们通过各种信息的传递、交流、处理与变换来认识世界,从而改变世界。

所谓通信就是人们相互间或人们与外界环境间传递交流各种信息的全过程。按传递与交流信息的媒体来划分,当今的现代通信可以分为两大类型即两大分支:语言通信与图像通信(含数据通信)。它们是构成今天信息社会的主体——多媒体通信,它们是传输基本信息两个重要途径。

### 1.2.1 语音(电话)通信[Language(Telephone) Communication]

这种通信是传递人与人之间或人与机器之间的听觉信息(Hearing Information)的一种通信方式。早在1876年美国A. G. Bell发明电话机以来,这种通信方式已经过了四次更新换代,发展到今天已相当成熟与普及了,并组成了全球性的电话通信网络,它