

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

数字图像处理学

阮秋琦 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

附光盘 壹张

内 容 简 介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果。本书全面地、系统地介绍了数字图像处理学的基本理论和基本技术,并根据作者多年从事数字图像处理的教学科研的心得体会和科研成果列举了大量的实例,以供读者参考。

全书共分 10 章,其中包括:绪论,图像、图像系统与视觉系统,图像处理中的正交变换,图像增强,图像编码,图像复原,图像重建,图像分析,数学形态学原理,模式识别的理论和方法。在每一章的结尾都附有必要的思考题,供教学或自学练习,以便加深对本书所述内容的理解。同时,随本书还附有光盘一张。本书作者编制了一个数字图像处理软件。该软件既可作为教学演示和实验工具,也可以在实际图像处理中应用。

本书可供从事信号与信息处理、通信、自动控制、遥感、生物工程、医学、物理学、化学、计算机科学乃至经济、商务及社会科学的科研人员、大专院校的教师及本科生、研究生参考学习。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理学/阮秋琦编著 - 北京:电子工业出版社,2001 1

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-5053-6279-8

I 数 II 阮 III 数字图像处理-高等学校-教材 IV TN919 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 73101 号

丛 书 名: 面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

书 名: 数字图像处理学

编 著 者: 阮秋琦

责任编辑: 卢先河

特约编辑: 朱 宇

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京兴华印刷厂

装 订 者: 三河市双峰装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 36 字数: 915 千字 附光盘: 1 张

版 次: 2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6279-8
TN·1398

印 数: 6000 册 定价 49.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换,若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话: 68279077

出版说明

目前,高校正处于教改时期,新的专业目录已出台,从 99 年秋季开始,各院校开始按新的专业设置进行招生。这样,原来的教材体系结构就很难适应当前调整后的专业需要,因而需要对教材进行相应的改革。为了适应当前教材改革与教材建设的需要,1996 年教育部正式启动了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”,许多高等院校经数年的研究与实践,取得了许多重要成果。

为了配合全国各类高校电子信息类专业的教学改革与课程建设,推进高校电子信息类专业新教材的出版工作,在有关专家的倡议和有关部门的大力支持下,组织成立了全国高等学校电子信息类教材编委会;组织参加教育部组织的“电气信息类专业人才培养方案及教学内容课程体系改革的研究和实践”和“电工电子系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两项课题的若干著名大学和其他高校的有关教师,讨论怎样尽快落实和实施面向 21 世纪的新教材的编写与出版工作,制定了新的教材出版规划。参加教材编写和编审的学校有:东南大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、中国科技大学、华中理工大学、上海交通大学、西安交通大学、南京航空学院、天津大学、解放军信息工程大学等。

编委会一致认为,规划教材应该能够反映当前教学改革的需要,要有特色和一定的前瞻性。规划的教材由个人申报或各校推荐,经编委会认真评审,最后由出版社审定出版。这批规划教材都是教学改革力度大、有创新精神、有特色风格的教材和质量高、可读性好、可教性好的优秀教材,可满足各类高等学校 21 世纪初电子信息类专业及相关专业的教学需要。

限于我们的水平和经验,这批教材在编审、出版工作中还可能存在不少缺点和不足,希望使用本教材的教师、同学和其他广大读者提出批评和建议,以使教材质量不断提高,共同为建设电子信息类专业面向 21 世纪的新教材而努力。

全国高等学校电子信息类教材编委会
电子工业出版社

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材编审委员会成员名单

主任委员:林金桐

副主任委员:傅丰林 邹家骅 赵尔沅 沈永朝

委 员:林金桐 赵尔沅 乐光新 白中英

邹家骅 沈永朝 刘京南 沈嗣昌

傅丰林 廖桂生 史小卫 李建东

张传生 殷勤业 徐国治 徐佩霞

严国萍 朱定华 王 殊 邓建国

前 言

数字图像处理起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国的伦敦到美国的纽约采用数字压缩技术传输了第一幅数字照片。此后,由于遥感等领域的应用,使数字图像处理技术逐步受到关注并得到相应的发展。1964 年,美国的喷气推进实验室处理了由太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,标志着第三代计算机问世后数字图像处理开始得到普遍应用。由于 CT 的发明、应用及获得倍受科技界瞩目的诺贝尔奖,使得数字图像处理技术大放异彩。其后,数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理学、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域各学科之间学习和研究的对象。随着信息高速公路、数字地球概念的提出以及 Internet 的广泛应用,信息传输中的非话业务也会急剧地增长。其中,图像信息以其信息量大、传输速度快、作用距离远等一系列优点使其成为人类获取信息的重要来源及利用信息的重要手段。今天,随着科技的进步以及人类需求的多样化发展,使得多学科的交叉、融合成为现代科学发展的突出特色和重要途径。因此,数字图像处理科学与技术逐步向其他学科领域渗透,并与其他学科所利用是科学发展的必然。数字图像处理科学又是与国计民生紧密相连的一门应用科学,它已给人类带来了巨大的经济和社会效益,不久的将来它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。它的发展及应用与我国的现代化建设联系之密切、影响之深远是不可估量的。在信息社会中,数字图像处理科学无论是在理论上还是实践上都存在着巨大的潜力。

本书共分 10 章。书中根据作者多年教学及科研实践的体会并参考相关文献概括地描述了图像处理理论和技术所涉及各个分支。众所周知,图像处理理论和技术所包含的内容是如此之广阔,以至于各章都涉及更加专深的理论及内容,因此,每一个章节自成一书亦不为过。本书只能提纲挈领地介绍数字图像处理的基本理论和方法,其目的是使读者对数字图像处理学有一个全面的了解,以便为进一步深入研究打下一个扎实的基础。

本书还根据多年的实践编制了一套实验演示软件,该软件既可以作教学或自学演示,以便加深读者的感性认识,也可以在教学中用做实验软件或直接做图像处理之用。该软件附在书后光盘之中。

本书在编写中得到学校行政部门的大力支持,同时也得到本所博士生、硕士生王延江、邹国辉、刘汝杰、王海滨、陆宽、陆俊、舒志龙、张颖、黄有能等人的帮助。此外,书中还引用了一些论文和资料,对此,本人深表感谢。由于本人水平所限,书中一定会有许多不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2001 年 1 月于北方交通大学

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 序言	(1)
1.2 图像处理技术的分类	(2)
1.2.1 模拟图像处理	(2)
1.2.2 数字图像处理	(2)
1.3 数字图像处理的特点	(3)
1.4 数字图像处理的主要方法及主要内容	(4)
1.4.1 数字图像处理方法	(4)
1.4.2 数字图像处理的主要内容	(4)
1.5 数字图像处理的硬件设备	(8)
1.6 数字图像处理的应用	(9)
1.7 数字图像处理领域的发展动向	(12)
思考题	(13)
第2章 图像、图像系统与视觉系统	(15)
2.1 图像	(15)
2.1.1 有关光学的预备知识	(15)
2.1.2 图像的概念	(17)
2.1.3 图像信息的分类	(18)
2.1.4 图像的统计特性	(19)
2.1.5 图像信息的信息量	(24)
2.2 图像处理系统及外围设备	(25)
2.2.1 图像处理系统中常用的输入设备	(25)
2.2.2 图像处理中的输出设备	(37)
2.2.3 数字图像处理的主机系统	(41)
2.3 视觉系统	(45)
2.3.1 视觉系统的基本构造	(45)
2.3.2 光觉和色觉	(46)
2.4 光度学及色度学原理	(48)
2.4.1 颜色的表示方法及观察条件	(48)
2.4.2 三基色混色及色度表示原理	(49)
2.4.3 CIE的R、G、B颜色表示系统	(49)
2.5 亮度和颜色感觉的视觉特征	(51)
2.5.1 刺激强度与感觉的关系	(51)
2.5.2 亮度适应和颜色适应	(52)
2.5.3 亮度对比和颜色对比	(52)
2.5.4 颜色感觉与刺激面积的关系	(53)
2.5.5 主观颜色	(53)

2.5.6 记忆色	(53)
2.5.7 进入色、后退色、膨胀色、收缩色	(53)
2.5.8 颜色和爱好	(53)
2.6 视觉的空间性质	(53)
2.6.1 视力	(53)
2.6.2 视觉的空间频率特性	(54)
2.6.3 颜色辨别门限的空间频率特性	(56)
2.6.4 视觉的空间频率特性和图像的清晰度	(56)
2.7 视觉的时间特性	(57)
2.7.1 加入阶跃光波刺激的明暗感觉	(57)
2.7.2 闪烁	(57)
2.7.3 视觉空间频率特性和时间因素的关系	(58)
2.7.4 眼球运动和视觉的关系	(58)
2.7.5 运动的感觉	(58)
2.8 形状感觉与错觉	(60)
思考题	(61)
第3章 图像处理中的正交变换	(63)
3.1 傅里叶变换	(63)
3.1.1 傅里叶变换的定义及基本概念	(63)
3.1.2 傅里叶变换的性质	(66)
3.1.3 离散傅里叶变换	(68)
3.1.4 快速傅里叶变换(FFT)	(73)
3.1.5 用计算机实现快速傅里叶变换	(78)
3.1.6 二维离散傅里叶变换	(80)
3.2 离散余弦变换	(82)
3.2.1 离散余弦变换的定义	(82)
3.2.2 离散余弦变换的正交性	(83)
3.2.3 离散余弦变换的计算	(84)
3.3 沃尔什变换	(85)
3.3.1 正交函数的概念	(86)
3.3.2 拉德梅克函数	(87)
3.3.3 沃尔什函数	(88)
3.3.4 沃尔什函数的性质	(97)
3.3.5 沃尔什变换	(99)
3.3.6 离散沃尔什-哈达玛变换	(100)
3.3.7 离散沃尔什变换的性质	(101)
3.3.8 快速沃尔什变换	(107)
3.3.9 多维变换	(109)
3.4 哈尔函数及哈尔变换	(113)
3.4.1 哈尔函数的定义	(113)
3.4.2 哈尔函数的性质	(114)
3.4.3 哈尔变换及快速算法	(115)
3.5 斜矩阵与斜变换	(117)

3.5.1 斜矩阵的构成	(117)
3.5.2 斜变换	(121)
3.6 小波变换	(122)
3.6.1 概述	(122)
3.6.2 时-频分析	(123)
3.6.3 连续小波变换	(127)
3.6.4 离散小波变换	(134)
3.6.5 小波包	(143)
3.6.6 二维小波	(145)
3.6.7 Mallat 算法	(148)
附录 1 快速傅里叶变换与反变换程序实例	(152)
附录 2 快速余弦变换与反变换程序实例	(154)
附录 3 快速 Walsh-Hadamard 变换与反变换程序实例	(156)
附录 4 二维小波分解与重构程序实例	(157)
思考题	(178)
第 4 章 图像增强	(180)
4.1 用直方图修改技术进行图像增强	(181)
4.1.1 直方图	(181)
4.1.2 直方图修改技术的基础	(182)
4.1.3 直方图均衡化处理	(183)
4.1.4 直方图规定化处理	(187)
4.1.5 图像对比度处理	(192)
附录 5 直方图均衡处理程序实例	(195)
4.2 图像平滑化处理	(199)
4.2.1 邻域平均法	(200)
4.2.2 低通滤波法	(201)
4.2.3 多图像平均法	(203)
4.3 图像尖锐化处理	(204)
4.3.1 微分尖锐化处理	(204)
4.3.2 零交叉边缘检测	(206)
4.3.3 高通滤波法	(208)
4.4 利用同态系统进行增强处理	(211)
4.5 彩色图像处理	(212)
4.5.1 颜色基本原理	(214)
4.5.2 颜色模型	(216)
4.5.3 伪彩色图像处理	(222)
4.5.4 关于彩色显示	(227)
4.5.5 实时伪彩色增强系统	(228)
附录 6 伪彩色增强处理程序实例	(229)
思考题	(232)

第 5 章 图像编码	(234)
5.1 图像编码分类	(234)

5.2 图像编码中的保真度准则	(235)
5.2.1 客观保真度准则	(236)
5.2.2 主观保真度准则	(236)
5.3 PCM 编码	(237)
5.3.1 PCM 编码的基本原理	(237)
5.3.2 PCM 编码的量化噪声	(238)
5.3.3 编码器、译码器	(239)
5.3.4 非线性 PCM 编码	(241)
5.3.5 亚奈奎斯特取样 PCM 编码	(243)
5.4 统计编码	(246)
5.4.1 编码效率与冗余度	(246)
5.4.2 三种常用的统计编码法	(249)
5.5 预测编码	(260)
5.5.1 预测编码的基本原理	(260)
5.5.2 $\Delta M(DM)$ 编码	(263)
5.5.3 DPCM 编码	(270)
5.6 变换编码	(274)
5.6.1 几种特殊的映射变换编码法	(274)
5.6.2 正交变换编码	(280)
5.7 图像编码的国际标准	(291)
5.7.1 H.261 编码标准	(292)
5.7.2 H.261 解码原理	(300)
5.7.3 H.261 的图像复用编码	(300)
5.7.4 传输缓冲器与传输编码	(302)
思考题	(303)
第 6 章 图像复原	(305)
6.1 退化模型	(305)
6.1.1 系统 H 的基本定义	(305)
6.1.2 连续函数退化模型	(306)
6.1.3 离散的退化模型	(307)
6.2 复原的代数方法	(310)
6.2.1 非约束复原方法	(310)
6.2.2 约束复原法	(311)
6.3 逆滤波	(311)
6.3.1 逆滤波的基本原理	(311)
6.3.2 去除由均匀直线运动引起的模糊	(312)
6.4 最小二乘方滤波	(317)
6.4.1 最小二乘方滤波的原理	(317)
6.4.2 用于图像复原的几种最小二乘方滤波器	(319)
6.5 约束去卷积	(320)
6.6 中值滤波	(325)
6.6.1 中值滤波的基本原理	(325)

6.6.2 加权的中值滤波	(328)
6.7 几种其他空间复原技术	(330)
6.7.1 几何畸变校正	(330)
6.7.2 盲目图像复原	(331)
6.7.3 递归图像复原技术	(333)
附录7 模糊图像恢复处理程序实例	(337)
附录8 中值和均值滤波图像恢复处理程序实例	(354)
思考题	(361)
第7章 图像重建	(362)
7.1 概述	(362)
7.2 傅里叶变换重建	(363)
7.3 卷积法重建	(365)
7.4 代数重建方法	(367)
7.5 重建的优化问题	(370)
7.6 图像重建中的滤波器设计	(373)
7.7 重建图像的显示	(376)
7.7.1 重建图像的显示	(376)
7.7.2 单色显示	(377)
7.7.3 重建对象的显示	(380)
7.7.4 图像重建的应用	(387)
思考题	(389)
第8章 图像分析	(390)
8.1 分割	(390)
8.1.1 灰度阈值法分割	(390)
8.1.2 样板匹配	(393)
8.1.3 区域生长	(398)
8.1.4 区域聚合	(398)
8.2 描绘	(399)
8.2.1 区域描绘	(399)
8.2.2 关系描绘	(404)
8.2.3 相似性描绘	(415)
8.2.4 霍夫变换	(417)
8.3 纹理分析	(419)
8.3.1 纹理特征	(419)
8.3.2 用空间自相关函数作纹理测度	(420)
8.3.3 傅里叶功率谱法	(420)
8.3.4 联合概率矩阵法	(421)
8.3.5 灰度差分统计法	(423)
8.3.6 行程长度统计法	(423)
8.3.7 其他几种方法	(424)
8.3.8 纹理的句法结构分析法	(424)

8.4 形状分析的细线化	(425)
思考题	(428)
第9章 数学形态学原理	(429)
9.1 数学形态学的发展	(429)
9.2 数学形态学的基本概念和运算	(430)
9.2.1 数学形态学定量分析原则	(431)
9.2.2 数学形态学的基本定义及基本算法	(431)
9.3 一些基本形态学算法	(439)
9.3.1 边缘提取算法	(440)
9.3.2 区域填充算法	(440)
9.3.3 连接部分提取算法	(441)
9.3.4 凸壳算法	(442)
9.3.5 细化	(443)
9.3.6 粗化算法	(444)
9.3.7 骨骼化算法	(445)
9.3.8 裁剪	(446)
9.4 灰度图像的形态学处理	(450)
9.4.1 膨胀	(450)
9.4.2 腐蚀	(451)
9.4.3 开和闭运算	(452)
9.4.4 灰度形态学的应用	(453)
附录9 数学形态学处理程序实例	(456)
思考题	(480)
第10章 模式识别的理论和方法	(481)
10.1 概述	(481)
10.2 统计模式识别法	(483)
10.2.1 决策理论方法	(483)
10.2.2 统计分类法	(487)
10.2.3 特征的抽取与选择	(491)
10.3 句法结构模式识别	(493)
10.3.1 形式语言概述	(493)
10.3.2 句法结构方法	(501)
10.3.3 误差校正句法分析	(502)
10.3.4 文法推断	(511)
10.4 模糊集识别法简介	(515)
10.4.1 模糊集合及其运算	(516)
10.4.2 模糊关系及性质	(518)
10.4.3 模糊模式识别的方法	(521)
10.5 模式识别的几种应用	(525)
10.5.1 指纹识别	(526)
10.5.2 模式识别在医学上的应用	(526)
10.5.3 模式识别在自动检测中的应用	(526)

思考题..... (529)

附录 10 图像采集卡的参数及使用(供光盘中软件参考) (530)

参考文献 (559)

第 1 章 绪 论

1.1 序言

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。据统计,在人类接受的信息中,听觉信息占 20%,视觉信息占 60%,其他如味觉、触觉、嗅觉总的加起来不过占 20%。所以,作为传递信息的重要媒体和手段——图像信息是十分重要的,俗话说“百闻不如一见”、“一目了然”,都反映了图像在传递信息中的独到之处。从技术发展来看,图像通信却大大落后于语音通信,语音通信发展速度远比图像通信来得快,自从 Bell 发明电话以来,话音通信发展十分迅速,如:交换技术从人工交换到自动交换,交换机从步进制、纵横制到目前的程控交换机,发展相当快,而目前传统的电话通信又受到了 IP 电话的挑战。尤其是最近几年我国的通信事业发展速度之快是惊人的,已基本与世界水平接轨了。近年来,移动通信的发展亦十分迅速,蜂窝网、集群电话、无绳电话、无线寻呼, GSM、W-CDMA 等都获得了巨大成功, IMT2000 也正在迅速实施之中,个人通信的目标已离我们越来越近了。实际上,目前的蜂窝系统也是一种个人通信系统,尤其是具有漫游功能的手机就是一种个人通信方式,而最终发展的是个人号码式个人通信。电话机也可以做得很小,如卡片式,甚至可做成手表式或戒指式的电话机。近年来 IP 电话对传统的电话系统提出了强烈挑战,大有取而代之之势,其优点是明显的。

相比之下,图像通信就大大落后于语音通信了。虽然电视广播已普及到千家万户,但类似于电话通信网那样的图像通信网尚没有建立。尽管近年来伴随着多媒体通信的发展,可视电话、会议电视已有了较大的发展,相应的国际标准也纷纷制定出来了,也有了一些专业产品,但总体来看尚不够普遍,而且大都是在专业网下实现的图像通信,至于图像处理技术是在第三代计算机问世后才得到了迅速发展。目前,图像处理技术发展迅速,其应用领域也愈来愈广,有些技术已相当成熟并产生了惊人的效益。当前图像处理面临的主要任务是研究新的处理方法,构造新的处理系统,开拓更广泛的应用领域。

数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约传输了一幅照片,它采用了数字压缩技术。就 1920 年的技术水平来看,如果不压缩,传一幅图像要一星期时间,压缩后只需要了 3 小时。1964 年美国的喷气推进实验室处理了太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,这标志着第三代计算机问世后数字图像处理概念开始得到应用。其后,数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理学、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域各学科之间学习和研究的对象。如今图像处理技术已给人类带来了巨大的经济和社会效益。不久的将来它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。

图像处理科学对人类具有重要意义,它表现在如下三个方面。

(1) 图像是人们从客观世界获取信息的重要来源

人类是通过感觉器官从客观世界获取信息的,即通过耳、目、口、鼻、手通过听、看、味、嗅和

触摸的方式获取信息。在这些信息中,视觉信息占 60%~70%。视觉信息的特点是信息量大,传播速度快,作用距离远,有心理和生理作用,加上大脑的思维和联想,具有很强的判断能力。其次是人的视觉十分完善,人眼灵敏度高,鉴别能力强,不仅可以辨别景物,还能辨别人的情绪,由此可见,图像信息对人类来说是十分重要的。

(2) 图像信息处理是人类视觉延续的重要手段

众所周知,人的眼睛只能看到可见光部分,但就目前科技水平看,能够成像的并不仅仅是可见光。一般来说可见光的波长为 $0.38\sim 0.8\mu\text{m}$,而迄今为止人类发现可成像的射线已有多种,如:

γ 射线: $0.003\sim 0.03\text{nm}$;

X 射线: $0.03\sim 3\text{nm}$;

紫外线: $3\sim 300\text{nm}$;

红外线: $0.8\sim 300\mu\text{m}$;

微波: $0.3\sim 100\text{cm}$ 。

这些射线均可以成像。利用图像处理技术把这些不可见射线所成图像加以处理并转换成可见图像,实际上大大延伸了人类视觉器官的功能,扩大了人类认识客观世界的能力。

(3) 图像处理技术对国计民生有重要意义

图像处理技术发展到今天,许多技术已日趋成熟。在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益。如在工程领域、工业生产、军事、医学以及科学研究中的应用已十分普遍。通过分析资源卫星得到的照片可以获得地下矿藏资源的分布及埋藏量;利用红外线、微波遥感技术可侦查到隐蔽的军事设施;X 射线 CT 已广泛应用于临床诊断,由于它可得到人体内部器官的断层图像,因此,可准确地确定病灶位置,为诊断和治疗疾病带来了极大的方便。至于在工业生产中的设计自动化及产品质量检验中更是大有可为。在安全保障及监控方面图像处理技术更是不可缺少的基本技术,类似的应用例子随处可见。至于在通信及多媒体技术中图像处理更是重要的关键技术。因此,图像处理技术在国计民生中的重要意义是显而易见的。正因为如此,图像处理理论和技术受到了各界的广泛重视,科学工作者经过不懈的努力,已取得了令人瞩目的成就,并正在向更加深入及更高的层次发展。

1.2 图像处理技术的分类

图像处理技术基本可分为两大类:模拟图像处理和数字图像处理。

1.2.1 模拟图像处理

模拟图像处理(Analog Image Processing)包括 光学处理(利用透镜)和电子处理,如 照相、遥感图像处理、电视信号处理等。模拟图像处理的特点是速度快,一般为实时处理,理论上讲可达到光的速度,并可同时并行处理。电视图像是模拟信号处理的典型例子,它处理的是活动图像,25 帧/秒。模拟图像处理的缺点是精度较差,灵活性差,很难有判断能力和非线性处理能力。

1.2.2 数字图像处理

数字图像处理(Digital Image Processing)一般都用计算机处理或实时的硬件处理,因此也

称之为计算机图像处理(Computer Image Processing)。其优点是处理精度高,处理内容丰富,可进行复杂的非线性处理,有灵活的变通能力,一般来说只要改变软件就可以改变处理内容。其缺点是处理速度还是一个问题,特别是进行复杂的处理更是如此。一般情况下处理静止画面居多,如果实时处理一般精度的数字图像需要具有 100Mips 的处理能力;其次是分辨率及精度尚有一定限制,如一般精度图像是 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$,分辨率高的可达 $2048 \times 2048 \times 12\text{bit}$,如果精度及分辨率再高,所需处理时间将显著地增加。

广义上讲,一般的数字图像很难为人所理解,因此,数字图像处理也离不开模拟技术,为实现在人-机对话和自然的人机接口,特别需要人去参与观察和判断的情况下,模拟图像处理技术是必不可少的。

1.3 数字图像处理的特点

数字图像处理的特点表现在如下几个方面。

(1) 图像信息量大

在数字图像处理中,一幅图像可看成是由图像矩阵中的像素(pixel)组成的,每个像素的灰度级至少要用 6bit(单色图像)来表示,一般采用 8bit(彩色图像),高精度的可用 12bit 或 16bit。一般分辨率的图像像素数为 256×256 、 512×512 ,高分辨率图像像素数可达 1024×1024 或 2048×2048 。

例如: $256 \times 256 \times 8 \approx 64\text{kB}$

$512 \times 512 \times 8 \approx 256\text{kB}$

$1024 \times 1024 \times 8 \approx 1\text{MB}$

$2048 \times 2048 \times 8 \approx 4\text{MB}$

X 射线照片一般用 $64 \sim 256\text{kb}$ 的数据量,一幅遥感图像 $3240 \times 2340 \times 4 \approx 30\text{Mb}$,因此,大数据量给存储、传输和处理都带来巨大的困难。

(2) 图像处理技术综合性强

在数字图像处理中涉及的基础知识和专业技术相当广泛。一般来说涉及通信技术、计算机技术、电子技术、电视技术,至于涉及到的数学、物理学等方面的基础知识就更多。

当今的图像处理理论大多是通信理论的推广,只是把通信中的一维问题推广到二维,以便于分析,在此基础上,逐步发展自己的理论体系。因此,图像处理技术与通信技术休戚相关。

在图像处理工程中的信息获取和显示技术主要源于电视技术,其中的摄像、显示、同步等各项技术是必不可少的。

计算机已是图像处理的常规工具,在图像处理中涉及到软件、硬件、网络、接口等多项技术,特别是并行处理技术在实时图像处理中显得十分重要。

图像处理技术的发展涉及越来越多的基础理论知识,雄厚的数理基础及相关的边缘学科知识对图像处理科学的发展有越来越大的影响。总之,图像处理科学是一项涉及多学科的综合性科学。

(3) 图像信息理论与通信理论密切相关

早在 1948 年,Shannon 发表了“A Mathematical Theory of Communication”(通信中的数学理论)一文,奠定了信息论的基础。此后,信息理论渗透到了各个领域。图像信息论也属于信息论科学中的一个分支。从当今的理论发展看,我们可以说图像信息论是在通信理论研究的

基础上发展起来的。图像理论是把通信中的一维问题推广到二维空间上来研究的,也就是说,通信研究的是一维时间信息,图像研究的是二维空间信息;通信研究的是时间域和频率域的问题,图像理论研究的是空间域和空间频率域(或变换域)之间的关系;通信理论中认为:任何一个随时间变化的波形都是由许多频率不同、振幅不同的正弦波组合而成,图像理论认为:任何一幅平面图像是由许多频率、振幅不同的 X-Y 方向的空间频率波相叠加而成,高空间频率波决定图像的细节,低空间频率波决定图像的背景和动态范围。

总之,通信中的一维问题都可推广到二维,尽管有些理论尚不完全贴切,但对图像自身理论体系的形成有极大的借鉴意义。

1.4 数字图像处理的主要方法及主要内容

1.4.1 数字图像处理方法

数字图像处理方法大致可分为两大类,即:空域法和变换域法。

1. 空域法

这种方法是把图像看作是平面中各个像素组成的集合,然后直接对这一二维函数进行相应的处理。空域处理法主要有下面两大类:

(1) 邻域处理法

其中包括:梯度运算(Gradient Algorithm),拉普拉斯算子运算(Laplacian Operator),平滑算子运算(Smoothing Operator)和卷积运算(Convolution Algorithm)。

(2) 点处理法

灰度处理(grey processing),面积、周长、体积、重心运算等等。

2. 变换域法

数字图像处理的变换域处理方法是首先对图像进行正交变换,得到变换域系数阵列,然后再施行各种处理,处理后再反变换到空间域,得到处理结果。

这类处理包括:滤波、数据压缩、特征提取等处理。

1.4.2 数字图像处理的主要内容

完整的数字图像处理工程大体上可分为如下几个方面:图像信息的获取;图像信息的存储,图像信息的传送,图像信息处理;图像信息的输出和显示。

1 图像信息的获取(Image information acquisition)

就数字图像处理而言,主要是把一幅图像转换成适合输入计算机或数字设备的数字信号,这一过程主要包括摄取图像、光电转换及数字化等几个步骤。通常图像获取的方法有如下几种:

(1) 电视摄像机(Video Camera)

这是目前使用最广泛的图像获取设备。早期主要有光电摄像管、超正析摄像管等。近年来,主要是采用 CCD 摄像设备。该设备有如下特点:

特点:设备小巧、速度快、成本低、灵敏度高。

缺点:灰度层次较差、非线性失真较大、有黑斑效应,在使用中需要校正。目前,CCD 摄像机在分辨率、灵敏度等方面已做到较高水平,如, 1920×1035 或 1024×1024 的高分辨率的

CCD 摄像机已很成熟。

(2) 飞点扫描器(Flying point scanner)

这是一种以光源做扫描的图像获取设备。其特点是：精度较高、图像清晰、可透射成像亦可反射成像,但是其体积略显庞大。

(3) 扫描鼓

这是一种高精度的滚桶式的图像摄取设备。

特点：精度高、分辨率高,可以输入也可以输出。

缺点：价钱昂贵、速度低、维护要求高。多用于静止图像的输入、输出设备。

(4) 扫描仪

特点：精度和分辨率中等,600DPI 精度的扫描仪已常见。扫描仪的成本很低,近几年尤其降价显著,一般台式的已有不足一千元的产品。所以是当今应用最为广泛的图像信息获取设备。

缺点：速度较慢,非实时设备。

(5) 显微光密度计：精度较高,速度较低。

(6) 遥感中常用的图像获取设备已有多种,如·

光学摄影：摄像机、多光谱像机等。

红外摄影：红外辐射计、红外摄影仪、多通道红外扫描仪。

MSS：多光谱扫描仪。

微波：微波辐射计,侧视雷达、真实孔径雷达、合成孔径雷达(SAR)。

合成孔径雷达是 20 世纪 50 年代发展起来的技术。它采用小天线通过直线飞行(长距离)合成一条很长的线阵天线,从而达到优良的横向方位的分辨率。目前的国际水平,在距雷达 50~100km 范围内,合成孔径雷达(SAR)的纵向和横向分辨率已达 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 以下。例如 $\lambda=3\text{cm}$,距雷达 50km 处的分辨率要达到 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 时所需的飞行直线合成孔径为

$$L = K \frac{\lambda R_0}{2\delta\gamma_a}$$

其中, $\lambda=3\text{cm}$, $K=1.35$, $R_0=50\text{km}$, $\delta\gamma_a=1$, $L=1012\text{m}$ 。

由此可以看出飞行距离很长。为使飞机能直线、恒速飞行要用到陀螺导航仪、GPS 定位系统等设备和技术加以保证。

2. 图像信息的存储(Image information storage)

图像信息的突出特点是数据量巨大。一般作档案存储主要采用磁带、磁盘或光盘。为解决海量存储问题主要研究数据压缩、图像格式及图像数据库技术等。

3. 图像信息的传送(Image information transmission)

图像信息的传送可分为系统内部传送与远距离传送。内部传送多采用 DMA 技术(Direct Memory Access)以解决速度问题,外部远距离传送主要解决占用带宽问题。目前,已有多种国际压缩标准来解决这一问题,图像通信网正在逐步建立。

4. 数字图像处理(Digital image processing)

目前,数字图像处理多采用计算机处理,因此,有时也称之为计算机图像处理(Computer Image Processing)。数字图像处理概括地说主要包括如下几项内容:几何处理(Geometrical Processing),算术处理(Arithmetic Processing),图像增强(Image Enhancement),图像复原(Image Restoration),图像重建(Image Reconstruction),图像编码(Image Encoding),图像识