

电子信息工程专业本科系列教材

DIANZI XINXI GONGCHENG ZHUANYE BENKE XILIE JIAOCAI

数字图像处理及MATLAB实现

SHUZI TUXIANG CHULI
JI MATLAB SHIXIAN

10011010010010010100101100101010100001111010101001011000100101000
10011010010010010100101100101010100001111010101001011000100101000
10011010010010010100101100101010100001111010101001011000100101000
10011010010010010100101100101010100001111010101001011000100101000
1001101001001010101001011000100101000

余成波 编 著

重庆大学出版社

数字图像处理及 MATLAB 实现

余成波 编 著

参 编

杨 菁	王培容	张 莲	雷 刚
陶红艳	汪治华	石 军	

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了数字图像处理技术及 MATLAB 图像处理技巧,并强调了图像处理的理论和应用相结合的方法。全书给出了大量数字图像处理技术的 MATLAB 实现程序。

全书共分为 8 章,其内容主要包括:图像与计算机图像处理、MATLAB 软件包使用精要、MATLAB 图像处理工具箱、数字图像的变换技术及其 MATLAB 实现、图像预处理及 MATLAB 实现、图像压缩与编码及 MATLAB 实现、图像分割与特征提取及 MATLAB 实现、彩色图像处理及 MATLAB 实现等。

本书可作为高等理工科院校电子信息、通信工程、信号与信息处理学科的本科生教材,也可供研究生以及从事图像研究的科研工作者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理及 MATLAB 实现/余成波编著. —重庆:
重庆大学出版社,2003.6

(电子信息工程专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-2806-9

I. 数... II. 余... III. 数字图像处理—计算机辅助计算—
软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 018557 号

数字图像处理及 MATLAB 实现

余成波 编 著

责任编辑:彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:廖应碧 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:480 千

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-5 000

ISBN 7-5624-2806-9/TN·71

定价:23.00 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

数字图像处理技术的研究内容涉及光学系统、微电子技术、计算机科学、数学分析等领域,是一门综合性很强的边缘学科。随着数字化时代的到来,数字图像处理与分析方面的研究工作显得十分重要。它已成为了高等理工院校电子信息工程、通信工程、信号与信息处理等学科的一门重要的技术专业课,广泛地应用于工业、农业、交通、金融、地质、海洋、气象、生物医学、军事、公安、电子商务、卫星遥感、机器人视觉、目标跟踪、自主车导航、多媒体信息网络通信等领域,取得了显著的社会效益和经济效益。

当前,数字图像处理书籍较多。但总的来说,它们均存在两种倾向:一种是偏重于理论推导和分析,与实际实现和具体工程脱节;另一种基本上是数字图像处理的编程指导,甚至是某些图像处理工具包的使用说明,种种原因导致图书理论背景模糊,误导或限制了读者的思维。为此,作者根据多年来从事此方面的研究和教学工作经验,考虑到实际的需要,注重理论与实践相结合,编写了本书。书中所涉及的具体问题为当今图像处理领域的新课题和新方向,为使读者了解前沿课题和方向,本书详细介绍了数字图像处理技术及 MATLAB 图像处理技巧,并强调了图像处理的理论和应用相结合的方法。全书共分为 8 章,其内容主要包括:图像与计算机图像处理、MATLAB 软件包使用精要、MATLAB 图像处理工具箱、数字图像的变换技术及其 MATLAB 实现、图像预处理及 MATLAB 实现、图像压缩与编码及 MATLAB 实现、图像分割与特征提取及 MATLAB 实现、彩色图像处理及 MATLAB 实现等。

全书由余成波统稿。其中:第 1 章由余成波、陶红艳等编写;第 2 章由陶红艳、雷刚等编写;第 3 章由余成波、雷刚等编写;第 4 章由余成波、杨菁等编写;第 5 章由杨菁、余成波等编写;第 6 章由王培容编写;第 7 章由张莲、余成波、石军等编写;第 8 章由汪治华编写。本书在编写过程中得到了有关领导的大力支持和帮助。许多兄弟院校的同行们为本书的编写提出

了许多宝贵意见和提供了帮助。在此,一并表示衷心的感谢。同时,本书为了更好地反映新技术的发展,因而引用了不少论文和书籍,在此对有关作者表示衷心感谢。

全书所给出 MATLAB 实现的实例程序,均已通过作者的调试,读者可直接引用。

本书可作为高等理工院校电子信息、通信工程、信号与信息处理学科的本科生教材,也可供研究生以及从事图像研究的科研工作者学习参考。

由于现代图像处理的技术正在迅速发展之中,加之作者水平所限,本书的内容取舍一定会有不足之处,错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2002 年 11 月

目 录

第 1 章 图像与计算机图像处理	1
1.1 图像	1
1.2 图像技术及图像的分类	3
1.3 图像系统的构成	5
1.4 图像质量的评价	10
1.5 数字图像处理的基本概念	14
1.6 数字图像处理的基本内容和特点	18
第 2 章 MATLAB 软件包使用精要	20
2.1 MATLAB 通用命令介绍	20
2.2 运算符和特殊字符	23
2.3 基本矩阵及矩阵运算	26
2.4 MATLAB 基本编程	33
第 3 章 MATLAB 图像处理工具箱	41
3.1 MATLAB 图像处理初步	41
3.2 MATLAB 图像处理工具箱简介	46
3.3 图像的显示	58
3.4 图像运算	67
3.5 图像分析	82
3.6 特定区域处理	92
第 4 章 数字图像的变换技术及其 MATLAB 实现	96
4.1 数字图像的二维傅立叶变换	96
4.2 数字图像的离散余弦变换	104
4.3 沃尔什和哈达玛变换	109
4.4 Radon 变换	114
4.5 数字图像的小波变换	120
第 5 章 图像预处理及 MATLAB 实现	148
5.1 直方图修正	148
5.2 灰度变换	157
5.3 图像的锐化	161
5.4 图像的平滑	170
5.5 几何变换	177
5.6 图像线性滤波复原	181

第 6 章 图像压缩与编码及 MATLAB 实现	191
6.1 图像压缩与编码概述	191
6.2 无损压缩技术	195
6.3 有损压缩技术	204
6.4 混合编码	215
6.5 图像编码的 MATLAB 程序实现	220
第 7 章 图像分割与特征提取及 MATLAB 实现	223
7.1 边缘检测方法	223
7.2 灰度阈值分割法	233
7.3 灰度相似合并法	240
7.4 二值图像与线图形	243
7.5 形状特征描述	261
7.6 图像纹理特征的提取	269
第 8 章 彩色图像处理及 MATLAB 实现	275
8.1 概述	275
8.2 彩色视觉与彩色图像	276
8.3 彩色图像处理	283
8.4 彩色图像分析	291
参考文献	299

第 1 章

图像与计算机图像处理

随着人类社会的进步,科学技术的发展,人们对信息处理和信息交流的要求越来越高。图像信息具有直观、形象、易懂和信息量大等特点,因此它是在人们日常的生活、生产中接触最多的信息种类之一。近年来,图像信息处理已经得到一定的发展,但随着对图像处理的要求不断提高,应用领域不断扩大,图像理论必须不断提高、补充和发展。图像的处理已经从可见光谱扩展到光谱中各个阶段,从静止图像发展到运动图像,从物体的外部延伸到物体的内部,以及进行人工智能化的图像处理等。本章介绍有关图像、数字图像的概念,阐明用计算机进行图像处理的基本运算方法和特点。

1.1 图 像

1.1.1 图像

为了实现对图像信号的处理和传输,首先必须对图像进行正确的描述,即什么是图像。对人们来说,图像并不陌生,但却很难用一句话说清其含意。从广义上说,图像是自然界景物的客观反映,是人类认识世界和人类本身的重要源泉。照片、绘画、影视画面无疑属于图像;照相机、显微镜或望远镜的取景器上的光学成像也是图像。此外,汉字也可以说是图像的一种,因为汉字起源于象形文字,所以可当作一种特殊的绘画;图形可理解为介于文字与绘画之间的一种形式,当然也属于图像的范畴。由此延伸,通过某些传感器变换得到的电信号图,如脑电图、心电图等也可看做是一种图像。“图”是物体反射或透射光的分布,它是客观存在的,而“像”是人的视觉系统所接收的图在人脑中所形成的印象或认识。总之,凡是人类视觉上能感受到的信息,都可以称为图像。

图像信息不仅包含光通量分布,而且还包含人类视觉的主观感觉。随着计算机技术的迅速发展,人们可以人为地创造出色彩斑斓、千姿百态的各种图像。概括地讲,图像包含以下几个重要内容:

视频(Video):视频图像又称为动态图像、活动图像或者说运动图像。它是一组图像在时间轴上的有序排列,是二维图像在一维时间域上构成的序列图像。如 NTSC 制式电视 30 帧/秒,

PAL 制式是 25 帧/秒,电影则是 24 帧/秒。

图形(Graphics):图形是图像的一种抽象,它反映图像的几何特征,例如点、线、面等。图形不直接描述图像中的每一点,而是描述产生这些点的过程和方法,被称为矢量图形。

动图(Animation):动图属于动态图像的一种。它与视频的区别在于视频的采集来源于自然的真实图像,而动图则是利用计算机产生出来的图像或图形,是合成动态图像。动画包括二维动画、三维动画、真实感三维动画等多种形式。

符号(Symbol)与文字(Character):符号可以表示许多信息。符号包括各种描述量、数据、语言等。其中最重要的是数值、文字等有结构的符号组。符号是表示某种含义的,它与使用者的知识有关,是比图形更高层次的抽象。需具备特定的知识方能解释特定的符号和特定的文本(如语言)。符号是用特定值表示的,如 ASCII 码、中文国标码等。文本媒体是用得很多的一种符号媒体形式,它由具有上下文关系的字符串组成,与字符的结构有关。

图像的表现形式很多,但都有一个共同特点,即图像是二维或三维空间信息。图 1.1 给出两种基本图像的实例。

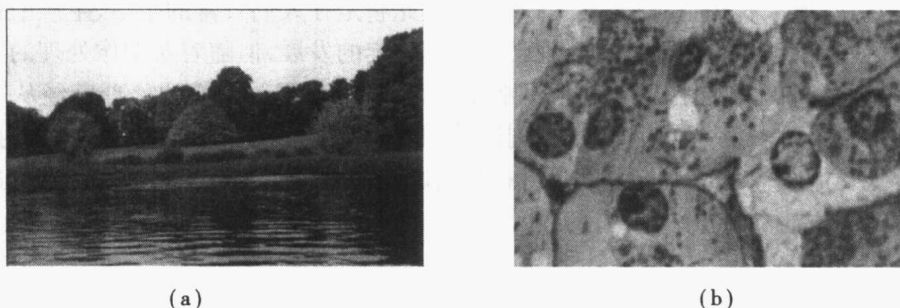


图 1.1 图像实例
(a)景物图像 (b)显微图像

1.1.2 图像信息的重要性

如前所述,图像是一种空间信息,它展现在人们的面前,具体地表明了事物的形态、位置和色彩等,以便人们进行观察、测量和识别。如图 1.1(a)是一幅秋天景色照片,从图像上可观察到天空、树、草地、湖泊等。图像中的对象物之所以能被人们识别,是因为图像包含了丰富的信息,具体来说,它直观地提供了景物的颜色、亮度、纹理、位置和形状等。上述信息成为人们理解该图像所表现的事物的基础。

任何时候,图像在人类接收和传递信息中都起着重要的作用。这是因为图像比起声音、文字信息有其突出的长处,那就是图像的直观性,它能原封不动地将客观事物的原形展现在眼前,供不同目的、不同能力和水平的人们去观察和理解,如图 1.1(b)。而声音、文字信息则并不反映客观事物的原形,是通过描述来表达事物,即属于描述性的信息。既然是描述,就会受到描述者的许多因素的影响,诸如主观、片面、专业、情绪、状态等都会使描述偏离客观事物。

除了这些图像本身的特点外,图像信息的重要性还在于人们的视觉系统有着瞬间获取图像、分析图像、识别图像和理解图像的能力,在人们的生活、生产活动中,依赖于图像信息的状况比比皆是。从视觉接受信息的角度看,可认为图像是空间客观景物在眼球视网膜上形成的像。人们站在高处用眼睛巡视前方,立刻能获得大自然丰富多彩的一幅幅图像的快速分析,得

到诸如高山、大海、树林、蓝天、小鸟等等的识别结果。甚至还会对这些图像进行比较,得出“这就是曾经看到过的那张照片”的结论。又如从远处走来一位朋友,当他刚进入你的视野,可能你尚未看清他的脸部,就能从他的体态、姿势、服装等图像信息的组合中知道他是谁。由此可见,视觉系统和大脑具有高超的能力,能区分图像中的物体与背景;能感知颜色、亮度、形状、方向、位置、运动等信息的细微差别;能将有意义的信息综合成一体;有很强的信息存储能力;具有高效地进行平行处理的能力等等。其实,人们在生活和非自动化生产中,都离不开用视觉获取图像和处理图像。

当然,图像也有其另一方面的特点,那就是图像的信息量大,这不仅是因为图像反映客观事物的原形,信息本身较声音、文字丰富,还因为作为空间信息的图像,在接收和传递过程中,必须将其看做是许多点的集合,比如一幅电视画面可分割为 512×512 个点来进行信息的传递,那么如果连续传送 150 幅画面,其信息量就非常可观。

据统计,通过视觉获取的信息占人们获取所有信息的 75% 左右。因此图像是人类从事一切活动的重要信息源。

1.2 图像技术及图像的分类

1.2.1 图像技术

图像技术在广义上是各种与图像有关的技术的总称。目前,人们主要讨论的是数字图像,即主要应用的是计算机图像技术。这包括利用计算机和其他电子设备进行和完成的一系列工作。例如图像的采集、获取、编码(压缩)、存储和传输,图像的合成、绘制和生成、图像的显示和输出,图像的变换、增强、恢复(复原)和重建、分割、目标的检测、表达和描述、特征的提取和测量,多幅图像或序列图像的校正、配准,3-D 景物的重建复原,图像数据库的建立、索引和抽取,图像的分类、表示和识别,图像模型的建立和匹配,图像和场景的解释和理解,以及基于它们的判断决策和行为规划等。另外,图像技术还可以包括为完成上述功能所进行的硬件和软件设计等方面的技术。

由此得到 3 个既有联系又有区别的层次:图像处理、图像分析和图像理解(如图 1.2 所示)。这三者的有机结合形成了图像工程,是一门内容丰富的学科。

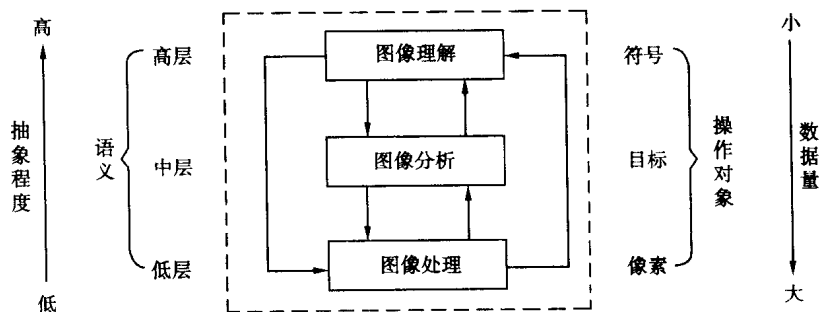


图 1.2 图像工程 3 层次示意图

其中,图像处理着重强调在图像之间进行的交换;图像分析则主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息从而建立对图像的描述;图像理解的重点是在图像分析的基础上,进一步研究图像中各自目标的性质和它们之间的相互联系,并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释,从而指导和规划行动。

表 1.1 在图像处理、图像分析和图像理解 3 个层次中研究的图像技术分类

3 个层次	图像技术分类和名称
图像处理	图像采集、获取及存储(包括各种成像方法、摄像机校正等) 图像重建(从投影等重建图像) 图像变换、滤波、增强、恢复/复原、拼接等 图像(视频)压缩编码 图像数字水印和图像信息隐藏
图像分析	边缘检测、图像分割 目标表达、描述、测量(包括二值图处理等) 目标颜色、形状、纹理、空间、运动等的分析 目标检测、提取、跟踪、识别和分类 人脸和器官的检测与定位
图像理解	(序列、立体)图像配准、匹配、融合 3-D 表示、建模、重构、场景恢复 图像解释、推理(包括语义描述、信息模型、专家系统等) 基于内容的图像和视频检索

综上所述,图像处理、图像分析和图像理解在抽象程度和数据量上各有特点,操作对象和语义层次各不相同,其相互联系可参见图 1.2。图像处理是比较低层的操作,它主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大。图像分析则进入了中层,分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的对目标的描述。图像理解主要是高层操作,操作对象基本上是从描述中抽象出来的符号,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。

当前,根据最新的对图像工程文献统计分类综述,图像技术在图像处理、图像分析和图像理解 3 个层次中的分类情况如表 1.1 所示。

1.2.2 图像的分类

由于实际存在的自然图像多种多样,内容千变万化,故其分类也极为复杂,但图像按性质特征来分,大致可分为如下几种情况:

(1)灰度分类

按灰度分类有二值图像(如图文传真、文字、图表、工程图纸等)和多灰度图像。多层次灰度图像按应用的不同,有各种不同的灰度层次。如,计算机打印机或传真中有灰度层次的图像,一般为 16、25 灰度级,工业电视、可视电话为 64 灰度级(6bit),气象数字图像为 7 灰度级,广播电视图像为 256 灰度级(8bit),医学图像一般为 1 024 灰度级(10bit)。

(2) 色彩分类

按照色彩分类,可分为单色图像和彩色图像。单色图像指只具有某一谱段的图像,一般为黑白灰度图;彩色图像,包括真彩色、合成彩色、伪彩色、假彩色等,可用不同的彩色空间来描述,如 RGB、YUV 等。

(3) 运动分类

按运动分类,图像可分为静态图像和动态图像。静态图像包括静止图像和凝固图像。每幅图像本身都是一幅静止图像。凝固图像是动态图像中的某一帧。动态图像的快慢以帧率量度,帧率反映了画面运动的连续性。可以看出,动态图像实际上是由一幅幅静态图像按时间排列组成的。

(4) 按时空分布分类

按时空分布分类,图像可分为二维图像和三维图像。二维图像即平面图像,其数学表示为 $f(x, y)$, f 为光强, x, y 为二维空间坐标。三维图像即立体图像,其数学表示为 $f(x, y, z)$, f 为光强, x, y, z 为三维空间坐标。

1.3 图像系统的构成

1.3.1 图像系统的线性模型

为了简单起见,实际中通常把传输或处理图像信号的系统近似为二维线性位移不变系统。用这种系统模型来分析和设计被证明是有效的。与熟悉的一维线性时不变系统类似,这种系统的频率响应是该系统的脉冲响应的傅立叶变换。

设对二维函数所作的运算 $L[\cdot]$ 满足以下两式

$$\begin{aligned} L[f_1(x, y) + f_2(x, y)] &= L[f_1(x, y)] + L[f_2(x, y)] \\ L[af(x, y)] &= aL[f(x, y)] \end{aligned} \quad (1.3.1)$$

式中,若 a 为任意常数,则称此运算为二维线性运算。由它所描述的系统为二维线性系统。

和一维线性系统类似,当二维线性系统的输入为单位脉冲函数 $\delta(x, y)$ 时,系统的输出便称为脉冲响应,用 $h(x, y)$ 表示。故有 $L[\delta(x, y)] = h(x, y)$ 。

二维单位脉冲函数 $\delta(x, y)$ 可定义为:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} \infty & x = y = 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

且满足
$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) dx dy = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \delta(x, y) dx dy = 1$$

式中, ε 为任意小的正数。

由二维单位脉冲函数 $\delta(x, y)$ 定义可得到以下几个性质:

积分性质:
$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) \delta(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta = f(x, y) \quad (1.3.2)$$

筛选性质:
$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x - \alpha, y - \beta) dx dy = f(\alpha, \beta) \quad (1.3.3)$$

偶函数和可分离性质:
$$\delta(-x, -y) = \delta(x, y) = \delta(x) \cdot \delta(y) \quad (1.3.4)$$

由于 $h(x,y)$ 是当系统的输入为 δ 函数或理想点光源时系统的输出, 是对点光源的响应, 因此也称为点扩展函数。 δ 函数经过理想的图像传输系统的点扩展函数 $h(x,y)$ 后, 仍然能保持它的单位脉冲特性。而质量差的图像传输系统 $h(x,y)$ 会把图像中的 δ 函数在其中心点处弥散开来。

当输入的单位脉冲函数延迟了 α, β 单位后, 若有 $L[\delta(x-\alpha, y-\beta)] = h(x-\alpha, y-\beta)$ 成立, 则称此系统为二维线性位移不变系统。

1.3.2 图像处理系统的构成

实际的图像处理系统是一个非常复杂, 既包括硬件又包括软件的系统, 随着具体应用目标的不同, 其构成也是大不相同的。图 1.3 所示为图像处理系统的基本结构, 系统主要是由照明用光源、摄像单元、A/D 转换器、图像存储器及计算机等要素构成。其工作过程如下: 对象物反射的光在摄像单元被转换成电信号(模拟信号), 再由 A/D 转换器把其转换成数字信号, 然后被存储在图像存储器中, 有待计算机做进一步的处理。

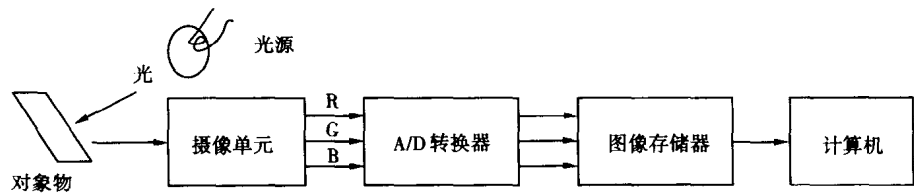


图 1.3 图像处理系统的基本结构

(1) 照明方法

摄影的时候, 给对象物照明用的光源、对象物以及摄像装置三者之间的位置如图 1.4 所示, 其中 (a) 是背面照明方式、(b) 为正面照明方式、(c) 为斜射照明方式。但是, 有时为了能够捕捉到移动物体的瞬间图像, 常采用的方法是在 CCD 照相机的摄像单元上增设快门或利用闪烁光源。图 1.5 给出了流体中血球的流动摄像装置示意图。在图中, 稀释的血液与溶解液一同通过液体室时, 对被闪烁光源照射的红血球、白血球等进行拍摄。

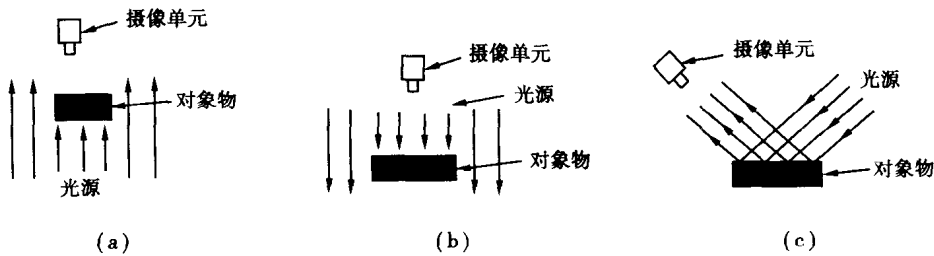


图 1.4 对象物的照明方式

(a) 背面照明 (b) 正面照明 (c) 斜射照明

(2) 摄像单元

1) CCD 图像传感器

CCD 图像传感器由光电转换单元构成, 光电传感单元的排列分为线阵排列和面阵排列两种。图像传感器的工作原理是把光能量转换为电荷, 并且具有将转换得到的电荷进行存储的

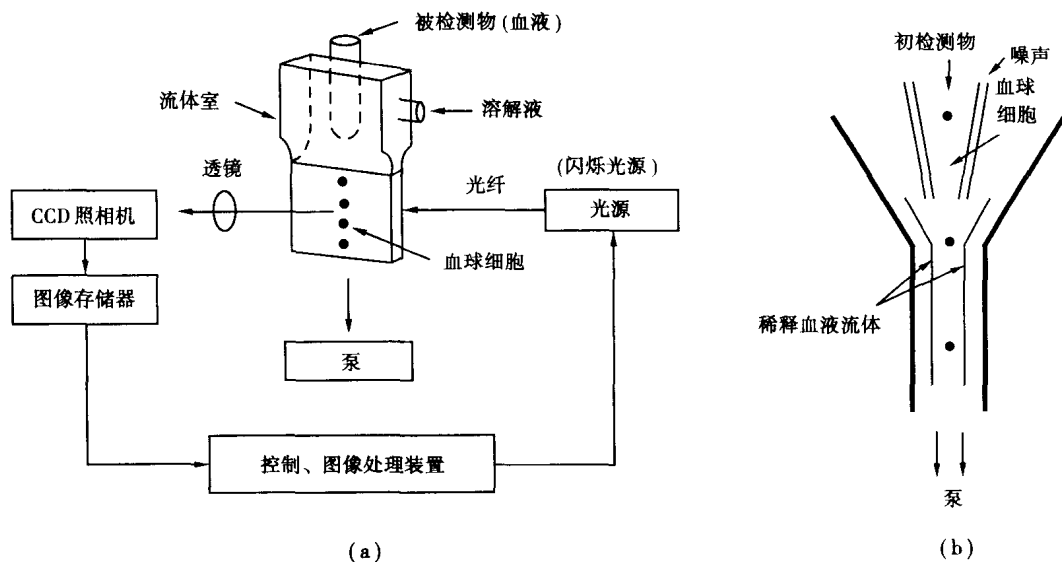


图 1.5 流体方式的细胞图像输入装置的结构

(a) 系统结构 (b) 流体室结构

能力,以及使电荷向输出电极移动的扫描能力。图 1.6 给出了图像传感器的结构的模型图,其中(a)所示为一维图像传感器(线阵式传感器)结构模型图,光电转换部分是由 PD_1 到 PD_m 的 m 个单元构成,输出经过门驱动开关 MOSFET 与 CCD 连接在一起。(b)所示为二维 CCD 传感器,它是由图(a)中的线阵传感器单元从 CCD_1 到 CCD_n 的 n 个单元并列配置而成,并经过一个合成其输出的水平 CCD,再经过一个增幅放大器,得到图像信号。

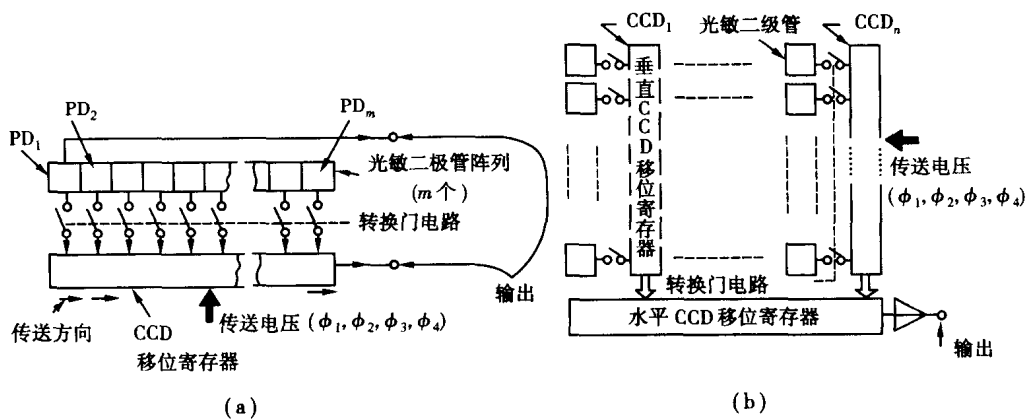


图 1.6 图像传感器的结构

(a) 一维传感器 (b) 二维传感器

此外,还有 AMI 摄像单元,它是一种基于用 MOSFET 使二极管的输出增幅这种结构的摄像单元(增幅型固态摄像单元),一般用在高感度的摄像机中。另一种是红外线摄像单元,其核心是肖特基势垒型图像传感器,像素数一般为 640×480 。

目前,常用的摄像单元基本上都是固态摄像单元,但是对于感度要求更高的情况,通常是利用“雪崩效果”的高感度摄像管来代替 AMI 摄像单元。

2) CCD 彩色摄像光学系统的构成

图 1.7 是彩色摄像单元的结构模型图,对象物反射的光通过透镜和光学低通滤波器之后由三棱镜把光分为 RGB 三原色,再由 3 个 CCD 图像传感器把红 R、绿 G、蓝 B 的光信号变换为 3 个电信号。

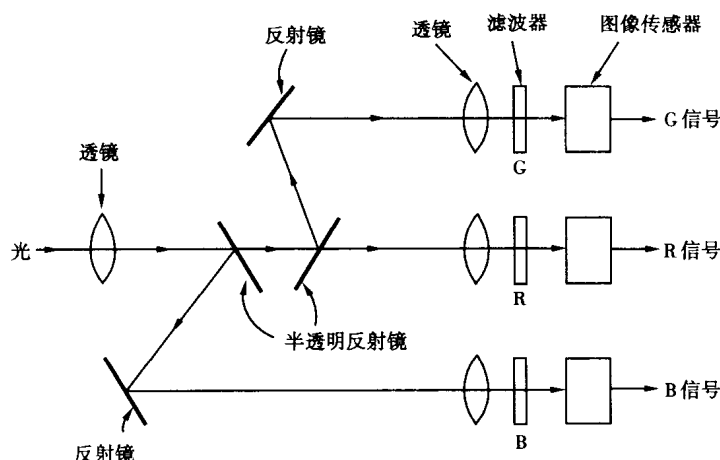


图 1.7 彩色摄像单元的基本结构

(3) 图像的数字化的

一般的图像都是模拟图像,即图像上的信息是连续变化的模拟量。如一幅黑白灰照片上的物体是通过照片上各点的光的强度(简称光强)不同而体现的,而照片上的光强是一个连续变化的量,也就是说,在一定范围内,光强的任何值都可能出现。对于这种模拟图像只能采用模拟处理方式进行处理,例如按光学原理用透镜将照片放大。对于这类连续图像,即空间分布和亮度取值均连续的图像,计算机无法接受和处理,只有将连续的模拟信号变为离散的数字信号,或者说将模拟图像变换为数字图像方能接受。为此,常将计算机图像处理称为数字图像处理。

形成数字图像的方法,即图像的数字化的方法,其工作包括两个方面:采样和量化。

所谓采样指的是空间坐标的离散化,即将图像平面分割成离散点的集合,就是把一幅连续图像在空间上分割成 $M \times N$ 个网格,每个网格用一亮度值来表示。由于结果是一个样点值阵列,故又叫点阵采样。每个离散点称为像素或抽样点。图像平面的分割方法有多种,如正方形点阵、正三角形点阵、正六角形点阵等等。尽管它们各有其优缺点,但是从图像输入输出的方便性来看,正方形点阵是最具优势的,因而被广泛采用。采样使连续图像在空间上离散化,但采样点上图像的亮度值还是某个幅度区间内的连续分布。根据采样定义,每个网格上只能用一个确定的亮度值表示。这种把采样点上对应的亮度连续变化区间转换为单个特定数码的过程,称为量化,即样点亮度的离散化。

连续图像经过采样、分层、量化、编码等步骤变成数字图像才能进入计算机进行处理。如何使离散图像在人感觉中与模拟图像相同,需采取相应的处理技术,这就是从离散图像重建模拟图像的技术,简称为图像重建。

1) 图像的采样原理

模拟图像若在 x 方向采 M 个点, y 方向采 N 个点,就可得到 $M \times N$ 个点的数字化图像的形

式。采样是图像进入计算机的第一个处理过程。

二维图像用二维冲击函数来采样,采样函数

$$s(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \quad (1.3.5)$$

是沿 x 方向间隔为 Δx , 沿 y 方向间隔为 Δy 的函数阵列, 形成以 $\Delta x, \Delta y$ 为间距的矩阵形采样网格。

二维连续函数基本表达式为

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi, \eta) \delta(\xi - x, \eta - y) d\xi d\eta \quad (1.3.6)$$

从这个公式出发, 用离散二维采样函数代替上式连续采样公式, 采样图像的函数为

$$f_s(x, y) = S(x, y)f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(x, y) \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \quad (1.3.7)$$

对 $f(x, y)$ 用矩阵均匀网格采样, 每个采样位置在 $x = m\Delta x, y = n\Delta y$ 上, $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 类似一维情况, 二维情况下的二维采样定理(奈奎斯特率)为

$$\begin{cases} \Delta x \leq \frac{1}{2}u \\ \Delta y \leq \frac{1}{2}v \end{cases} \quad (1.3.8)$$

即 x 方向采样率 $u_x \geq 2u_c$, y 方向采样率 $u_y \geq 2v_c$, 满足奈奎斯特率。

当二维函数 $f(x, y)$ 被某二维窗函数 $h(x, y)$ 截成空间有限函数时, 类似一维函数, x, y 方向为互相间隔的二维峰状函数。为了有效地恢复原空间有限函数, 要利用周期性质。对一个 $M \times N$ 的图像, 若采样间隔满足

$$\begin{cases} \Delta u \leq \frac{1}{M\Delta x} \\ \Delta v \leq \frac{1}{N\Delta y} \end{cases} \quad (1.3.9)$$

则保证了在空域和频域二者都能用 $M \times N$ 个均匀间隔覆盖一个完整的二维周期, 那么就可以从有限空域离散采样的图像正确地恢复原图像。

若 $f(x, y)$ 在 $x \in [0, X], y \in [0, Y]$ 内有定义, 并以 $\Delta x, \Delta y$ 为间隔采样, 则沿 x 方向和 y 方向的取样点数分别为

$$\begin{cases} M = \frac{X}{\Delta x} \\ N = \frac{Y}{\Delta y} \end{cases} \quad (1.3.10)$$

则 $f_s(x, y)$ 构成一个 $M \times N$ 实数矩阵

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M,0) & f(M,1) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (1.3.11)$$

其中每个元素为图像 $f(x, y)$ 的离散采样值。

图像的重建的概念可以这样理解: 若以 N 为周期, 可以正确重建原图像。它的重建原理

是以 sinc 函数相乘加权完成,称为一维 sinc 函数内插。这种内插原理把离散信号当中的地方补上,当然也可用其他内插函数来实现。如:把内插函数与空域采样图像 $f_s(x,y)$ 相卷积。

2) 采样图像的量化

经过抽样后的图像还不是数字图像,因为这些像素上的灰度值仍是一个连续量。所谓量化指的是将像素的灰度离散化,使之由连续量转换为离散的整数值。

为了进行计算机处理,必须把无穷多个离散值化简为有限个离散值,即量化,这样才便于赋予每一个离散值互异的编码以进入计算机。为了方便计算机进行数据处理,有限个离散值的个数常用 2^n 表示,这个过程是把每一个离散样本的连续灰度只分成有限多的层次,称分层量化。把原图像灰度层次从最暗至最亮均匀分为有限个层次称为均匀量化,如果采用不均匀分层就称为非均匀分层量化。

但是,用有限个离散灰度值来表示无穷多个连续灰度的量时,必然产生误差,这种误差称为量化误差(也称为量化噪声)。同时,该误差与量化分层数有关,量化分层越多,则量化误差越小;反之,量化误差越大。但是,分层数越多则编码进入计算机所需比特数越多,相应地影响运算速度及处理过程。另外,量化分层的约束来自图像源的噪声,即最小的量化分层应远大于噪声,否则太细的分层将被噪声所淹没而无法体现分层的效果。也就是说噪声大的图像,分层太细是没有意义的;反之,要求很细分层的图像才强调极小的噪声。如某些医用图像系统把减小噪声作为主要设计指标,是因为其分层数要求 2 000 层以上,而一般电视图像的分层用 200 多层已能满足要求。

1.4 图像质量的评价

1.4.1 人类的视觉

视觉所感受到的图像可看做是三维光辐射场对人眼的影响。进行分析时,首先需要建立物理模型,这种模型以照射、反射现象为基础(包括辐射、传播、照射、反射和吸收等方面的内容);若图像分析的结果或其中间过程需要人的干预或理解时,则还有必要对人眼的视觉机理以及人眼的构造进行研究。实际上,图像处理的全过程都需要人去观看,即使是中间环节不需观看的情况(如可见光谱以外的红外图像、雷达图像),其最终结果常需要用可见光再现其图像以便观察。故只有对人眼的构造、视觉的物理建模、光谱分布和光的度量等进行研究,才能对图像进行科学的分析及深层次的理解。目前,在语音、数据、图像三种主要的通信方式中,图像通信起到主要作用。听觉获取的是时间信息,视觉获取的是时空信息;在相同条件下,常规的视频图像的数据量比语音的数据量大 600 ~ 2 500 倍。视觉信息是人类从外界获取信息的主要方式,视觉所观察到的现象比其他感官要丰富得多,更适合人类活动的需要。

(1) 图像与视觉的关系

图像最终需要由人或机器来观察、识别、理解。研究图像与视觉之间的对应关系,是一个非常重要的问题,需要从符号和信息两个角度探讨图像与视觉的对应关系。

图像信息内容的描述和分析对于视觉而言,只要求知道图像的意义和内容。例如一幅细胞图像,视觉只要求识别和标定其中的染色体,遥感图像只要求识别各种类型的地貌(森林、