

学以致用

MATLAB图像处理

——程序实现与模块化仿真

(第2版)

赵小川 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



MATLAB 图像处理—— 程序实现与模块化仿真 (第 2 版)

赵小川 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书深入浅出地介绍了 MATLAB 2014a 计算机视觉工具箱(Computer Vision System)、数字图像处理工具箱的最新功能,并以此为编程工具阐述了数字图像/视频的基础理论、关键技术、应用实例、解决方案、发展前沿。本书共 8 章,内容包括:MATLAB 数字图像/视频处理技术基础、数字图像变换、数字图像分析、图像特征提取、视频图像运动估计与跟踪、图像压缩编码、双目立体视觉、应用案例详解。

读者可登录 MATLAB 中文论坛(<http://www.ilovematlab.cn/>)到相应书籍答疑版块与作者进行交流。

本书可作为电子信息工程、计算机科学技术相关专业本科生、研究生的教材,也可作为本科毕业设计、研究生学术论文的参考资料,还可作为对数字图像技术感兴趣、打算系统学习的读者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 图像处理:程序实现与模块化仿真 / 赵小川
编著. -- 2 版. -- 北京:北京航空航天大学出版社,
2018.11

ISBN 978-7-5124-2895-9

I. ①M… II. ①赵… III. ①Matlab 软件—应用—数字图像处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 271441 号

版权所有,侵权必究。

MATLAB 图像处理——程序实现与模块化仿真(第 2 版)

赵小川 编著

责任编辑 胡晓柏 张楠

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

艺堂印刷(天津)有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:20 字数:426 千字

2018 年 12 月第 2 版 2018 年 12 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2895-9 定价:59.00 元

第 2 版前言

随着信息处理技术和计算机技术的飞速发展,数字图像处理技术已在工业检测、航空航天、星球探测、军事侦察、公安防暴、人机交互、文化艺术等领域受到了广泛的重视,并取得了众多成就。采用 MATLAB 软件进行数字图像处理,具有高效、可视化效果好的特点。特别是 2012 年以来,MATLAB 软件针对数字图像处理技术推出了诸多新功能。

本书紧扣读者需求,采用循序渐近的叙述方式,深入浅出地介绍了 MATLAB 2014a 计算机视觉工具箱(Computer Vision System)、数字图像处理工具箱的最新功能,并以此为编程工具阐述了数字图像/视频的基础理论、关键技术、应用实例、解决方案、发展前沿。本书共 8 章,内容包括:MATLAB 数字图像/视频处理技术基础、数字图像变换、数字图像分析、图像特征提取、视频图像运动估计与跟踪、图像压缩编码、双目立体视觉、应用案例详解。

本书具有如下特点:

► 例程丰富,解释翔实

古人云:“熟读唐诗三百首,不会做诗也会吟。”本书根据编者多年从事数字图像处理教学、科研的经验,列举了近 100 个关于数字图像处理的 MATLAB 源代码实例,并附有详细注解。通过对源代码的解析,不但可以加深读者对相关理论的理解,而且可以有效地提高读者在数字图像处理方面的编程能力。本书所提供程序的编程思想、经验技巧也可为读者采用其他计算机语言进行数字图像处理编程提供借鉴。

► 与时俱进,瞄准前沿

本书详细介绍了最新 MATLAB Computer Vision Tool Box 的使用方法、编程技巧以及热点的计算机视觉算法及其实现,如 SURF 等。

第2版前言

➤ 资源共享,超值服务

读者可登录:

MATLAB 中文论坛本书在线交流版块(<http://www.ilovematlab.cn/forum-227-1.html>)

人人网“数字图像处理小组”(<http://xiao zu.renren.com/xiao zu/252226>)

下载推荐的阅读材料和其他相关资源。此外,您在阅读本书的过程中有任何疑问,都可以在 MATLAB 中文论坛本书在线交流版块(<http://www.ilovematlab.cn/forum-227-1.html>)向作者提问,作者也会在此与读者进行互动!

➤ 图文并茂,语言生动

为了更加生动地诠释知识要点,本书配备了大量新颖的图片,以便提升读者的兴趣,加深对相关理论的理解。在文字叙述上,本书摒弃了枯燥的平铺直叙,采用案例与问题引导式,用通俗易懂的语言描述枯燥复杂的原理,并列举实例进行精讲,同时,还增加了“经验分享”板块,将作者做项目时的经验分享给读者。

本书的读者对象:

- 对数字图像技术感兴趣、打算系统学习的读者;
- 电子信息工程、计算机科学技术相关专业的本科生、研究生;
- 相关工程技术人员。

感谢寇宇翔、李喜玉、牛金喆、刘祥、李阳、肖伟、常之光、王萱、梁冠豪、苏晓东、赵国建、王浩浩、丁宇、徐鹏飞、徐如强、邳威、孙祥溪、龚汉越、王鑫、常青、李杰、姚猛、刘剑锋等博士、硕士在本书的资料整理及校对过程中所付出的辛勤劳动。

限于编者的水平和经验,疏漏或错误之处在所难免,敬请读者批评指正。感兴趣的读者可发送邮件到:zhaoxch1983@sina.com 与作者进行交流;也可发送邮件到:emsbook@buaacm.com.cn,与本书策划编辑进行交流。

赵小川

2018年7月于北京

目 录

第 1 章 MATLAB 数字图像/视频处理技术基础	1
1.1 数字图像处理的基本概念	1
1.1.1 认识“数字图像”	1
1.1.2 基本概念一点通	2
1.1.3 数字图像的矩阵表示	6
1.2 数字图像处理的数学知识	7
1.2.1 回顾“矩阵”	7
1.2.2 精讲“卷积”	9
1.2.3 解析“相关”	12
1.2.4 理解“正交”	13
1.3 MATLAB 编程快速入门	14
1.3.1 矩阵的输入与生成	15
1.3.2 矩阵运算	18
1.3.3 程序控制结构	23
1.3.4 M 文件	27
1.3.5 M 函数	29
1.3.6 函数句柄与匿名函数	29
1.3.7 MATLAB 编程技巧	30
1.4 MATLAB 图像处理工具箱简介	32
1.4.1 图像处理工具箱的基本功能	32
1.4.2 数字图像处理的基本操作	33
1.4.3 视频图像的基本操作	36
1.4.4 MATLAB 中的图像类型	37
1.5 新功能:基于系统对象 vision. X 的图像处理	37
1.6 MATLAB-Simulink 基础精讲	41

1.6.1	Simulink 简介	41
1.6.2	Simulink 的基本操作	42
1.6.3	系统仿真及参数设置	46
1.6.4	Simulink 模块库	48
1.6.5	Simulink 子系统	52
1.7	Computer Vision System 工具箱功能模块介绍	54
1.8	新功能:图像/视频处理 C 代码的快速生成	63
第 2 章	数字图像变换	70
2.1	图像的几何变换	70
2.1.1	图像的缩放变换	70
2.1.2	图像的平移变换	76
2.1.3	图像的旋转变换	81
2.1.4	灰度级插值	87
2.2	图像的 Hough 变换	91
2.2.1	基本原理一点通	91
2.2.2	例程精讲	92
2.3	图像的傅里叶变换	99
2.3.1	走进“频率域”	99
2.3.2	基本原理一点通	99
2.3.3	例程精讲	103
2.4	图像的余弦变换	109
2.4.1	基本原理一点通	109
2.4.2	例程精讲	111
2.4.3	离散余弦变换的性质	116
2.4.4	应用点睛	117
2.5	基于数学形态学的图像变换	118
2.5.1	数学形态学的起源	118
2.5.2	数学形态学的基本运算	118
2.5.3	腐蚀与膨胀	120
2.5.4	开运算与闭运算	127
2.6	图像滤波	138
2.6.1	基本原理一点通	138
2.6.2	例程精讲	138
2.7	图像的多尺度金字塔变换	142
2.7.1	基本原理一点通	142

2.7.2 例程精讲	143
第3章 数字图像分析	146
3.1 图像的色彩空间	146
3.1.1 RGB 色彩空间	146
3.1.2 HSV 色彩空间	147
3.1.3 YUV 空间	148
3.1.4 HSI 色彩空间	149
3.1.5 灰度空间	149
3.1.6 Lab 色彩空间	150
3.1.7 例程精讲	150
3.2 图像的直方图	154
3.2.1 灰度直方图	154
3.2.2 例程精讲	155
3.2.3 直方图均衡化	159
3.2.4 直方图均衡化的 MATLAB 实现	160
3.3 图像的信噪比	163
3.3.1 基本原理一点通	163
3.3.2 例程精讲	164
第4章 图像特征提取	166
4.1 图像的边缘检测	166
4.1.1 基本原理一点通	166
4.1.2 例程精讲	172
4.2 角点特征检测	177
4.2.1 何谓“角点”	177
4.2.2 Harris 角点的基本原理	178
4.2.3 Harris 角点的检测步骤	180
4.2.4 Harris 角点的性质	181
4.2.5 例程精讲	182
4.3 SURF 特征提取	187
4.3.1 积分图像	188
4.3.2 DoH 近似	189
4.3.3 尺度空间表示	191
4.3.4 SURF 特征描述算子	193
4.3.5 例程精讲	196

第 5 章 运动估计与跟踪	198
5.1 基于块匹配的运动估计	198
5.1.1 基本原理一点通	198
5.1.2 块匹配的准则	199
5.1.3 块匹配运动估计搜索路径	199
5.1.4 例程精讲	201
5.2 基于高斯混合模型的背景检测	203
5.2.1 单高斯背景模型	203
5.2.2 混合高斯背景模型	204
5.2.3 例程精讲	205
5.3 基于光流法的运动目标检测	206
5.3.1 光流和光流场的概念	206
5.3.2 光流场计算的基本原理	207
5.3.3 运用光流法检测运动物体的基本原理	207
5.3.4 Horn - Schunck 算法	208
5.3.5 Lucas - Kanade 算法	208
5.3.6 例程精讲	209
5.4 基于图像模板匹配的目标定位	214
5.4.1 基本原理一点通	214
5.4.2 例程精讲	215
第 6 章 图像压缩编码	222
6.1 图像编解码概述	222
6.1.1 图像压缩编码的必要性	222
6.1.2 图像压缩编码的可行性	222
6.1.3 图像压缩编码的分类	223
6.1.4 图像压缩的评价指标	224
6.2 行程编码技术	224
6.2.1 基本原理一点通	224
6.2.2 例程精讲	224
6.3 哈夫曼编码	226
6.3.1 基本原理一点通	226
6.3.2 例程精讲	226
6.3.3 哈夫曼编码的特点	231
6.4 矢量量化编码	231

6.4.1	矢量量化定义	232
6.4.2	矢量量化编解码的过程	232
6.4.3	LBG 矢量量化码书设计算法	232
6.4.4	矢量量化码字搜索	234
6.4.5	例程精讲	234
6.4.6	矢量量化与标量量化	238
6.5	变换编码	239
6.5.1	变换编码概述	239
6.5.2	基于离散余弦变换的图像压缩	239
6.5.3	基于小波变换的图像压缩	241
第 7 章	双目立体视觉	244
7.1	什么是双目立体视觉	244
7.2	双目立体视觉测距的基本原理	244
7.3	双目立体视觉测量的流程	245
7.4	极线几何(Epipolar Geometry)	248
7.5	双目视觉测量模型	248
7.5.1	成像几何基础	248
7.5.2	双目立体视觉测量数学模型	250
7.6	本质矩阵与基础矩阵	251
7.7	图像校正	252
7.8	立体匹配	252
7.9	例程精讲	253
7.10	双目立体视觉的最新应用及发展方向	263
第 8 章	应用实例详解	265
8.1	高效视频监控系统的设计与实现	265
8.1.1	视频监控系统的基本原理	265
8.1.2	基于 Computer Vision System 的系统设计	265
8.2	基于 Arnold 变换的图像加密技术	269
8.2.1	图像加密概述	269
8.2.2	基本原理	270
8.2.3	实现流程	273
8.2.4	例程精讲	273
8.3	人脸检测技术及其实现	274
8.3.1	人脸检测技术研究概况	274

8.3.2	人脸检测方法	275
8.3.3	基于 AdaBoost 的人脸检测的基本原理	276
8.3.4	例程精讲	280
8.4	雾霭天气图像增强技术及其实现	281
8.4.1	Retinex 理论	281
8.4.2	基于 Retinex 理论的图像增强的基本步骤	282
8.4.3	多尺度 Retinex 算法	282
8.4.4	例程精讲	283
8.5	基于仿生原理的图像分割技术	292
8.5.1	图像分割技术	292
8.5.2	脉冲耦合神经网络的基本原理	293
8.5.3	基本实现步骤	293
8.5.4	例程精讲	294
附录 1	系统对象功能汇总	298
附录 2	数字图像处理常用词汇解释	301
参考文献		305

第 1 章

MATLAB 数字图像 / 视频处理技术基础

1.1 数字图像处理的基本概念

1.1.1 认识“数字图像”

不同领域的人对“图像”的概念有着不同的理解。从工程学角度上讲,“图”是物体透射或反射光的分布;“像”是人的视觉系统对图的接收在大脑中形成的印象或认识。因此,图像常与光照、视觉等概念联系在一起,光的强弱、光的波长以及物体的反射等特点决定了图像的客观属性,而人(动物)的大脑是图像的主观载体。

图像与图形是两个不同的概念。图像具有不规则性、自然性、复杂性,从数学的角度来讲,图像是一个复杂的数学函数,这个数学函数很难用解析式来表示。而图形很多时候可以用数学函数来描述。

图像的种类有很多,根据人眼的视觉特性可将图像分为可见图像和不可见图像。可见图像包括单张图像、绘图、图像序列等;不可见图像包括不可见光成像和不可见量形成的图,如电磁波谱图、温度计压力等的分布图。图像按像素空间坐标和亮度(或色彩)的连续性可以分为模拟图像和数字图像。

图像处理是一门年轻的、充满活力的交叉学科,并随着计算机技术、认知心理学、神经网络技术以及数学理论的新成果(如数学形态学、小波分析、分形理论)而飞速发展着。当前,图像处理技术研究的对象是数字图像。

那么,什么是数字图像呢?数字图像是相对于模拟图像而言的。简而言之,模拟图像就是物理图像,人眼能够看到的图像,它是连续的。计算机无法直接处理模拟图像,因此,数字图像应运而生。数字图像是模拟图像经过采样和量化使其在空间上和数值上都离散化,形成一个数字点阵。

数字图像处理有如下特点:

① 目前,数字图像处理的信息大多是二维信息,处理信息量很大。如一幅 256×256 低分辨率黑白图像,要求约 64 kbit 的数据量;对高分辨率彩色 512×512 图像,则要求 768 kbit 的数据量;如果要处理 30 帧/s 的电视图像序列,每秒要求 500 kbit ~ 22.5 Mbit 的数据量。因此对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。

② 数字图像处理占用的频带较宽。与语言信息相比,数字图像占用的频带要大几个数量级,如电视图像的带宽约 5.6 MHz,而语音带宽仅为 4 kHz 左右。所以,在成像、传输、存储、处理、显示等各个环节的实现上,技术难度大、成本高,这就对频带压缩技术提出了更高的要求。

③ 数字图像中各个像素是不独立的,其相关性大。在图像画面上,经常有很多像素有相同或接近的灰度。就电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达 0.9 以上,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性一般来说还要大些。因此,数字图像处理中信息压缩的潜力很大。

数字图像处理对以往的图像处理方法而言无疑是一次新的革命,它彻底改变了以往人们处理图像时所采用的方法。数字图像处理具有如下优点:

① 再现性好。数字图像处理与模拟图像处理的根本不同在于:它不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作而导致图像质量的退化;只要图像在数字化时准确地表现了原稿,则数字图像处理过程始终能保持图像的再现。

② 处理精度高。按目前的技术,几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组,这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为 16 位甚至更高,这意味着图像的数字化精度可以达到满足任何应用需求。对计算机而言,不论数组大小,也不论每个像素的位数多少,其处理程序几乎是一样的。换言之,从原理上讲不论图像的精度有多高,处理总是能实现的,只要在处理时改变程序中的数组参数就可以了。回想一下图像的模拟处理,为了要把处理精度提高一个数量级,就要大幅度地改进处理装置,这在经济上是极不合算的。

③ 适用面宽。图像可以来自多种信息源,它们可以是可见光图像,也可以是不可见的波谱图像,例如,射线图像、超声波图像或红外图像等。从图像反映的客观实体尺度看,可以小到电子显微镜图像,大到航空照片、遥感图像甚至天文望远镜图像。这些来自不同信息源的图像只要被变换为数字编码形式后,均是用二维数组表示的灰度图像(彩色图像也是由灰度图像组合成的,例如 RGB 图像由红、绿、蓝三个灰度图像组合而成)组合而成,因而均可用计算机来处理。即只要针对不同的图像信息源,采取相应的图像信息采集措施,图像的数字处理方法适用于任何一种图像。

④ 灵活性高。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标。而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,即凡是可以用数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用数字图像处理实现。

为了加深大家对数字图像的理解,下面着重讨论数字图像的形成过程。

1.1.2 基本概念一点通

从理论上讲,图像是一种二维的连续函数,然而在计算机上对图像进行数字处理时,首先必须对其在空间和亮度上进行数字化,这就是图像的采样和量化的过程,如

图 1.1-1 所示。空间坐标 (x,y) 的数字化称为图像采样,而幅值数字化称为灰度级量化。

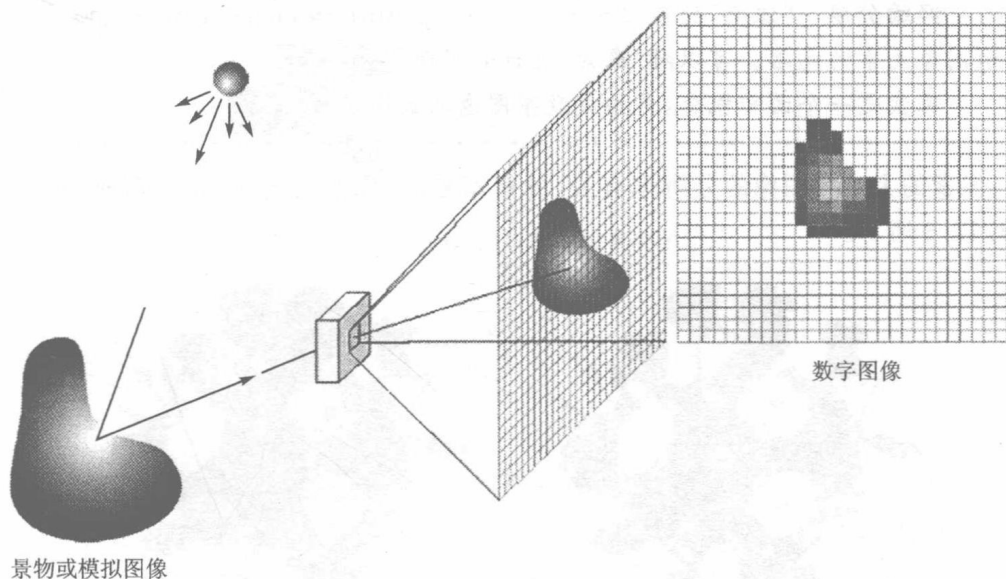


图 1.1-1 物理图像数字化的过程

(1) 图像采样

图像采样是对图像空间坐标的离散化,它决定了图像的空间分辨率。采样可以这样形象地理解:用一个方格把待处理的图像覆盖,然后把每一小格上模拟图像的亮度取平均值,作为该小方格中点的值,如图 1.1-2 所示。

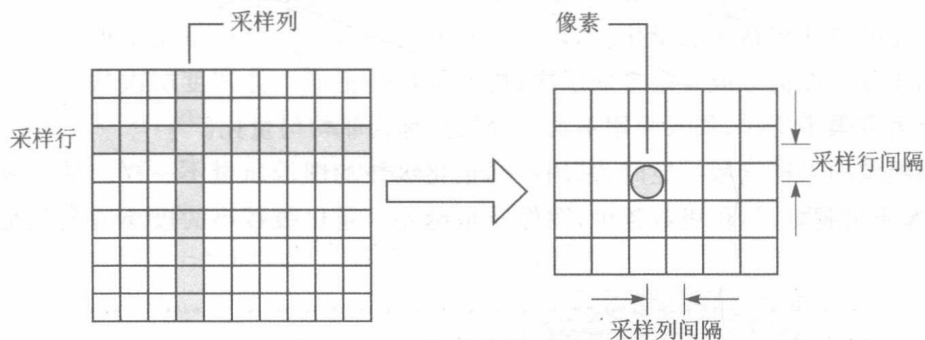


图 1.1-2 图像采样过程示意图

对一幅图像采样时,若每行(横向)采样数为 M ,每列(纵向)采样数为 N ,则图像大小为 $M \times N$ 个像素, $f(x,y)$ 表示点 (x,y) 处的灰度值,则 $F(x,y)$ 构成一个 $M \times N$ 实数矩阵:

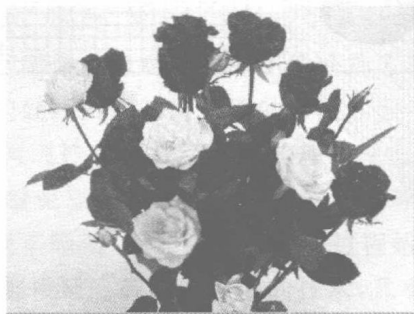
$$F(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1.1.1)$$

第1章 MATLAB 数字图像/视频处理技术基础

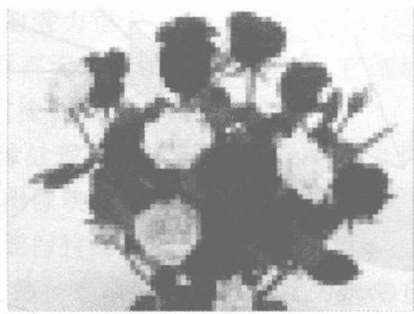
经验分享 “像素”的英文为 pixel,它是 picture 和 element 的合成词,表示图像元素的意思。可以对“像素”进行如下理解:

像素是一个面积概念,是构成数字图像的最小单位。

像素的大小与图像的分辨率有关,分辨率越高,像素就越小,图像就越清晰,如图 1.1-3 所示。



(a) 像素为 320×240 的图像



(b) 像素为 80×60 的图像

图 1.1-3 像素不同的图像比较

(2) 灰度量化的方法

把采样后所得的各像素灰度值从模拟量到离散量的转换称为图像灰度的量化。量化是对图像幅度坐标的离散化,它决定了图像的幅度分辨率。

量化的方法包括分层量化、均匀量化和非均匀量化。分层量化是把每一个离散样本的连续灰度值分成有限多的层次;均匀量化是把原图像灰度层次从最暗至最亮均匀分为有限个层次,如果采用不均匀分层就称为非均匀量化。

当图像的采样点数一定时,采用不同量化级数的图像质量不一样。量化级数越多,图像质量越好;量化级数越少,图像质量越差。量化级数小的极端情况就是二值图像。

经验分享 “灰度”可以认为是图像色彩亮度的深浅。图像所能够展现的灰度级越多,也就意味着图像可以表现更强的色彩层次。如果把黑-灰-白连续变化的灰度值量化为 256 个灰度级,即灰度值的范围为 $0 \sim 255$,表示亮度从深到浅,对应图像中的颜色为从黑到白。

(3) 几种常见的数字图像类型

① 黑白图像(图 1.1-4):图像的每个像素只能是黑或白,没有中间的过渡,故又称为二值图像。二值图像的像素值为 0、1。

② 灰度图像(图 1.1-5):灰度图像是指每个像素的信息由一个量化的灰度级来

描述的图像,没有彩色信息。

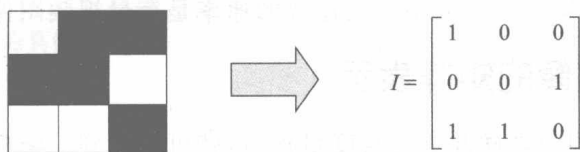


图 1.1-4 黑白图像及其表示

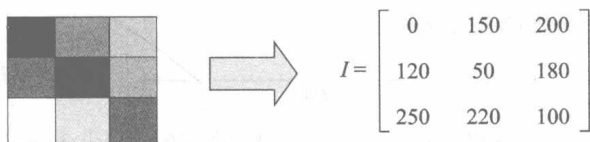


图 1.1-5 灰度图像及其表示

③ 彩色图像(图 1.1-6):彩色图像是指每个像素的信息由 RGB 三原色构成的图像,其中 RGB 是由不同的灰度级来描述的。

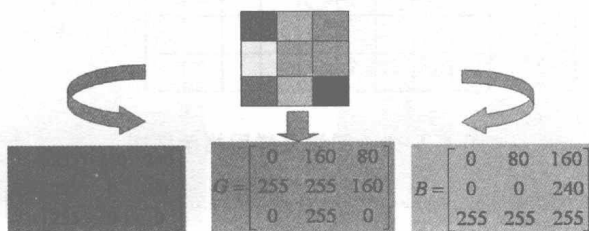


图 1.1-6 彩色图像及其表示

④ 序列图像(图 1.1-7):把具有一定联系的、具有时间先后关系的图像称为序列图像。我们经常看到的电视剧或电影图像主要是由序列图像构成的。序列图像是数字多媒体的重要组成部分。序列图像是单幅数字图像在时间轴上的扩展,可以将视频的每一帧视为一幅静止的图像。由此可见,视频序列图像是由一帧一帧具有相



图 1.1-7 序列图像

互关联的图像构成,这种相互关联性为我们进行视频图像处理提供了便利。视频图像中所含的帧数、每帧图像的大小以及播放的速率是衡量视频图像的重要指标。

1.1.3 数字图像的矩阵表示

二维图像进行均匀采样并进行灰度量化后,就可以得到一幅离散化成 $M \times N$ 样本的数字图像,该数字图像是一个整数阵列,因而可用矩阵来直观地描述该数字图像。如果采用图 1.1-8 所示的采样网络来对图像进行采样量化,则可得到如式(1.1.1)所示的数字化图像表示。

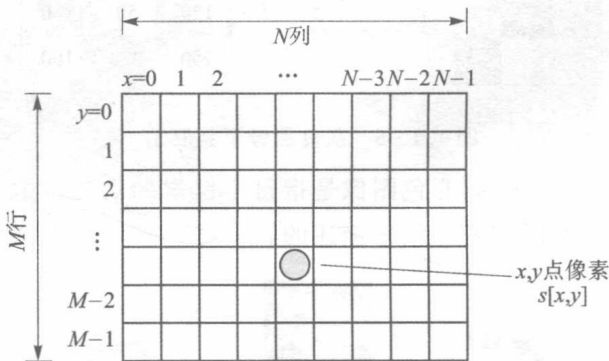


图 1.1-8 图像采样网格示意图

这样,一幅数字图像在 MATLAB 中可以很自然地表示为矩阵:

$$f = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (1.1.2)$$

经验分享 由于在 MATLAB 中矩阵的第一个元素的下标为(1,1),因此在式(1.1.2)中 $f(1,1)$ 等于式(1.1.1)中的 $f(0,0)$ 。式(1.1.1)和式(1.1.2)在表示上意思是一样的,只是原点坐标不同。

因此,对数字图像进行处理,也就是对特定的矩阵进行处理。在 C 语言中,对 $M \times N$ 数字图像处理的核心代码如下:

```
for (j = 1; j < N + 1; j++)
    for (i = 1; i < M + 1; i++)
        { 对 I(i,j)的具体运算
        };
```

在 MATLAB 中,对 $M \times N$ 数字图像处理的核心代码如下: