



华北电力大学
NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY

数字图像处理

Digital Image Processing

彭文

E-mail: pengwen@ncepu.edu.cn



课程目的与要求

- 掌握数字图像处理的基本概念、原理和方法
- 初步运用所学知识解决实际问题
- 为图像处理及相关领域的研究打下基础
 - ✓ 图像处理
 - ✓ 计算机视觉
 - ✓ 基于内容的图像、视频检索
 - ✓ 人脸识别、指纹识别、掌纹识别、虹膜识别
 - ✓ 图像分类、图像和视频的语义概念检测、……



参考教材

- ✓ Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods 著，阮秋琦、阮宇智等译，数字图像处理（MATLAB版）（第二版），电子工业出版社，2020年。
- ✓ Kenneth R. Castleman著，朱志刚、林学闯、石定机等译，数字图像处理，电子工业出版社，2002年。
- ✓ 章毓晋，图象工程上册—图象处理和分析，清华大学出版社，2003年。
- ✓ 阮秋琦，数字图像处理学，电子工业出版社，2004年。
- ✓ 杨枝灵、王开等，Visual C++数字图像获取、处理及实践应用，人民邮电出版社，2003年。



考试方式

- 平时作业+理论考试
- 平时作业：matlab程序
- 考试闭卷：基本概念、原理和算法



国内外相关会议和杂志

- 一级学报

- ✓ 计算机学报
- ✓ 软件学报
- ✓ 电子学报
- ✓ 计算机辅助设计与图形学学报
- ✓ 中国图象图形学报
- ✓ 计算机研究与发展



国内外相关会议和杂志

- 国外会议

- ✓ IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)
- ✓ IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)
- ✓ ACM Multimedia Conference (MM)
- ✓ IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)
- ✓ IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)
- ✓ International Conference on Pattern Recognition (ICPR)



国内外相关会议和杂志

- 国外期刊

- ✓ IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)
- ✓ IEEE Transactions on Image Processing (IP)
- ✓ IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (CSVT)
- ✓ International Journal of Computer Vision (IJCV)
- ✓ Pattern Recognition (PR)
- ✓ Image and Vision Computing (IVC)



第1章 概述

- 基本概念
 - ✓ 图像、数字图像、像素
 - ✓ 数字图像处理的起源
 - ✓ 数字图像处理的应用领域
 - ✓ 图像处理系统的部件
- 基础知识
 - ✓ 图像的采样和量化
 - ✓ 数字图像的表达
 - ✓ 数字图像的质量
 - ✓ 像素间的一些基本关系

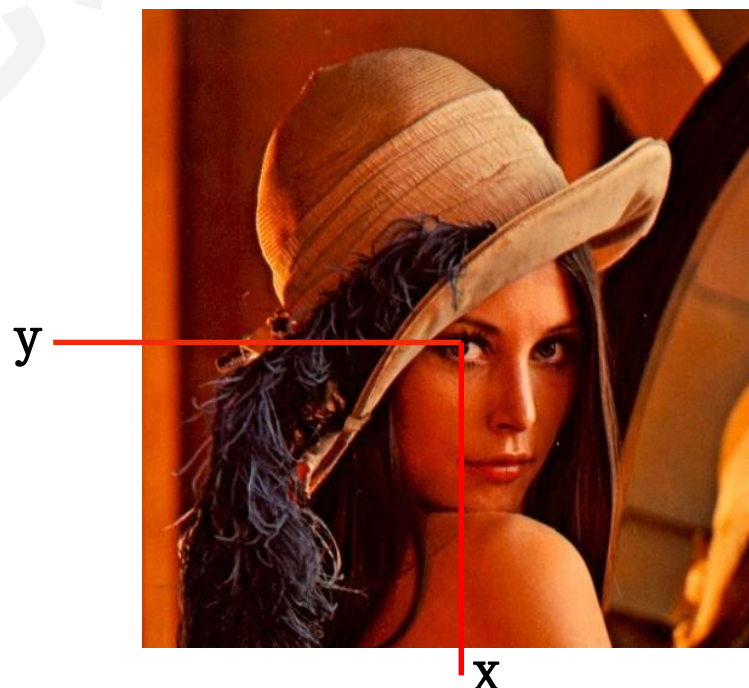


第1章 概述

- Matlab
 - ✓ Matlab简介
 - ✓ Matlab构成
 - ✓ 图象处理工具箱

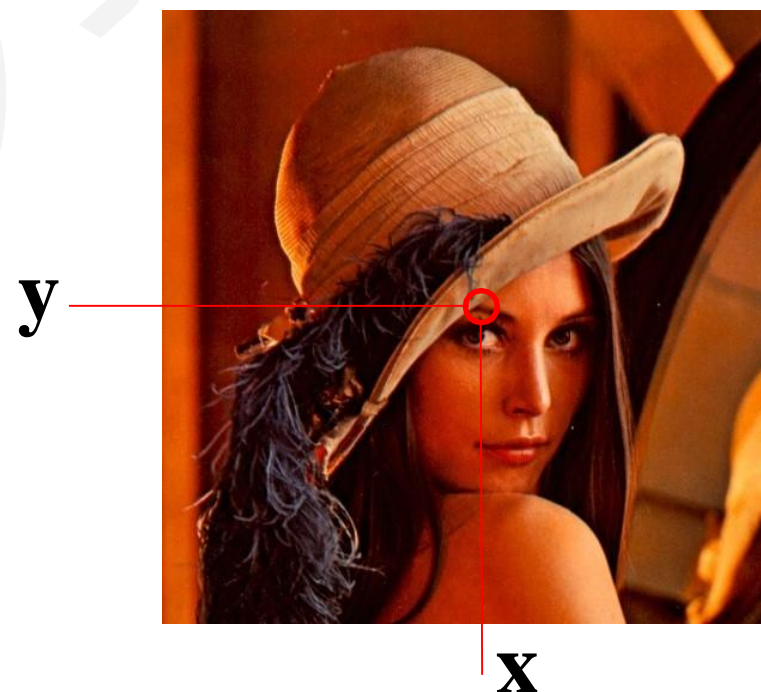
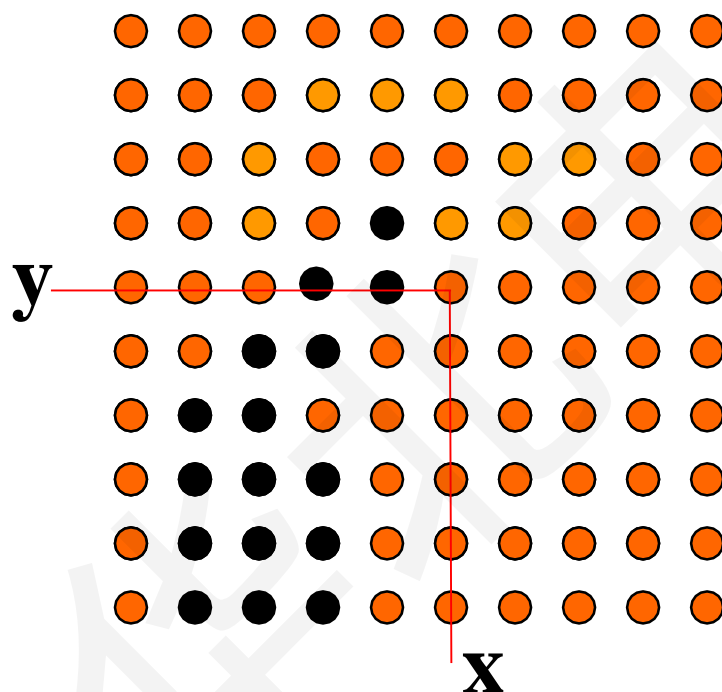
1.1 什么是图像

- ✓ 定义为二维函数 $f(x,y)$,其中, x,y 是空间坐标, $f(x,y)$ 是点 (x,y) 的幅值。
- ✓ 灰度图像是一个二维灰度 (或亮度) 函数 $f(x,y)$ 。
- ✓ 彩色图像由三个 (如RGB,HSV) 二维灰度 (或亮度) 函数 $f(x,y)$ 组成。



1.2 什么是数字图像

数字图像由二维的元素组成，每一个元素具有一个特定的位置 (x,y) 和幅值 $f(x,y)$ ，这些元素就称为像素。





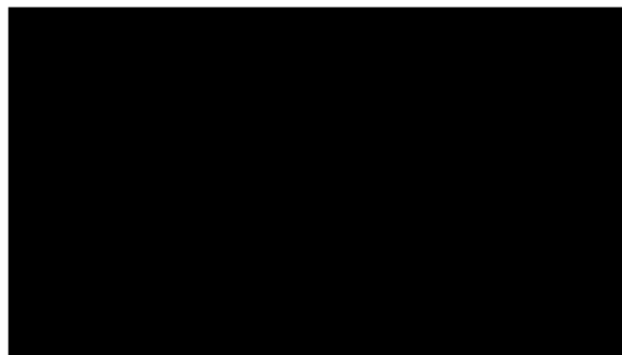
1.2 什么是数字图像

- ✓ 像素组成的二维排列，可以用矩阵表示。
- ✓ 对于单色（灰度）图像而言，每个像素的亮度用一个数值来表示，通常数值范围在0到255之间，0表示黑、255表示白，其它值表示处于黑白之间的灰度。
- ✓ 彩色图像可以用(红,绿,蓝)三元组的二维矩阵来表示。通常，三元组的每个数值也是在0到255之间，0表示相应的基色在该像素中没有，而255则代表相应的基色在该像素中取得最大值。

图像的导数



$$f' = \frac{\Delta f}{\Delta x}$$





1.3 数字图像处理的起源

数字图像处理的历史可追溯至二十世纪二十年代。最早应用之一是在**报纸业**，当时，引入**巴特兰**电缆图片传输系统，图像第一次通过海底电缆横跨大西洋从**伦敦**送往**纽约**传送一幅图片。为了用电缆传输图片，首先进行编码，然后在接收端用特殊的打印设备重现该图片。按照1929年的技术水平，如果不压缩，需要一个多星期，压缩后传输时间减少到3个小时。



1921年，5级



1929年，15级



1.3 数字图像处理的起源

第一台可以执行有意义的图像处理任务的大型计算机出现在20世纪60年代早期。当时由“旅行者7号”卫星传送的月球图像由一台计算机进行了处理，以校正航天器上电视摄像机中各种类型的图像畸变。

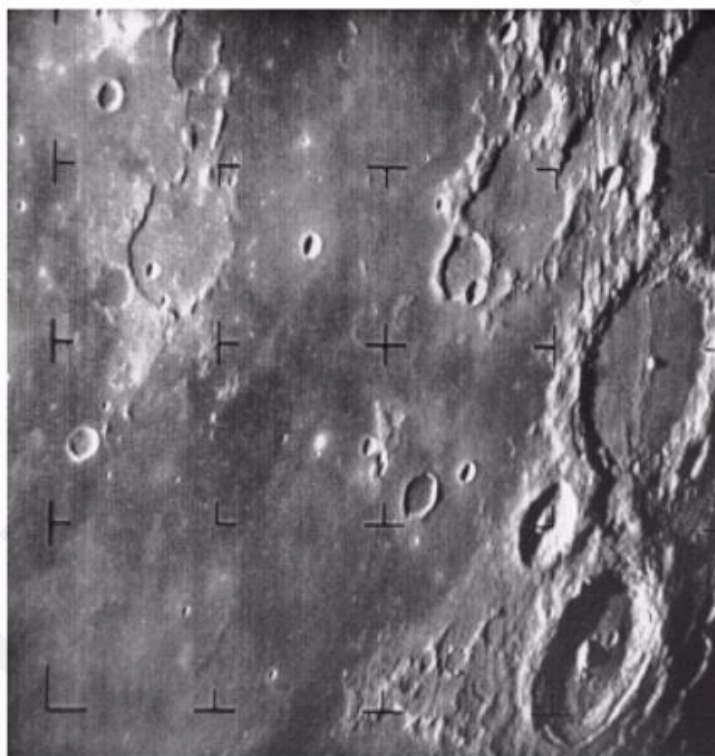


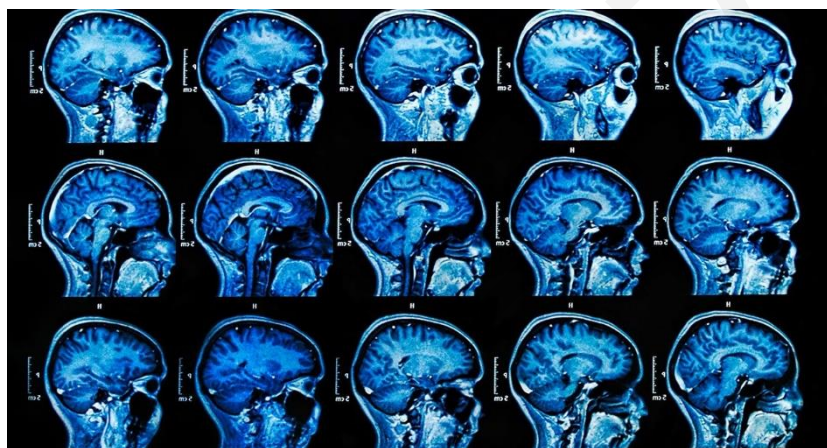
FIGURE 1.4 The first picture of the moon by a U.S. spacecraft. *Ranger 7* took this image on July 31, 1964 at 9:09 A.M. EDT, about 17 minutes before impacting the lunar surface. (Courtesy of NASA.)



1.3 数字图像处理的起源

与空间应用同时，数字图像处理技术在20世纪60年代末和70年代初开始用于医学图像、地球遥感监测和天文学领域。

早在20世纪70年代计算机轴向断层(CAT)、简称计算机断层(CT)是图像处理在医学诊断应用中最重要的事件之一。





1.4 数字图像的应用领域

- 传统领域

- ✓ 医学、空间应用、地理学、生物学、军事……

- 最新领域

- ✓ 数码相机(DC)、数码摄像机(DV)

- ✓ 指纹识别、人脸识别、自动驾驶

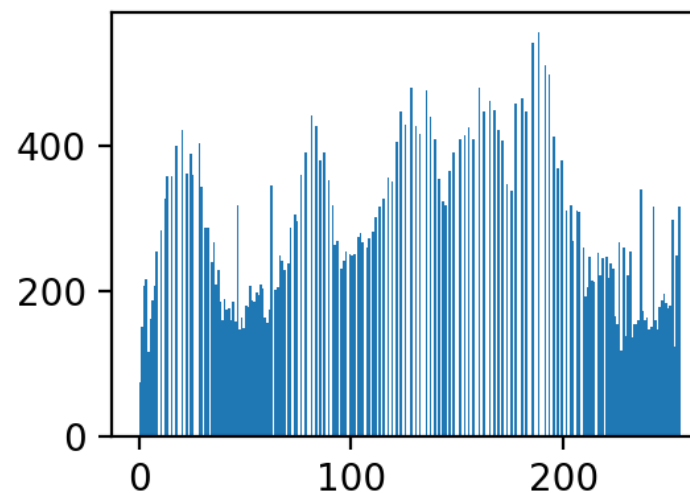
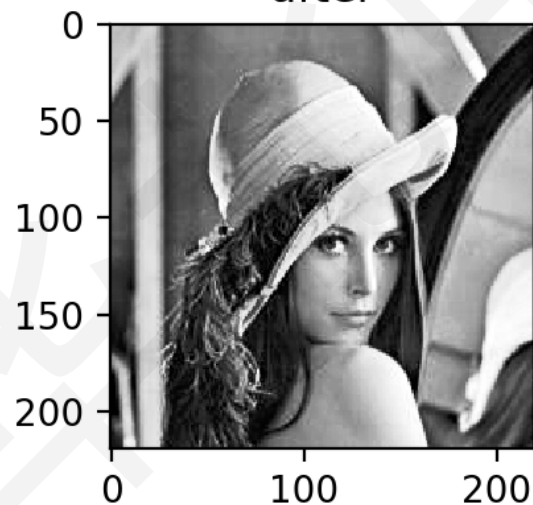
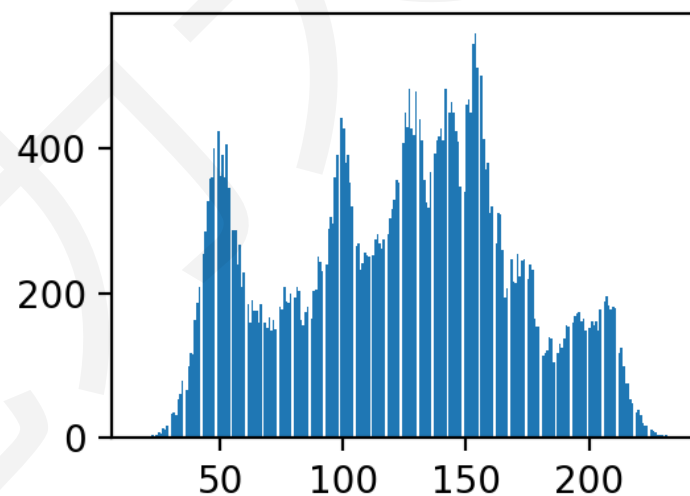
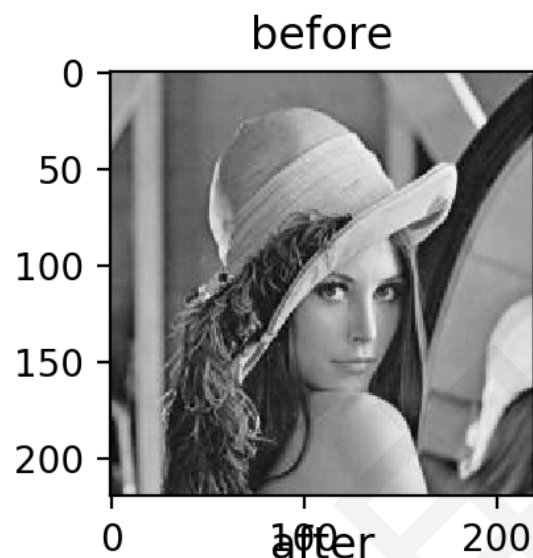
- ✓ 互联网、视频、多媒体等

- ✓ 基于内容的图像检索、视频检索、多媒体检索

- ✓ 水印、游戏、电影特技、虚拟现实、电子商务等

数字图像处理的应用无处不在

例1：图像增强——直方图均衡化



例2：人脸检测与识别

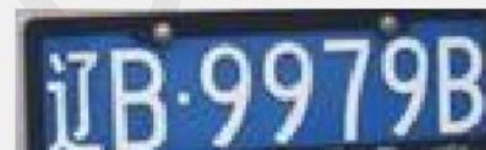


例3：车牌试别

MATLAB车牌识别算法对比研究

车牌分割结果

测试图像



识别结果 时间 S

识别方法的选择

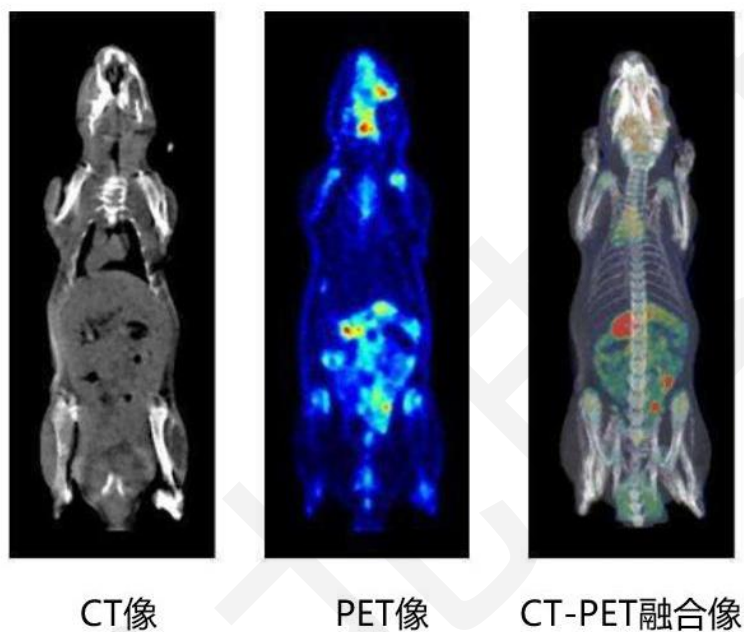
☒ bp神经网络 ☐ 模板匹配

选择并识别

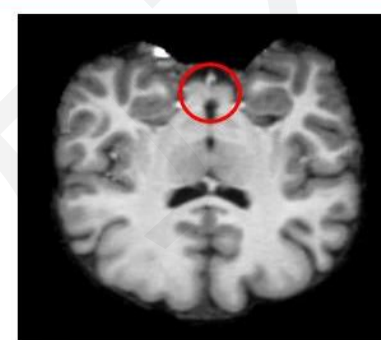
退出清空

方法可选，对比识别率

例4：医学影像应用

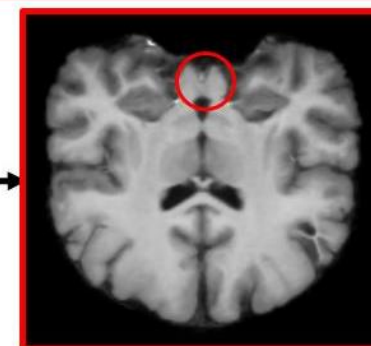


多模态图像配准

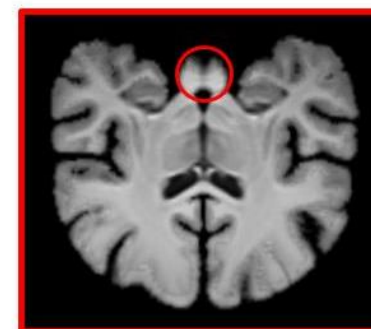


某病人被治疗后

配准

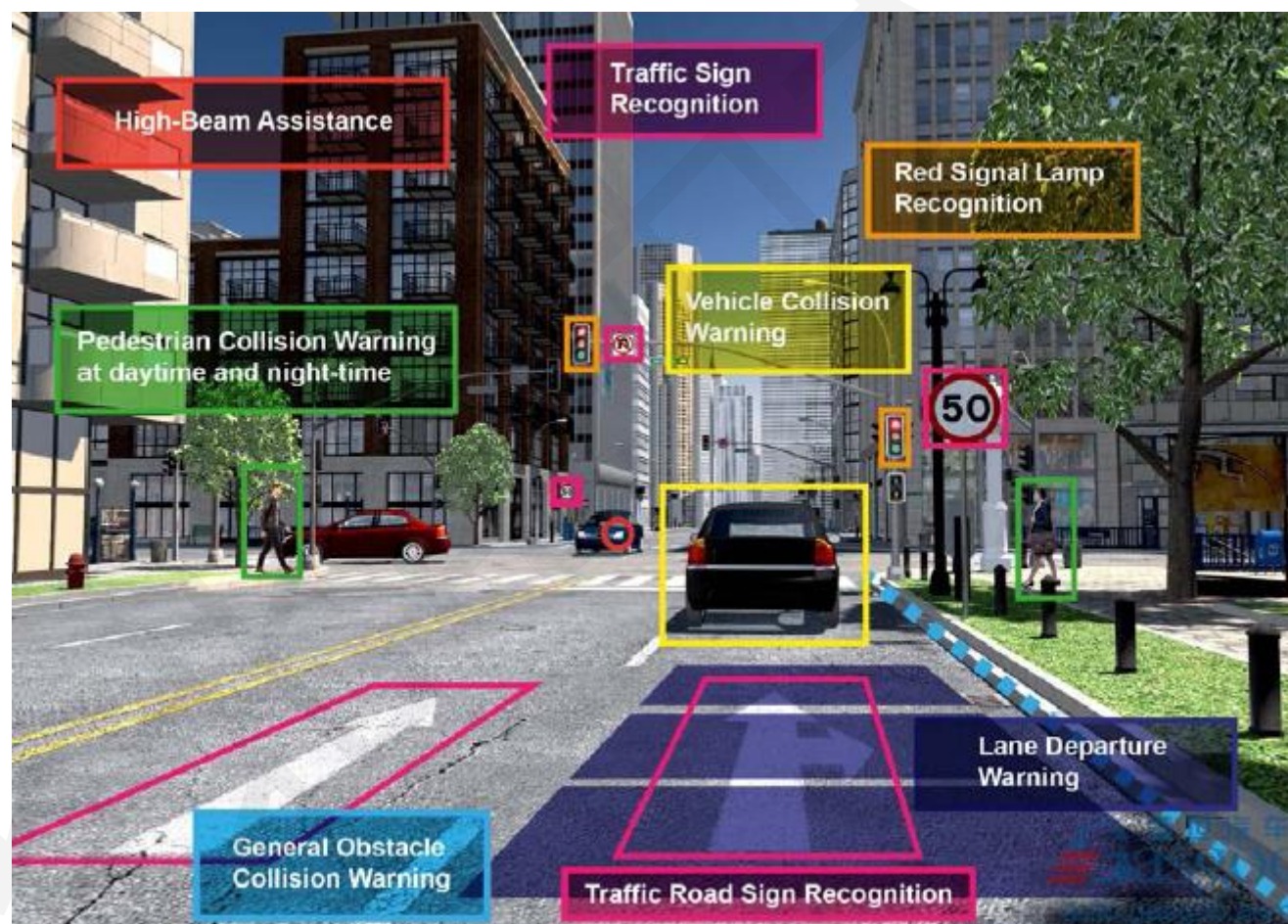


健康人模板



时间序列配准 (单模态多时相配准)

例5：自动驾驶



例6：基于内容的图像检索



(a)光照变化

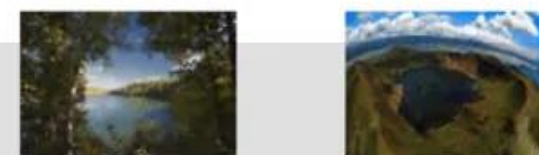
(b)尺度变化

(c)视角变化

(d)遮挡

(e)背景杂乱

相同物体图像检索面临的挑战



(a)类内变化巨大(湖泊)



(b)类间相似性干扰

相似类别图像检索面临的挑战

例7：数字水印

嵌入水印图像



原图像



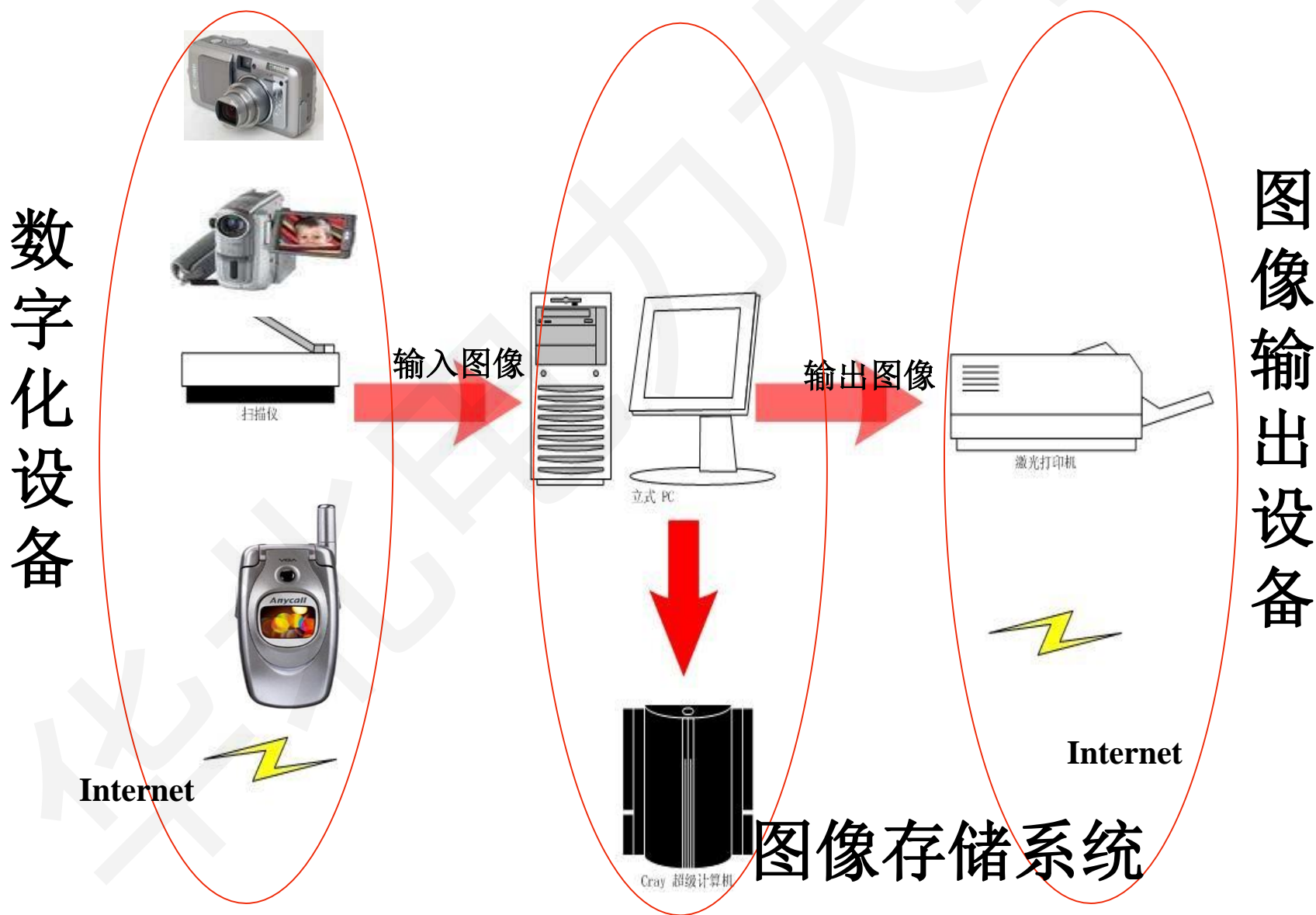
例8：表情与微表情识别



例9：图像分类



1.5 图像处理系统的组成





1.5 图像处理系统的组成

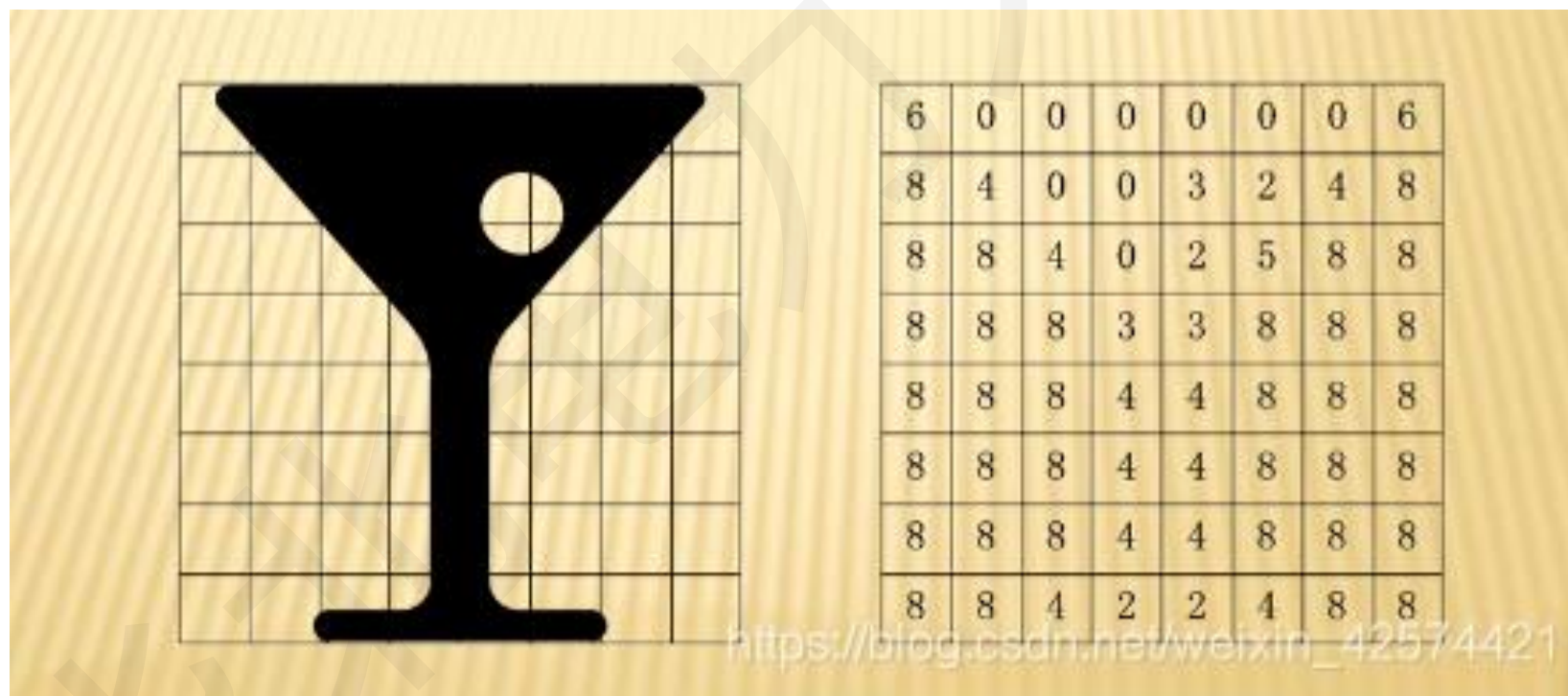
- 三大部分组成
 - ✓ 图像数字化设备：包括数码相机、数码相机、带照相和/或摄像功能的手机等。
 - ✓ 图像处理设备：包括计算机和存储系统。
 - ✓ 图像输出设备：包括打印机，也可以输出到Internet上的其它设备。



1.5 图像处理系统的组成

- 图像存储系统
 - ✓ 图像文件格式体系
 - ✓ 互联网用：GIF、JPG
 - ✓ 印刷用：TIF、JPG、TAG、PCX
 - ✓ 国际标准：TIF、JPG、BMP
 - ✓ 图像存储体系，分级存储内存存储
 - ✓ 处理时使用硬盘存储
 - ✓ 备份存储：光盘、磁带（离线、近线）网络存储：SAN、NAS。

1.5 图像处理系统的组成



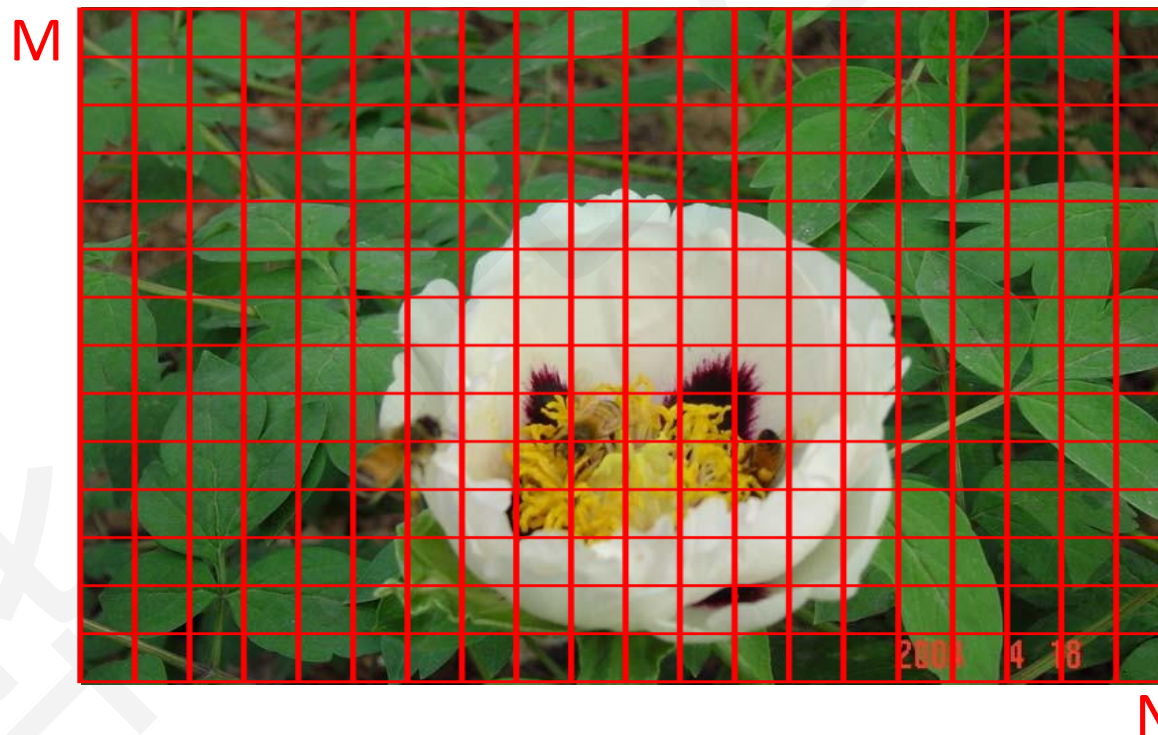


1.6 图像的采样与量化

- 大多数传感器的输出是连续电压波形。
- 为了产生一幅数字图像，需要把连续的感知数据转化为数字形式。
- 这包括两种处理：采样和量化
 - ✓ 采样：图像空间坐标的数字化
 - ✓ 量化：图像函数值（灰度值）的数字化

1.6.1 图像采样

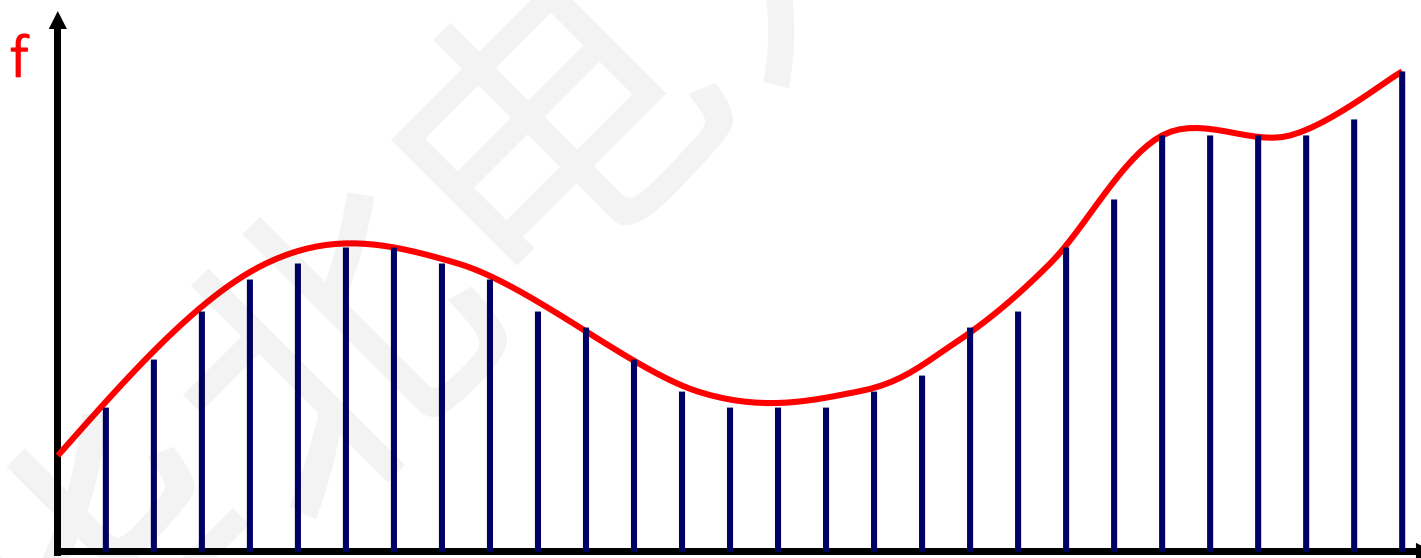
- 空间坐标 (x,y) 的数字化被称为图像采样。
- 确定水平和垂直方向上的像素个数 N 、 M 。





1.6.2 图像量化

- 函数取值的数字化被称为图像的量化，如量化到256个灰度级。



1.6.3 图像的采样与数字图像的质量

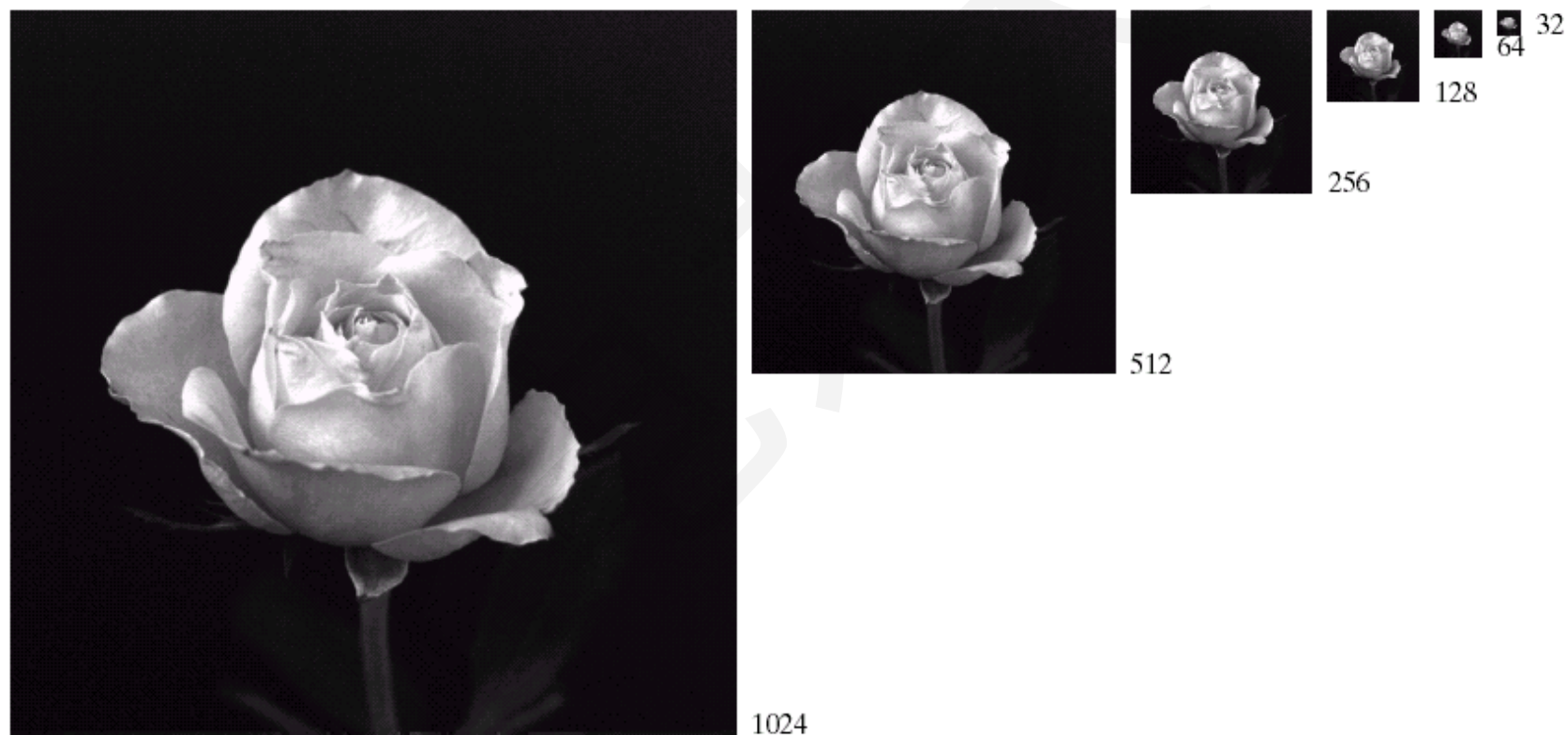
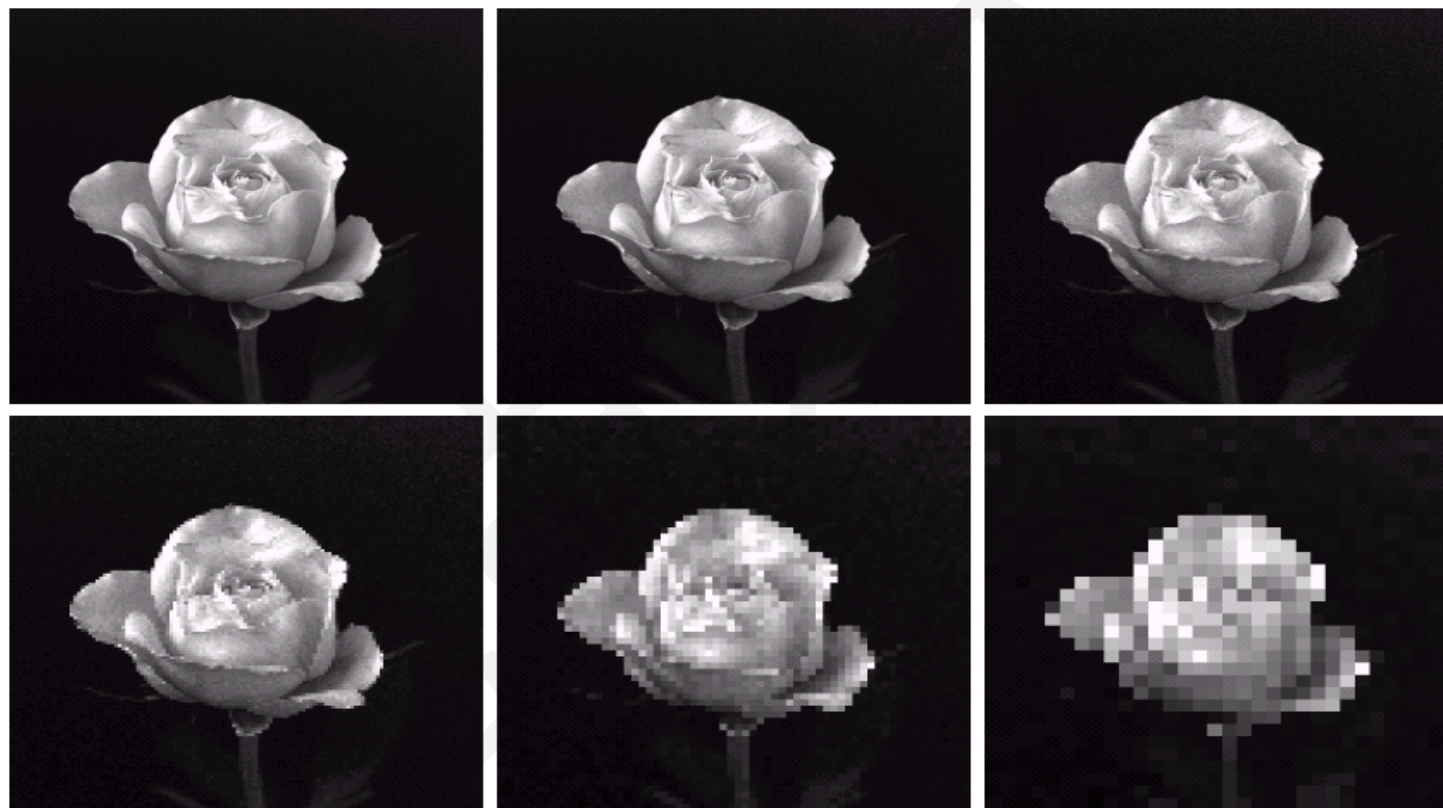


FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.



1.6.3 图像的采样与数字图像的质量



a	b	c
d	e	f

FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

1.6.3 图像的采样与数字图像的质量



265x180



133x90



66x45



33x22

1.6.4 图像的量化与数字图像的质量



256灰度级



16灰度级



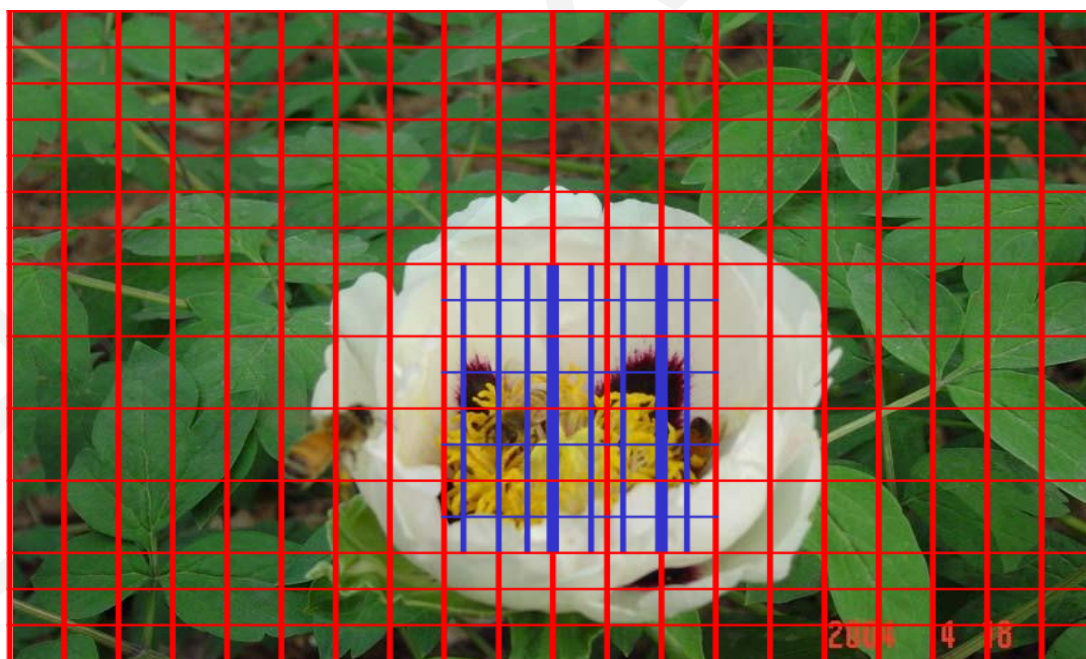
8灰度级



4灰度级

1.6.5 非统一的图像的采样

- 在灰度级变化尖锐的区域，用细腻的采样。
- 在灰度级比较平滑的区域，用粗糙的采样。





1.7 数字图像的表示

- 二维离散亮度函数—— $f(x,y)$
 - ✓ x, y 说明图像像素的空间坐标
 - ✓ 函数值 f 代表了在点 (x,y) 处像素的灰度值
- 二维矩阵—— $A[m,n]$
 - ✓ m, n 说明图像的宽和高
 - ✓ 矩阵元素 $a(i,j)$ 的值, 表示图像在第 i 行, 第 j 列的像素的灰度值; i,j 表示几何位置



1.7 数字图像的表示

- 数字图像的表示方法
 - ✓ 二值图像
 - ✓ 灰度图像
 - ✓ RGB图像
 - ✓ 索引图像
 - ✓ 多帧图像

1.7.1 二值图像

- 用一个二维数组来描述，1位表示一个像素，组成图像的像素值非0即1，没有中间值，通常0表示黑色，1表示白色。一般用来描述文字或者图形，优点是占用空间少，缺点是当表示人物或风景图像时只能描述轮廓。



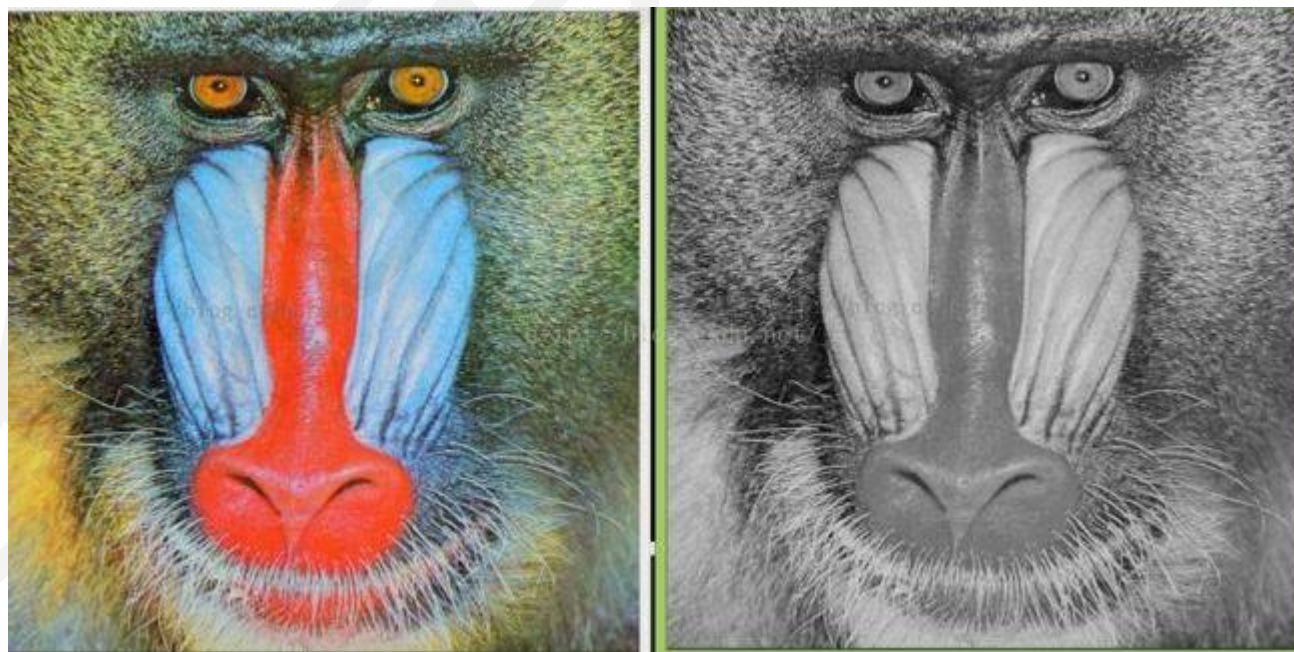
1.7.2 灰度图像

- 也称为单色图像，通常也由一个二维数组表示一幅图像，8位表示一个像素，0表示黑色，255表示白色，1-254表示不同深浅灰色。



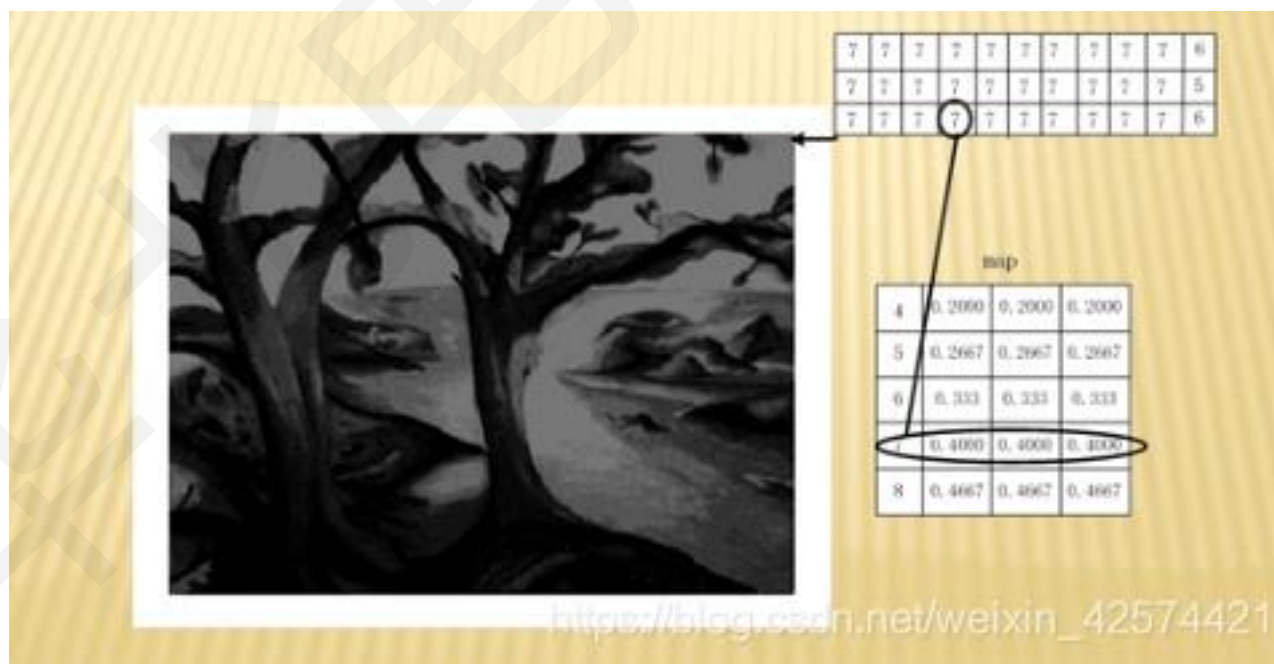
1.7.3 RGB图像

- RGB图像也称为真彩色，是一种彩色图像表示方法，利用3个大小相同的二维数组表示一个像素，3个数组分别代表R、G、B三个分量，R表示红色，G表示绿色，B表示蓝色，通过三种基本颜色可以合成任意颜色。



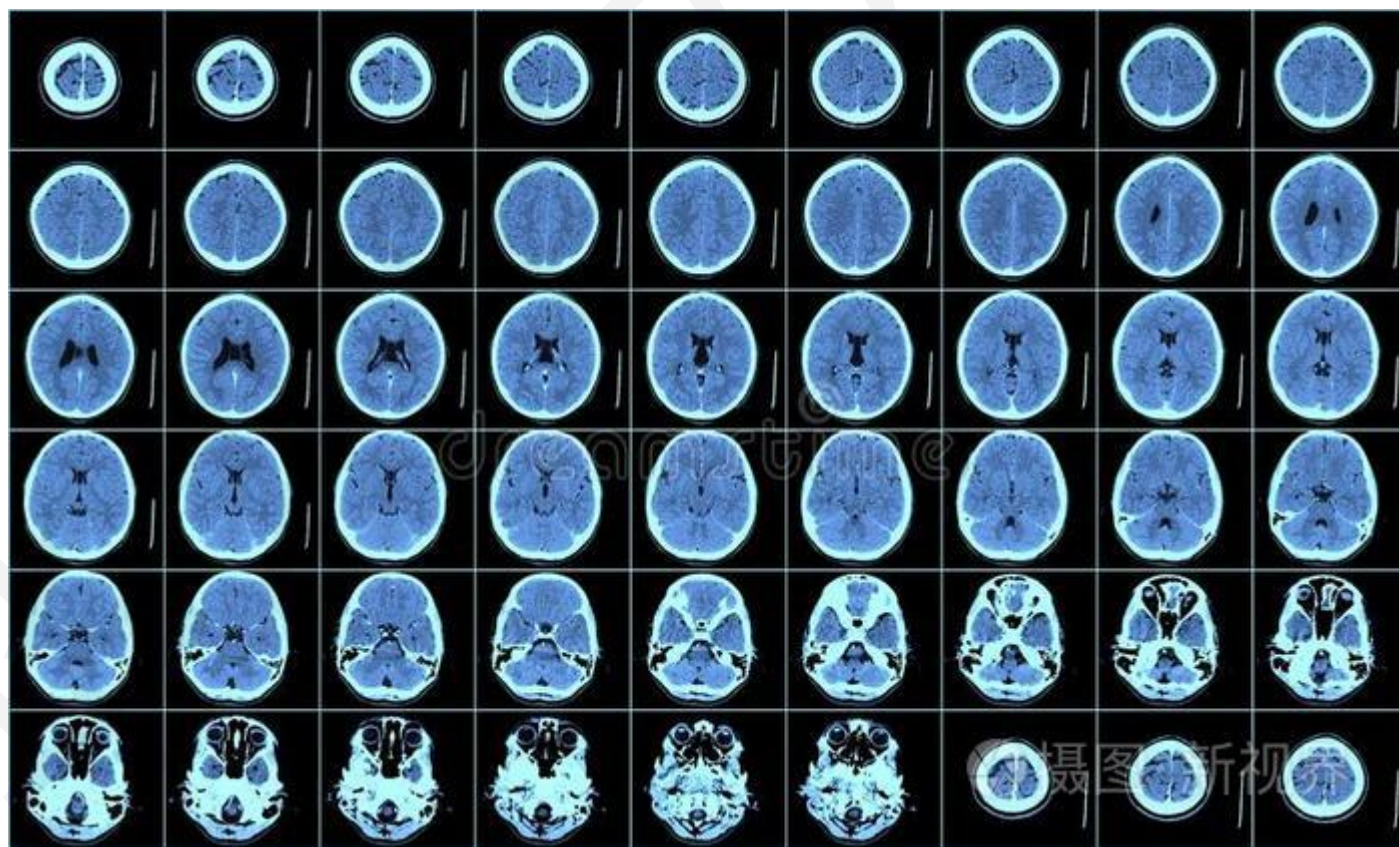
1.7.4 索引图像

- 索引图像是一种把像素值直接作为RGB调色板下标的图像。在MATLAB中，索引图像包含一个数据矩阵X和一个颜色映射（调色板）矩阵map。数据矩阵可以是8位无符号整型、16位无符号整型或双精度类型的。



1.7.5 多帧图像

- 多帧图像是一种包含多幅图像或帧的图像文件，又称为多页图像或图像序列，主要用于需要对时间或场景上相关图像集合进行操作的场合。





1.8 图像的质量

- 亮度
- 对比度
- 饱和度
- 清晰度

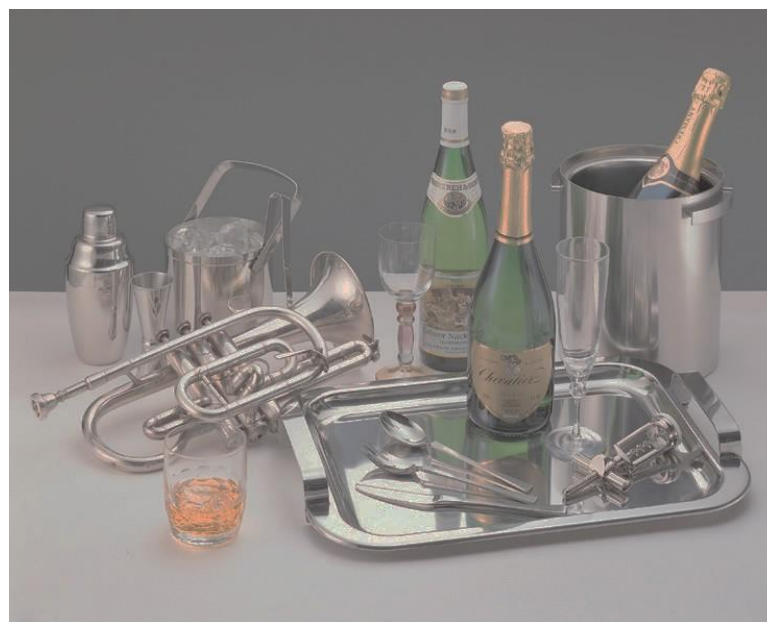
1.8.1 图像的亮度

- 亮度：画面的明亮程度，如果灰度值在 $[0, 255]$ 之间，则越接近0亮度越低，越接近255亮度越高。（绝对值的概念）



1.8.2 图像的对比度

- 对比度：是指一幅图像中灰度反差的大小
对比度 = 最大亮度 / 最小亮度
- 一般来说对比度越大，图像越清晰醒目，色彩也越鲜明艳丽；而对比度小，则会让整个画面都灰蒙蒙的。（**相对值的概念**）





1.8.3 图像的饱和度

- 饱和度：图像颜色种类的多少，也就是图像实际拥有的灰度级的数量。
- 例如，具有32种不同取值的图像，可称该图像具有32个层次。
- 图像数据的实际层次越多，视觉效果就越好。



1.8.3 图像的饱和度

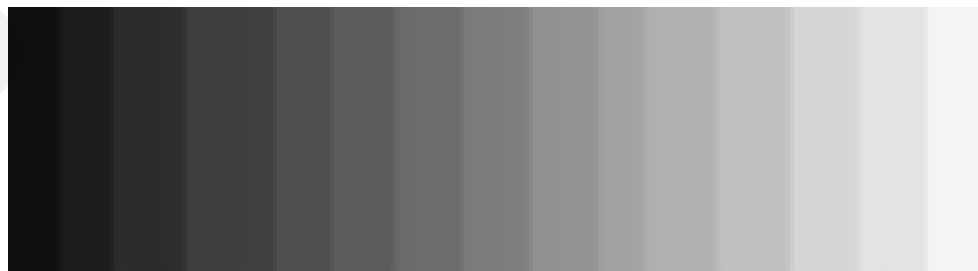
256个层次的图像



64个层次的图像



16个层次的图像



1.8.3 图像的饱和度





1.8.4 图像的清晰度

- 图像的清晰度是指图像细节的清晰程度,它包括如下方面:
 - ✓ 分辨图像线条间的区别。
 - ✓ 衡量线条边缘轮廓是否清晰。
 - ✓ 图像明暗层次间,尤其是细小层次间的明暗对比和细微反差是否清晰。
- 与清晰度相关的因素: 亮度、对比度、尺寸、细节层次、饱和度

(1) 影响清晰度因素——亮度

原图



降低亮度

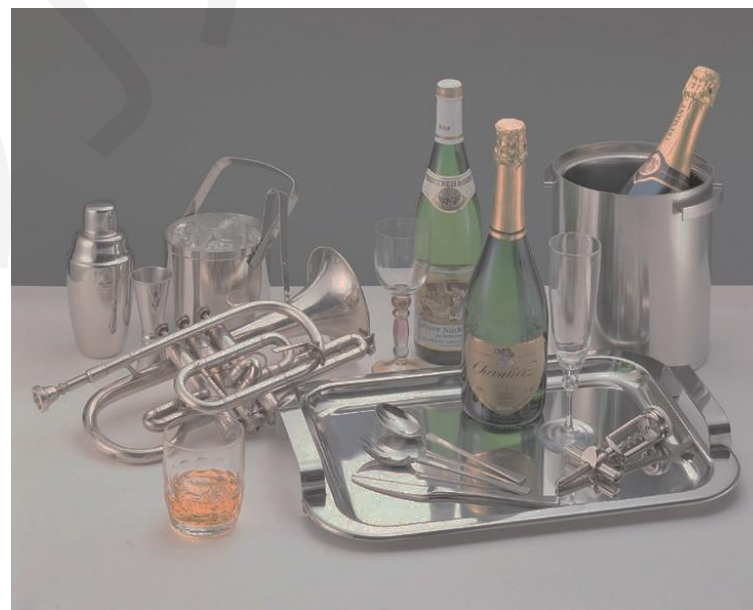


(2) 影响清晰度因素——对比度

原图



降低对比度



(3) 影响清晰度因素——尺寸

原图



缩小尺寸



(4) 影响清晰度因素——饱和度

原图



减少饱和度



(5) 影响清晰度因素——细微层次

原图



减少层次





1.9 像素间的关系

- 相邻像素

- ✓ 4邻域

- ✓ D邻域

- ✓ 8邻域

- 连通性

- ✓ 4连通

- ✓ 8连通

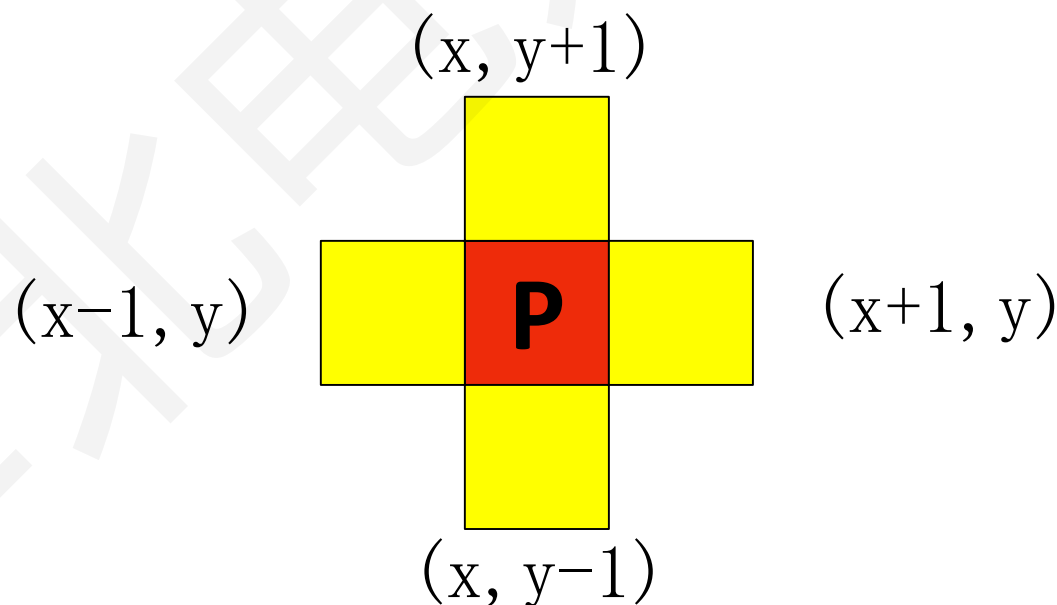
- ✓ m连通

- 距离



1.9.1 相邻-4邻域

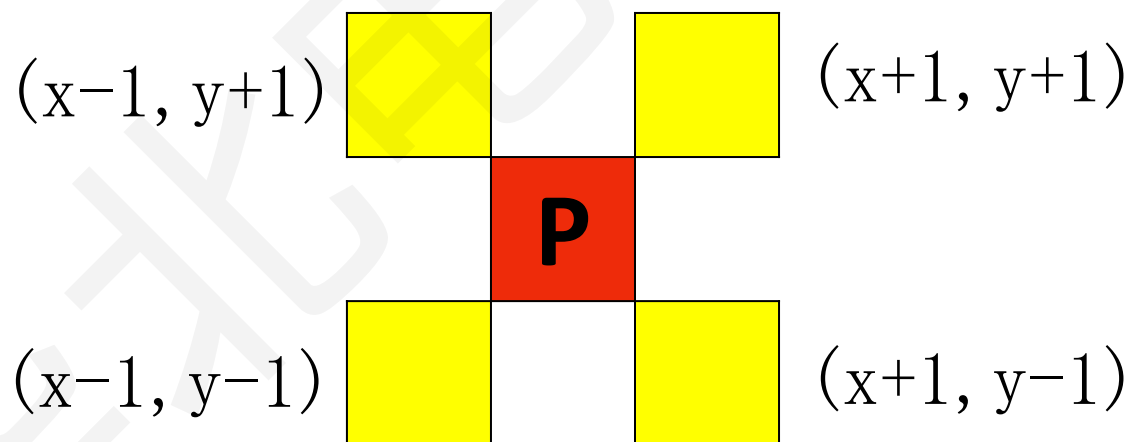
- 4邻域：像素 $p(x,y)$ 的4邻域是： $(x+1,y)$ 、 $(x-1,y)$ 、 $(x,y+1)$ 、 $(x,y-1)$
- 用 $N_4(p)$ 表示像素 p 的4邻域





1.9.1 相邻-D邻域

- D邻域定义：像素 $p(x,y)$ 的D邻域是对角上的点 $(x+1,y+1)$; $(x+1,y-1)$; $(x-1,y+1)$; $(x-1,y-1)$
- 用 $N_D(p)$ 表示像素 p 的D邻域

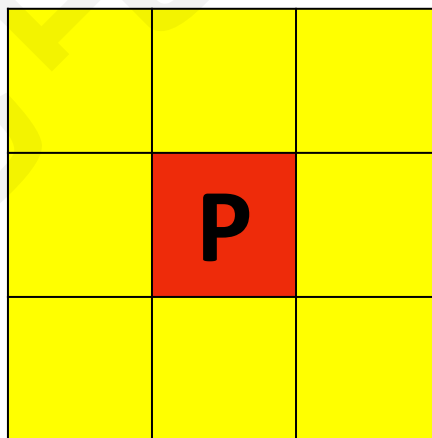




1.9.1 相邻-8邻域

- 8邻域定义：像素 $p(x,y)$ 的8邻域是：4邻域的点 + D邻域的点
- 用 $N_8(p)$ 表示像素 p 的8邻域。

$$N_8(p) = N_4(p) + N_D(p)$$





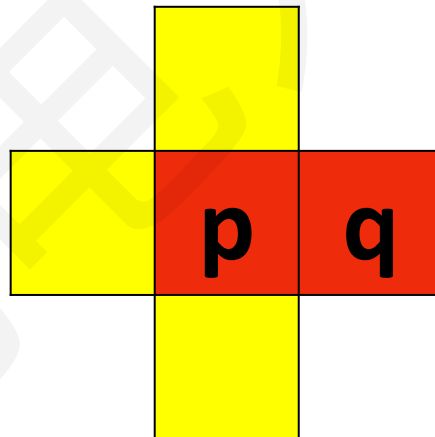
1.9.2 连通性

- 连通性是描述区域和边界的重要概念，两个像素连通的两个必要条件是：
 - ✓ 两个像素的位置是否相邻
 - ✓ 两个像素的灰度值是否满足特定的相似性准则（或者是否相等）
- 4连通、8连通、m连通的定义



1.9.2 连通性-4连通

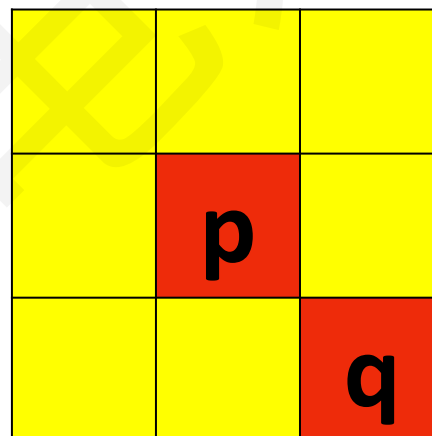
- 对于具有值 V 的像素 p 和 q ，如果 q 在集合 $N_4(p)$ 中，则称这两个像素是4连通的。





1.9.2 连通性-8连通

- 对于具有值 V 的像素 p 和 q ，如果 q 在集合 $N8(p)$ 中，则称这两个像素是8连通的。





1.9.2 连通性-m连通

- 对于具有值 V 的像素 p 和 q ，如果：
 - (1) q 在集合 $N_4(p)$ 中，或
 - (2) q 在集合 $N_D(p)$ 中，并且 $N_4(p)$ 与 $N_4(q)$ 的交集为空（没有值 V 的像素） 则称这两个像素是 m 连通的，即4连通和D连通的混合连通。



1.9.2 连通性-m连通

是m连通

	✓		
✓	p	✓ ×	
	✓ ×	q	×
		×	

不是m连通

	✓		
✓	p	✓ ×	
	✓ ×	q	×
		×	



1.9.2 连通性-通路

- 通路的定义

一条从具有坐标 (x,y) 的像素 p ,到具有坐标 (s,t) 的像素 q 的通路,是具有坐标

$$(x_0,y_0),(x_1,y_1),\dots,(x_n,y_n)$$

的不同像素的序列。

其中, $(x_0,y_0) = (x,y)$, $(x_n,y_n) = (s,t)$, (x_i,y_i) 和 (x_{i-1},y_{i-1}) 是邻接的, $1 \leq i \leq n$, n 是路径的长度。如果 $(x_0,y_0) = (x_n,y_n)$, 则该通路是闭合通路



1.9.3 距离

- 像素之间距离的定义
- 欧氏距离定义
- D4距离（城市距离）定义
- D8距离（棋盘距离）定义



像素间距离的定义

对于像素 p 、 q 和 z ，分别具有坐标 (x,y) ， (s,t) 和 (u,v) ，如果

(1) $D(p,q) \geq 0$ ($D(p,q)=0$ ，当且仅当 $p=q$)

(2) $D(p,q) = D(q,p)$

(3) $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$ 则称 D 是
距离函数或度量



欧式距离

- 像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 间的欧式距离定义如下:

$$D_e(p,q) = \sqrt{(x-s)^2 + (y-t)^2}$$

- 对于这个距离计算法, 具有与 (x,y) 距离小于等于某个值 r 的像素是: 包含在以 (x,y) 为圆心, 以 r 为半径的圆平面



D_4 距离（城市距离）

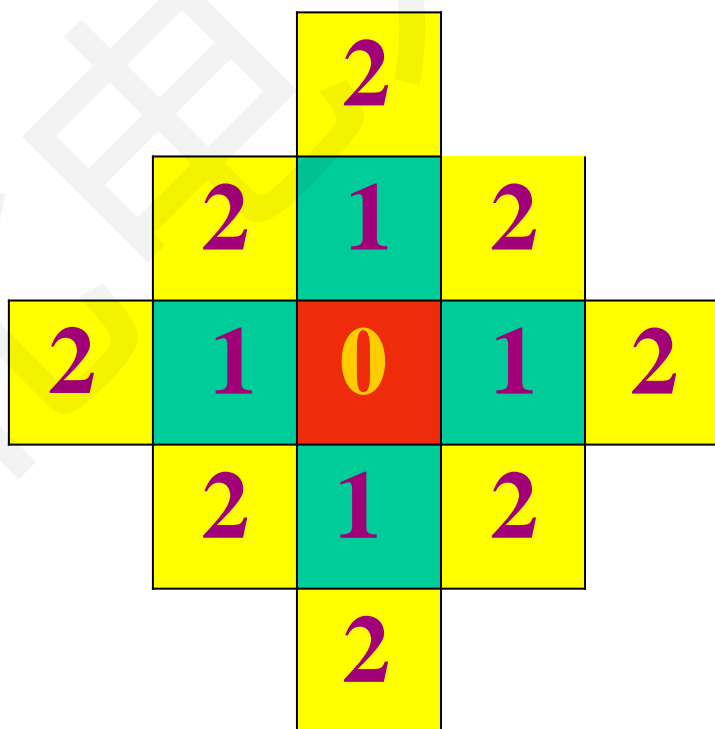
像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 之间的 D_4 距离定义为：

$$D_4(p,q) = |x - s| + |y - t|$$



D_4 距离举例

- 具有与 (x,y) 距离小于等于某个值 r 的那些像素形成一个菱形。具有 $D_4=1$ 的像素是 (x,y) 的4邻域。
- 例如，与点 (x,y) （中心点） D_4 距离小于等于2的像素，形成右边固定距离的轮廓





D_8 距离（棋盘距离）

像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 之间的 D_8 距离定义为：

$$D_8(p,q) = \max(|x - s|, |y - t|)$$

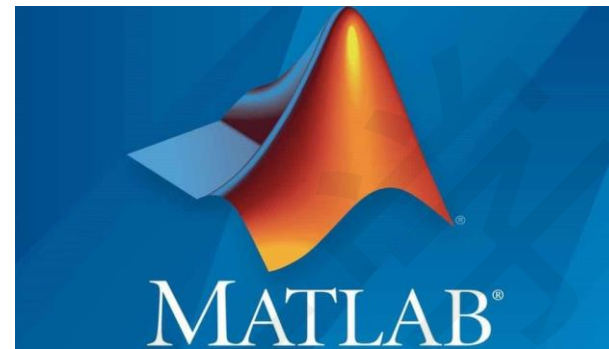


D_8 距离举例

- 具有与 (x,y) 距离小于等于某个值 r 的像素形成一个正方形，具有 $D_8=1$ 的像素是 (x,y) 的8邻域
- 例如，与点 (x,y) （中心点） D_8 距离小于等于2的像素，形成右边固定距离的轮廓

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

1.10 Matlab概述



- Matlab是Matrix Laboratory的缩写，软件主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。
- 它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案。
- 在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言的编辑模式。



1.10.1 Matlab构成

- Matlab软件主要由主包、Simulink和工具箱3部分组成。
 - ✓ Matlab主包是一种基于矩阵/数组的高级语言，它具有流程控制语句、函数、数据结构、输入输出，以及面向对象的程序设计特性。
 - ✓ Simulink是用于动态系统仿真的交互式系统。Simulink允许用户在屏幕上绘制框图模拟一个系统，并能够动态地控制该系统。
 - ✓ Matlab 工具箱是Matlab用来解决各个领域特定问题的函数库，它是开放式的，可以应用，也可以根据需要进行扩展。



1.10.2 图象处理工具箱

- Matlab是一种基于向量（数组）而不是标量的高级程序语言，因而Matlab从本质上就提供了对图像的支持。从图像的数字化过程可以知道，数字图像实际上就是一组有序离散的数据，使用Matlab可以对这些离散数据形成的矩阵进行一次性的处理。



1.10.2 图象处理工具箱

- 将图像文件读入内存: **imread()**
如果图像是彩色图, 内存数据为3维矩阵, 3维分别表示红、绿、蓝空间; 如果图像是灰度图, 内存数据为2维矩阵, 数据类型为uint8。
- 将图像文件写入文件: **imwrite()**
当利用imwrite函数保存图像时, Matlab 缺省的保存方式就是将其简化到uint8的数据格式。
在Matlab中使用的许多图像都是8bit, 并且大多数的图像文件并不需要双精度的浮点数据。



1.10.2 图象处理工具箱

- 在窗口中显示图像 I: `imshow(I)`
图像I可以是灰度图像，也可能是RGB真彩色图像，也可以是二值图像。
- 绘制直方图: `imhist(I,n)`
I为输入图像，需为灰度图像，n为指定的灰度级数目，缺省值为256。
RGB图像也可以转换为灰度图像`rgb2gray()`