



数字图像处理

第二章 数字图像处理基础



赵荣昌 (byrons.zhao@gmail.com)

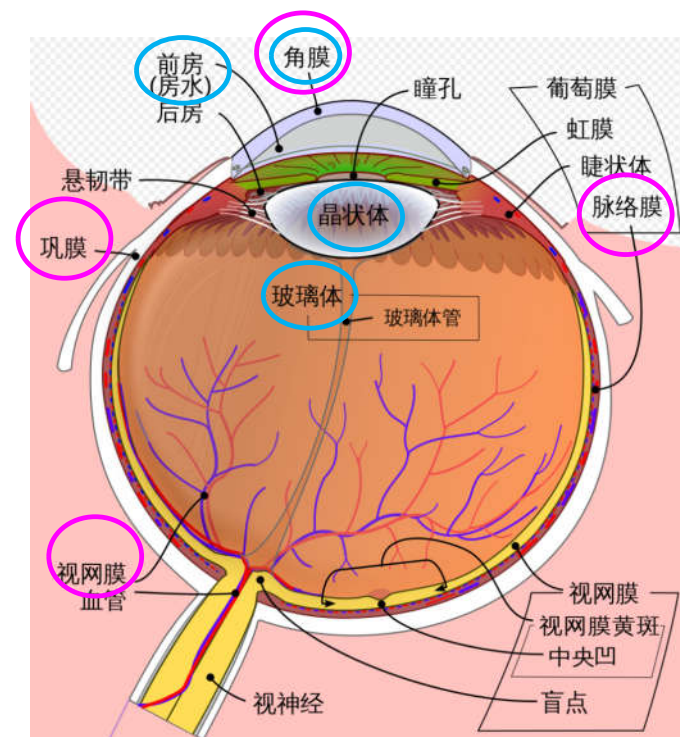
中南大学计算机学院

本章主要内容

- 一、人眼视觉感知
- 二、数字图像感知与获取
- 三、采样与量化
- 四、图像的表达与描述
- 五、像素间的一些基本关系
- 六、DIP中所用数学工具的介绍

一、人眼视觉感知

- **视觉**是光刺激作用于视觉器官而产生的主观映像，人眼是视觉系统的外周感受器。视觉器官主要包括眼睛、视觉通道（视神经等）和视中枢（大脑的枕叶皮层）。
- **眼睛/眼球**，直径约 20mm。解剖角度看
 - 最外：角膜和巩膜
 - 中间：脉络膜
 - 最内：视网膜
- **功能角度**
 - 屈光系统：角膜、房水、晶状体、玻璃体构成
 - 感光系统：视网膜



一、人眼视觉感知

➤ **视觉**是光刺激作用于视觉器官而产生的主观映像，人眼是视觉系统的外周感受器。视觉器官主要包括眼睛、视觉通道（视神经等）和视中枢（大脑的枕叶皮层）。

➤ **眼睛/眼球**，直径约 20mm。解剖角度看

➤ 最外：角膜和巩膜

➤ 中间：脉络膜

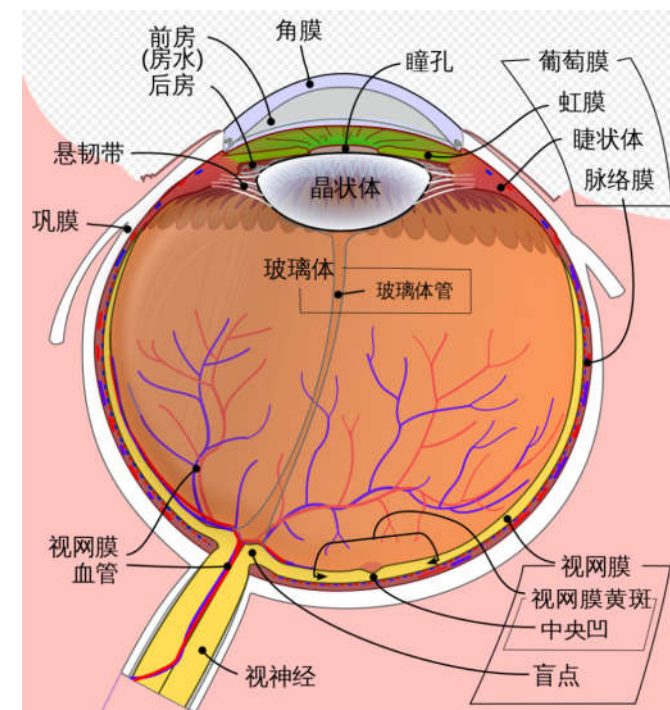
➤ 最内：视网膜

➤ **功能角度**

➤ **屈光系统**：角膜、房水、晶状体、玻璃体构成

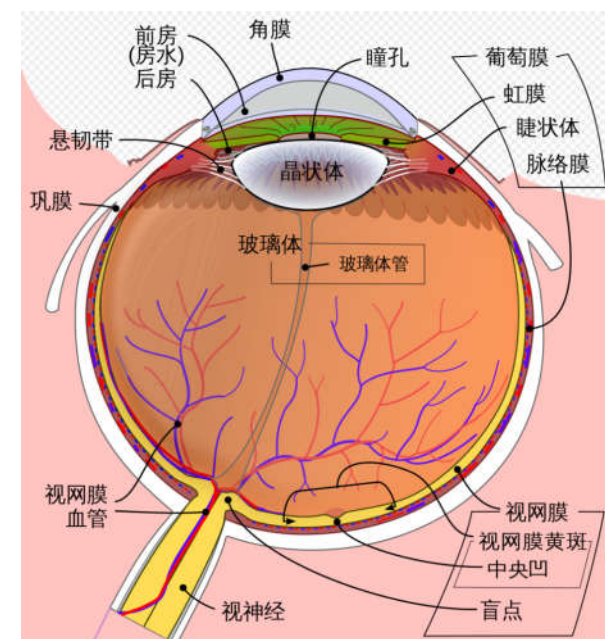
➤ **感光系统**：视网膜

光线由一种介质进入另一种不同折射率的介质时，会发生前进方向的变化，在眼光学中即称“**屈光**”。



一、人眼视觉感知

- **光路**：物体（发射或反射）→人眼的屈光媒质（角膜、房水、晶状体和玻璃体→感光细胞（视锥细胞和视杆细胞）→成像
- **电路**：感光细胞外节的光敏色素吸收光子后分解释放出的能力形成膜电位并发出信号。
- **信号**：通过突触传递给双极细胞和水平细胞，它们将信号作进一步处理后，在传递给神经节细胞。
- **编码**：神经节细胞内→大脑皮层→“解码”识别→产生视觉，在意识里“看见”物体。



一、人眼视觉感知

➤ 人眼 VS. 照相机

➤ 眼帘 vs 镜头盖

➤ 瞳孔 vs 光圈

➤ 晶状体 vs 透镜

➤ 视网膜 vs 底片

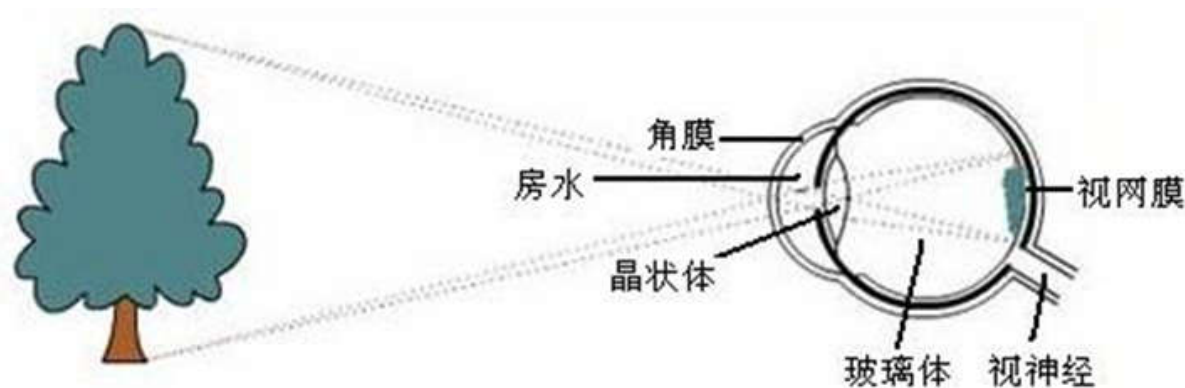
➤ 视觉神经细胞底层（视杆细胞、视锥细胞） vs 底片上的感光药膜

↓
视网膜表面，负责黑白视觉，对光线的敏感程度非常敏感，主要用于暗视觉，左右人的夜视能力；对色彩没有感觉。

↓
视网膜中央凹中间部分，对颜色高度敏感，具有三种类型：红色、绿色、蓝色感光细胞。常见色盲原因：其中一种视锥细胞发育出现问题。

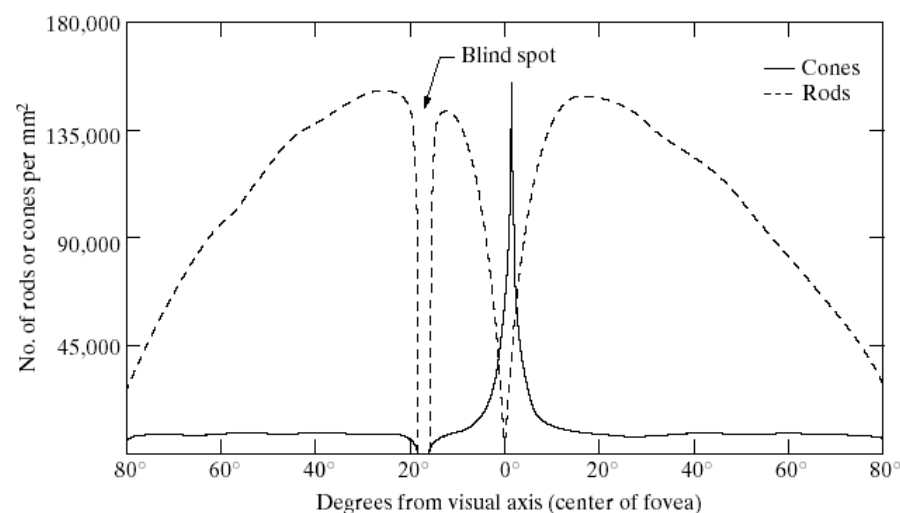
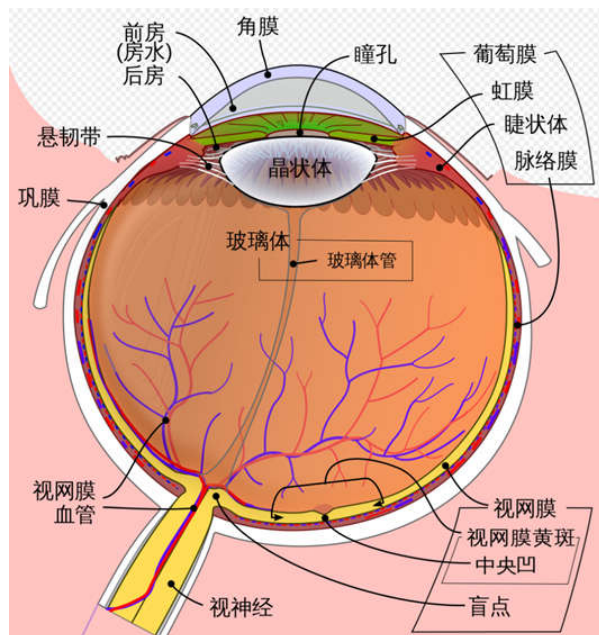
一、人眼视觉感知

- **问题：**相机可通过改变镜头和成像平面间的距离实现聚焦，而人眼中，晶状体和视网膜之间的距离是固定的，那人眼是如何聚焦的呢？
- **人眼聚焦：**睫状体中的纤维根据目标远近，会压扁或加厚晶状体，从而改变焦距。



外界物体在视网膜上成像示意图

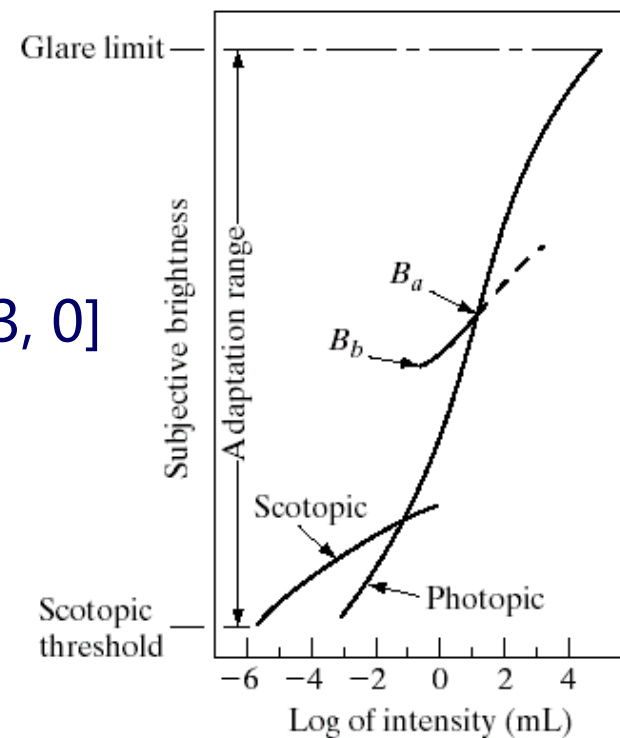
一、人眼视觉感知



视锥细胞在视网膜的中心（中央凹）最为密集，从中心向外到偏离视轴大约20度处，视杆细胞密度逐渐增大，然后减少。在20度左右，没有视锥细胞和视杆细胞，导致所谓盲点。

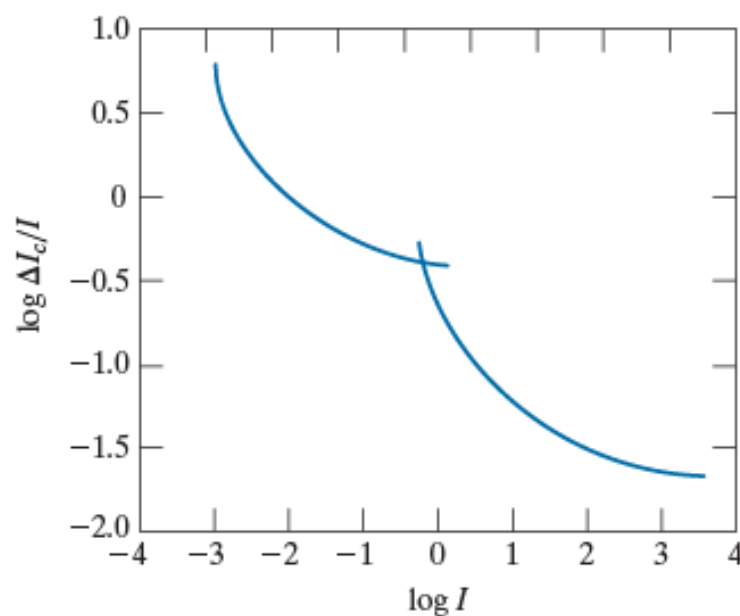
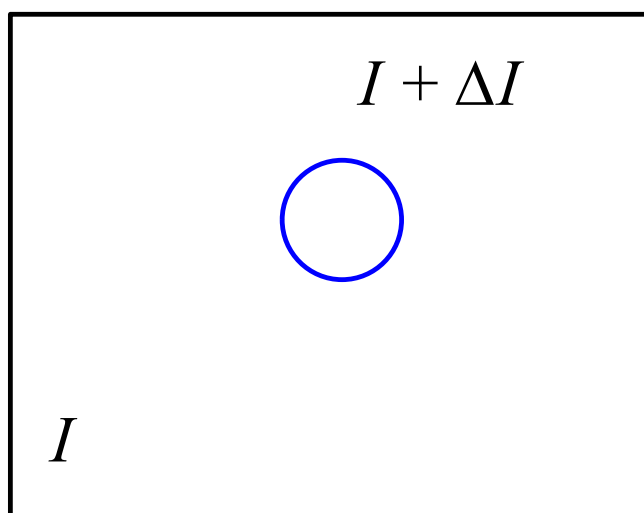
一、人眼视觉感知

- **韦伯定理：**人眼对亮度的适应能力和辨别能力
 - 人的视觉系统能够适应的光强度级别范围很宽，从暗阈值到强闪光约为 10^{10} 量级。
- 人眼能够适应的亮度范围
 - 亮视觉：对数坐标范围 $[-3, 4]$
 - 暗视觉：0.001mL（朗伯）—1mL, 对数坐标中为 $[-3, 0]$
- 人眼能够分辨的亮度范围
 - B_b —— B_a
 - 低于 B_b ，感知为不可辨别的黑色



一、人眼视觉感知

➤ 韦伯定理：人眼对亮度的适应能力和辨别能力

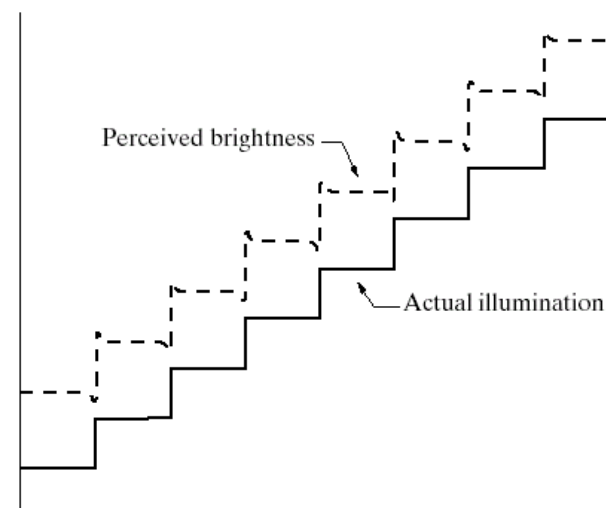
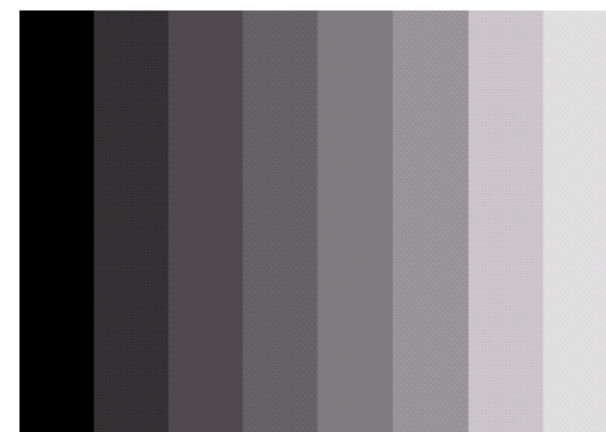


$\Delta I_c / I$ 韦伯比 { $\Delta I_c / I$ 小，可辨别亮度变化小，有较好的亮度辨别能力
 $\Delta I_c / I$ 大，可辨别亮度变化大，有较差的亮度辨别能力

一、人眼视觉感知

- 人眼辨别亮度差别的能力，与环境亮度和本身亮度有关
- 感知亮度并不是实际灰度的简单函数

马赫带效应



一、人眼视觉感知

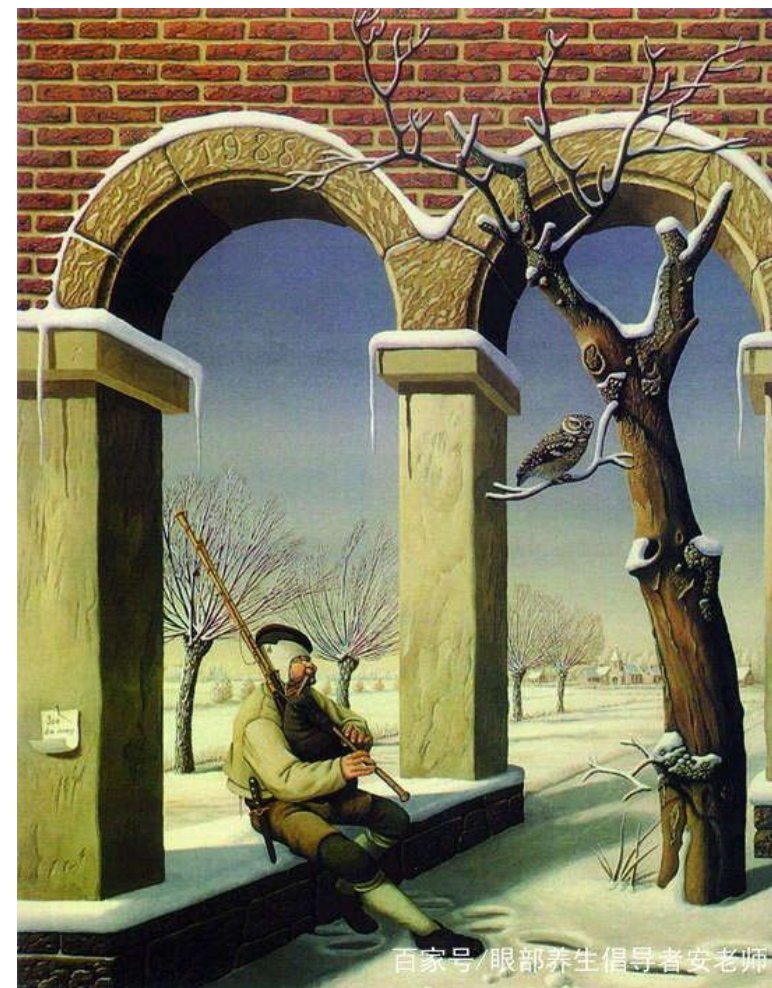
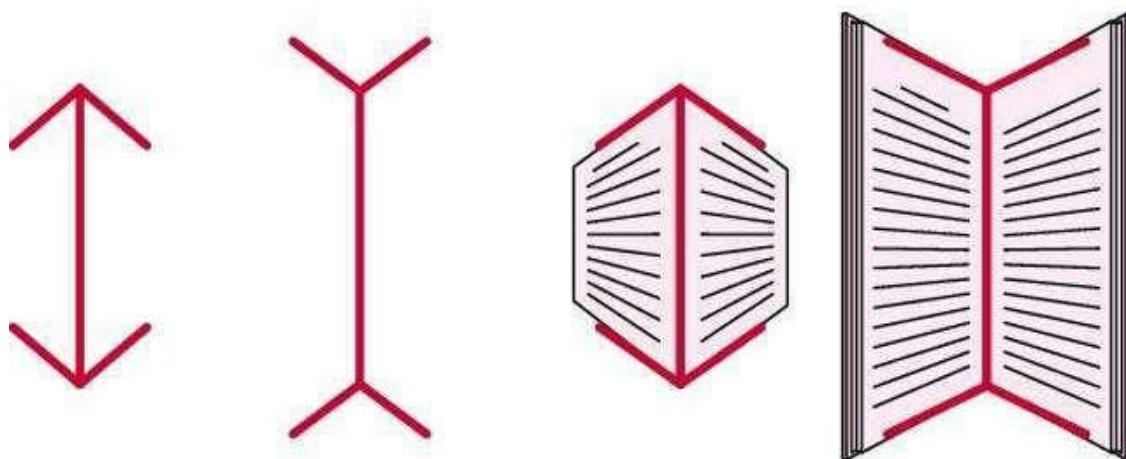
➤人眼辨别亮度差别的能力，与环境亮度和本身亮度有关



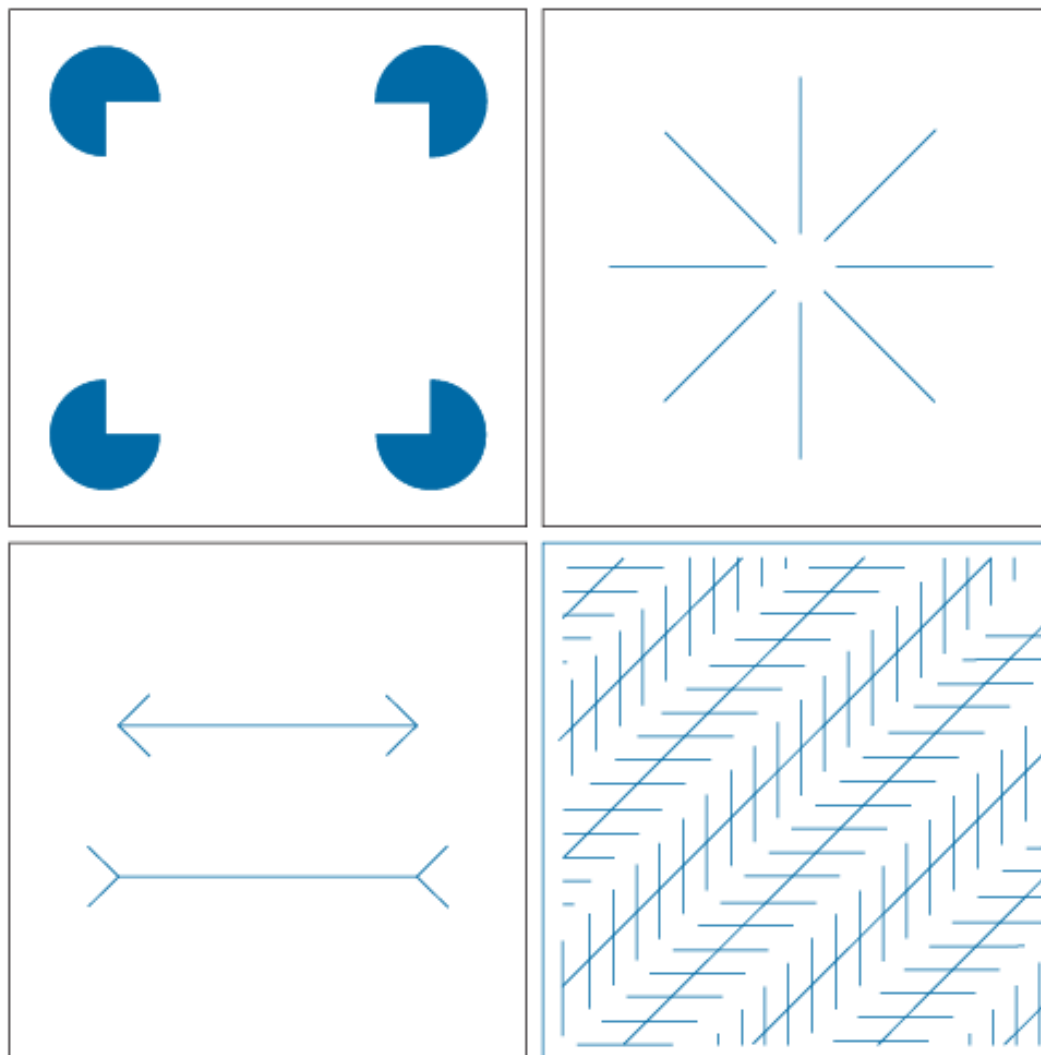
FIGURE 2.8 Examples of simultaneous contrast. All the inner squares have the same intensity, but they appear progressively darker as the background becomes lighter.

所有中心块都有相同的强度，但随着背景的变化，他们看起来逐步变暗。

一、人眼视觉感知

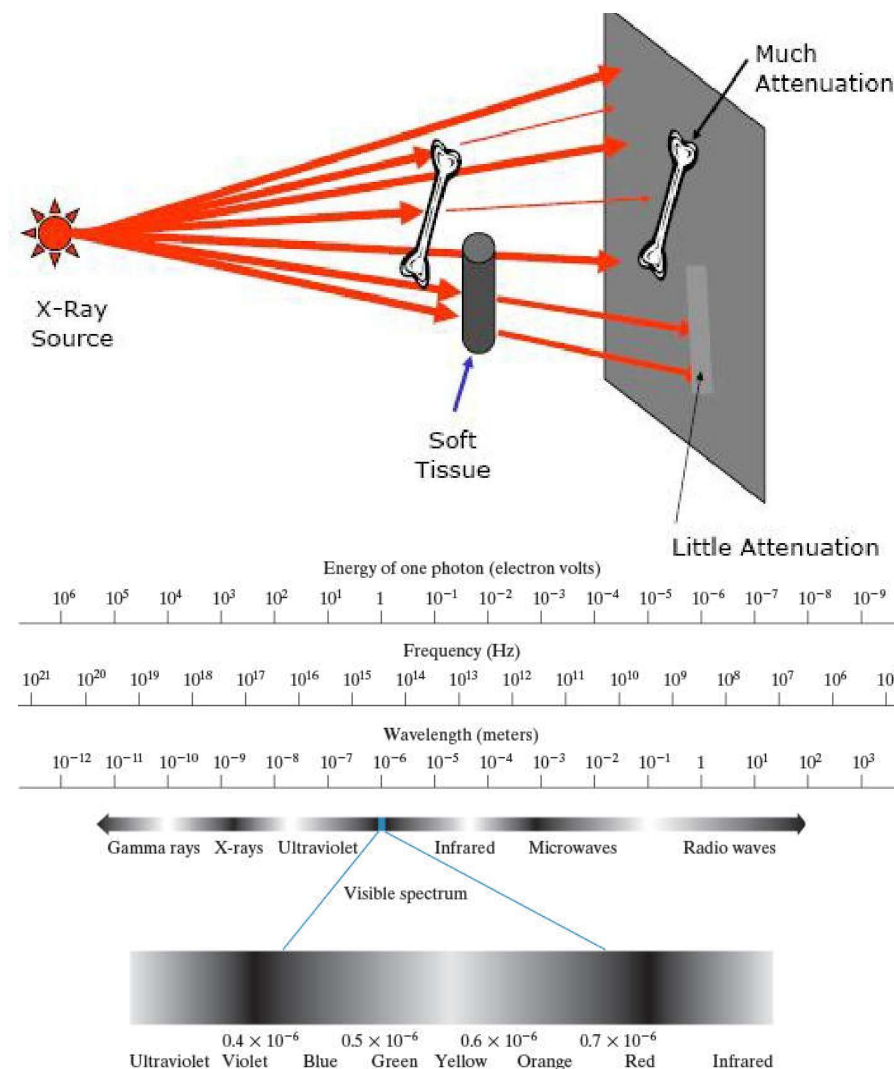


一、人眼视觉感知



二、图像的感知与获取

- 图像获取指的是将物体成像的过程，由“照射”源和形成图像的“场景”元素对光能的反射或吸收而产生的。
- 照射可能由可见光源引起，也可能由电磁能源引起，如雷达、红外线或X射线等。
- 场景元素可能是熟悉的物体，也可能是分子、沉积岩等。



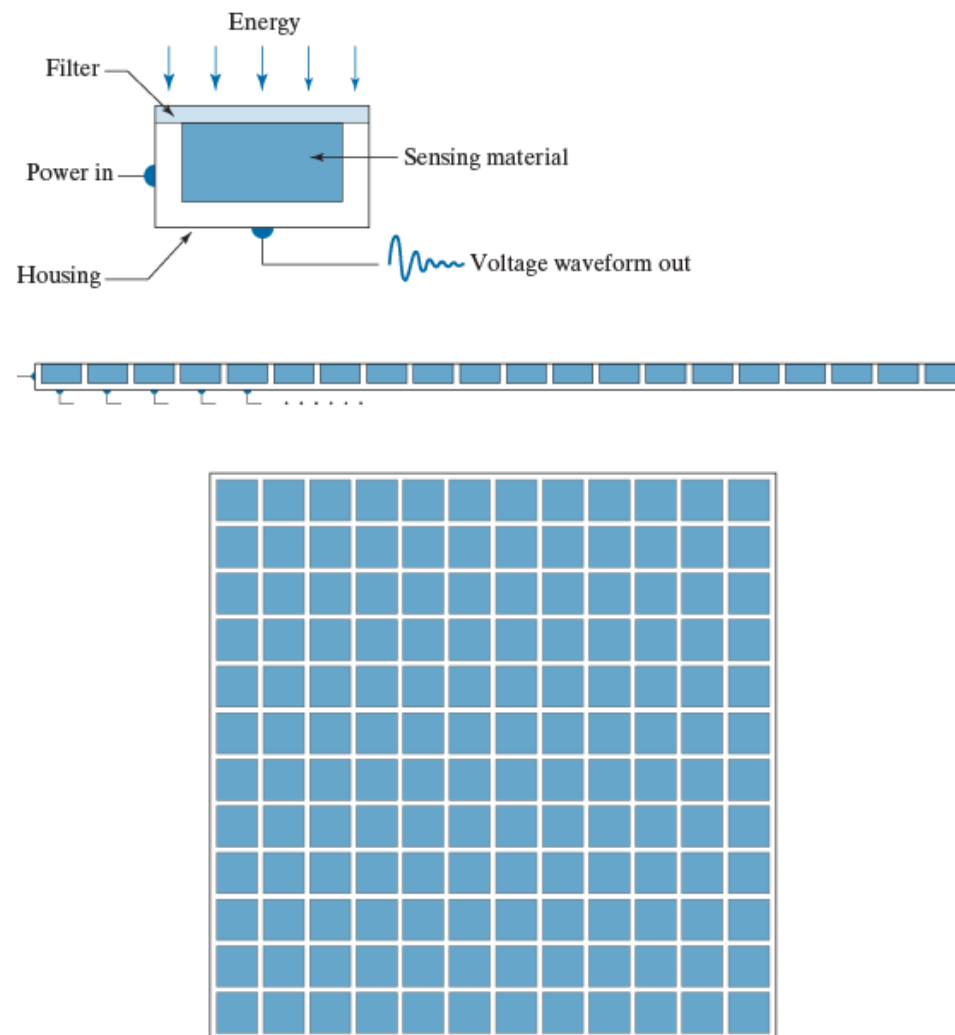
二、图像的感知与获取

➤主要的图像获取的方式：

➤使用单个传感器获取图像

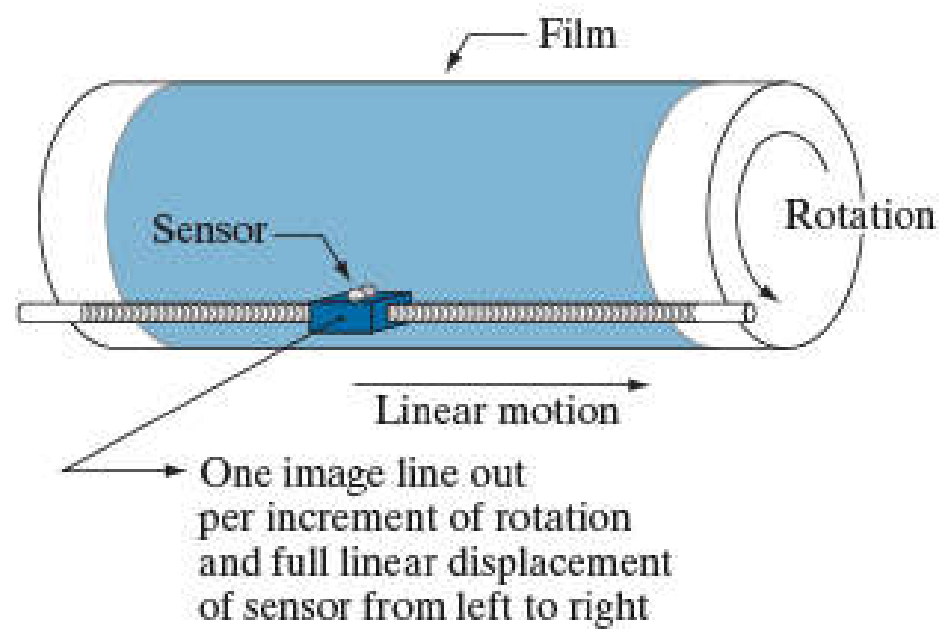
➤使用条带传感器获取图像

➤使用传感器阵列获取图像



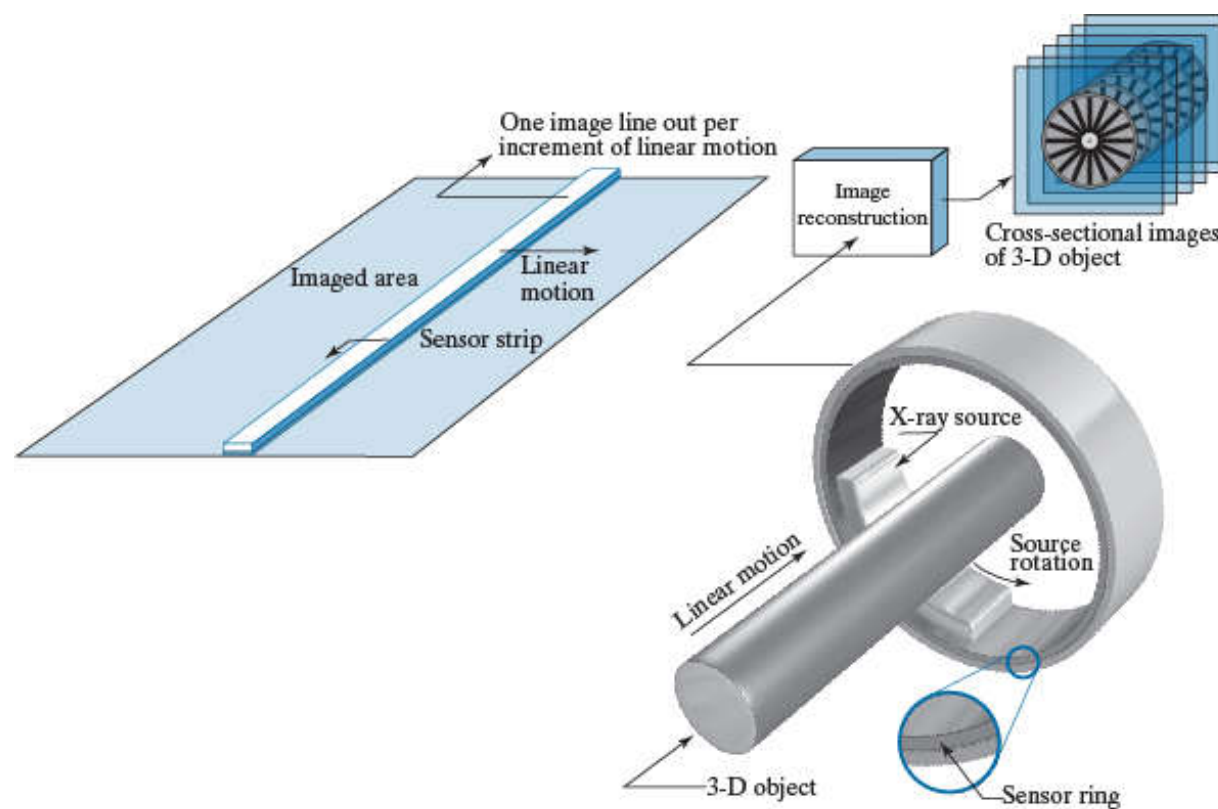
二、图像的感知与获取

单个传感器



二、图像的感知与获取

条带传感器



二、图像的感知与获取

阵列传感器CCD

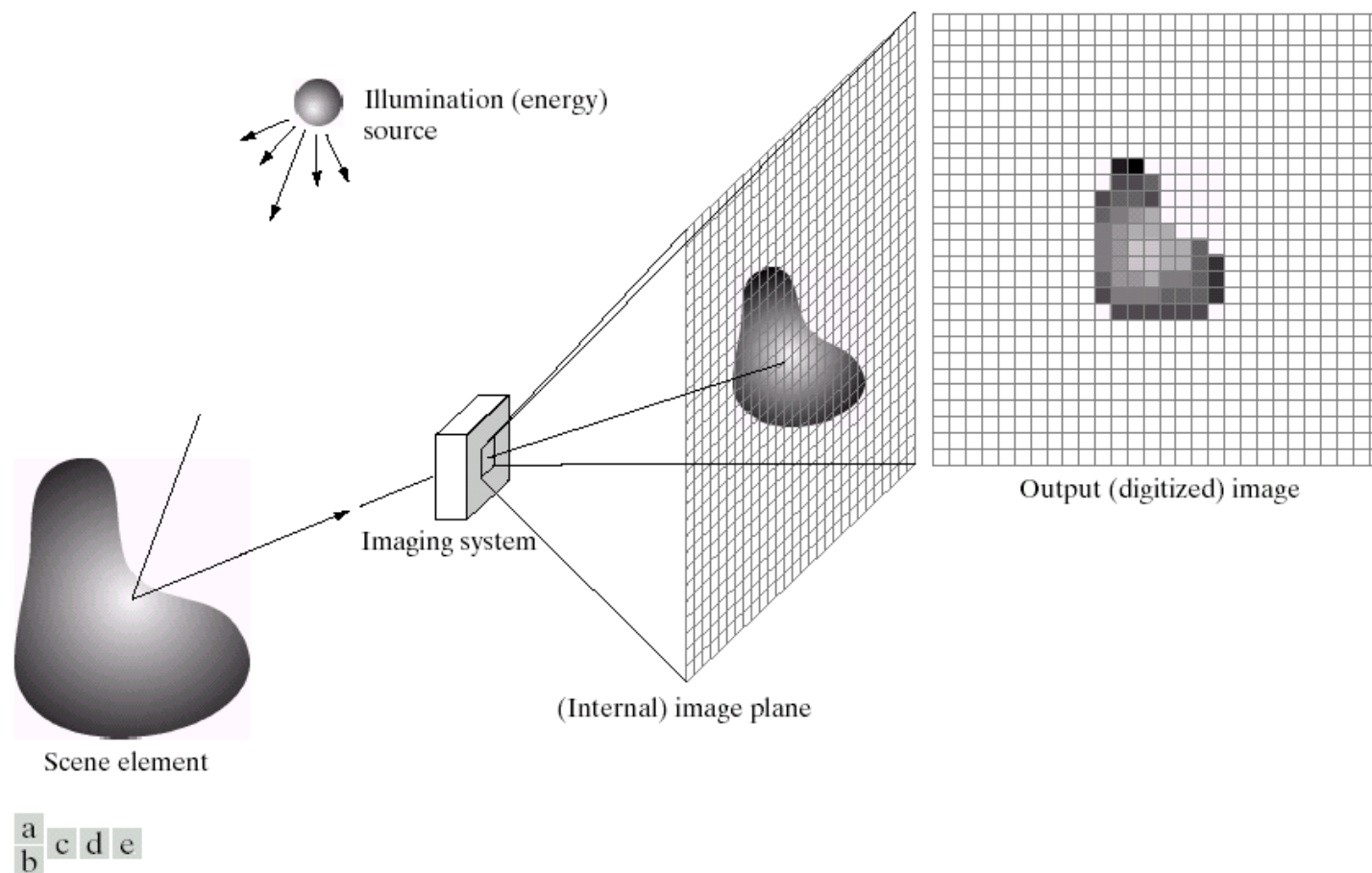


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

三、图像采样与量化

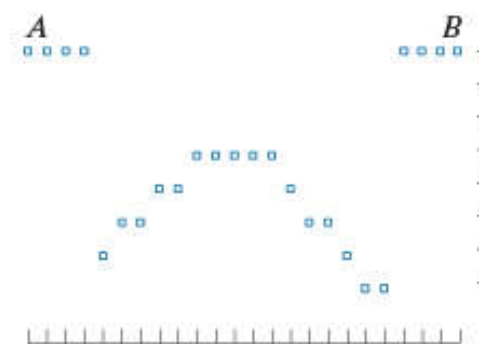
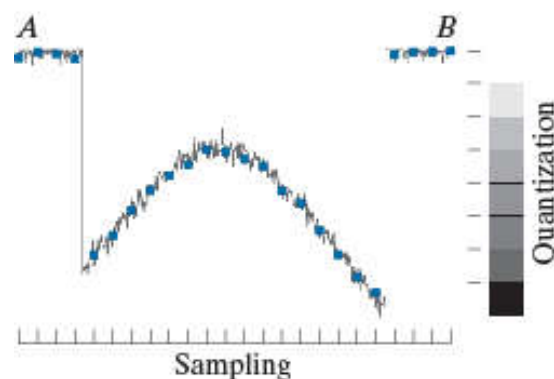
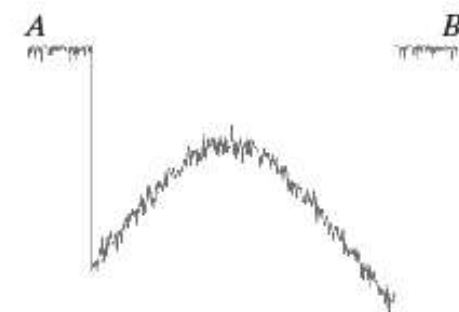
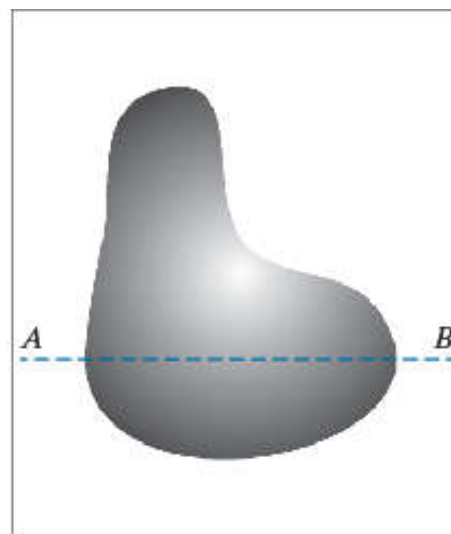
➤ 成像模型

$$0 \leq f(x, y) \leq \infty$$

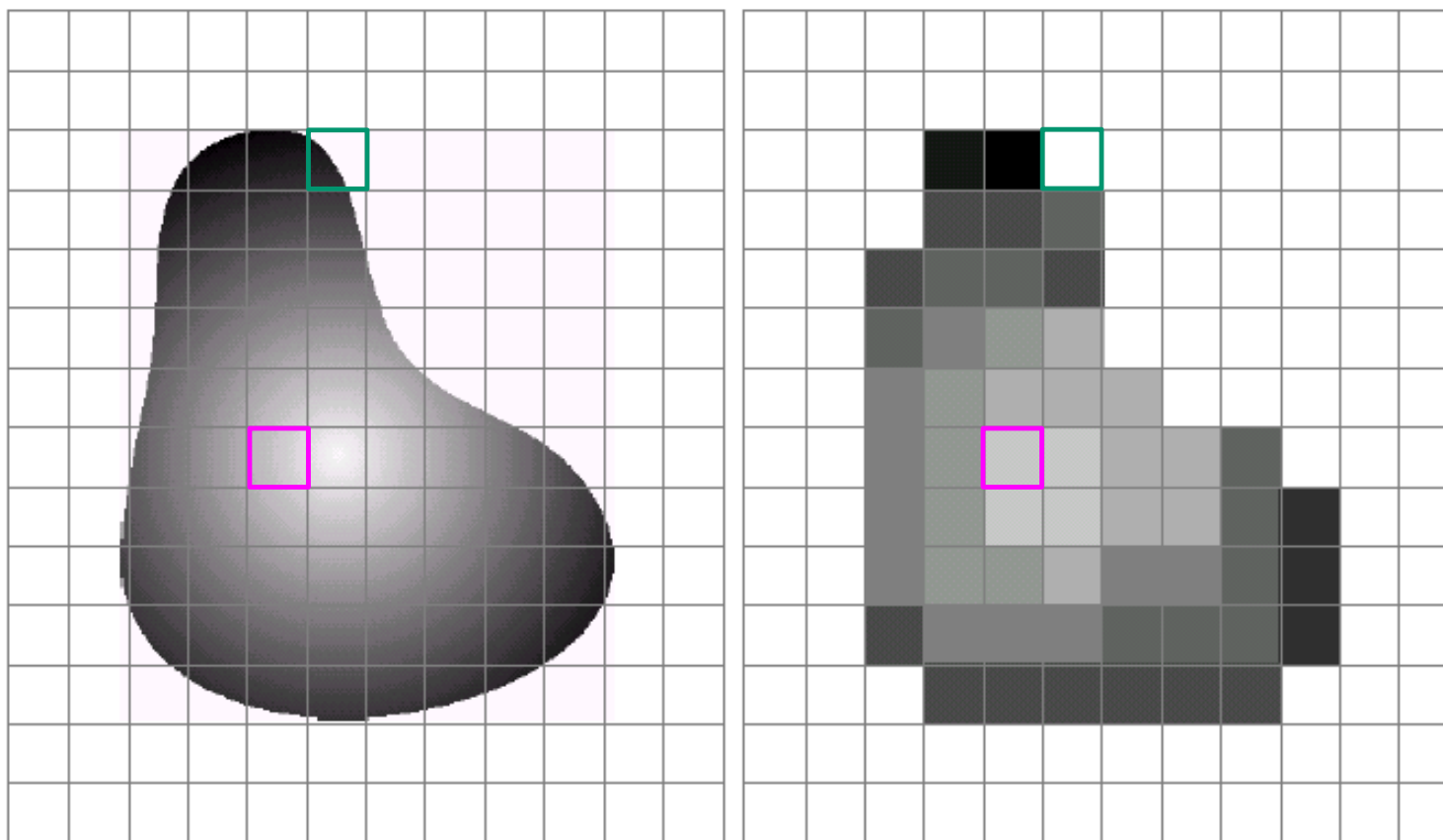
$$f(x, y) \propto r(x, y)$$

三、图像采样与量化

- 连续（空间坐标连续+幅值连续）感知数据→数字形式
- 采样和量化
 - 采样：空间坐标的离散化，决定图像的空间分辨率
 - 量化：图像函数值（幅值）的数字化，决定图像的幅度（灰度级）分辨率



三、图像采样与量化

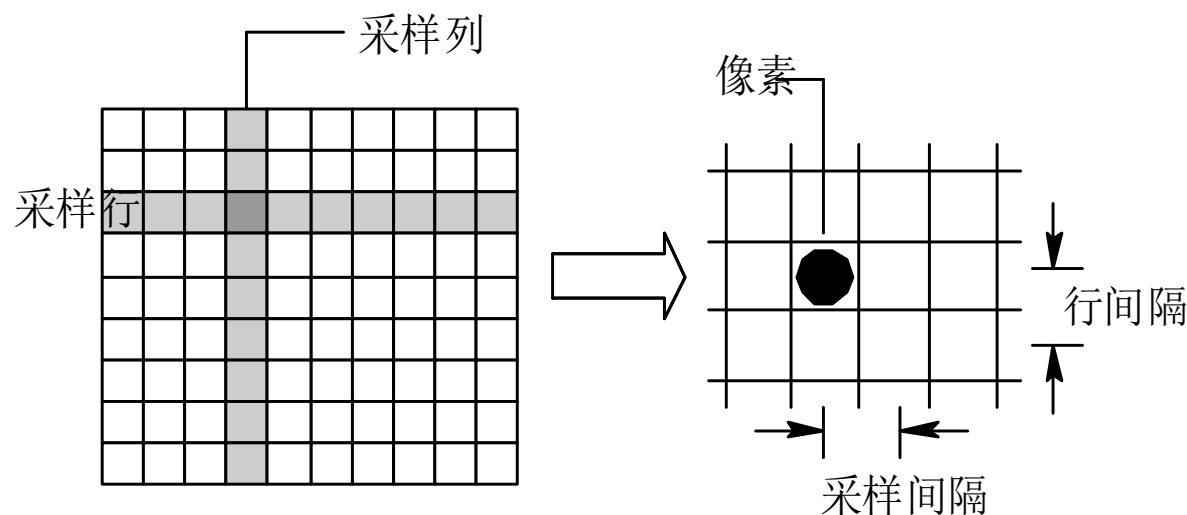


a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

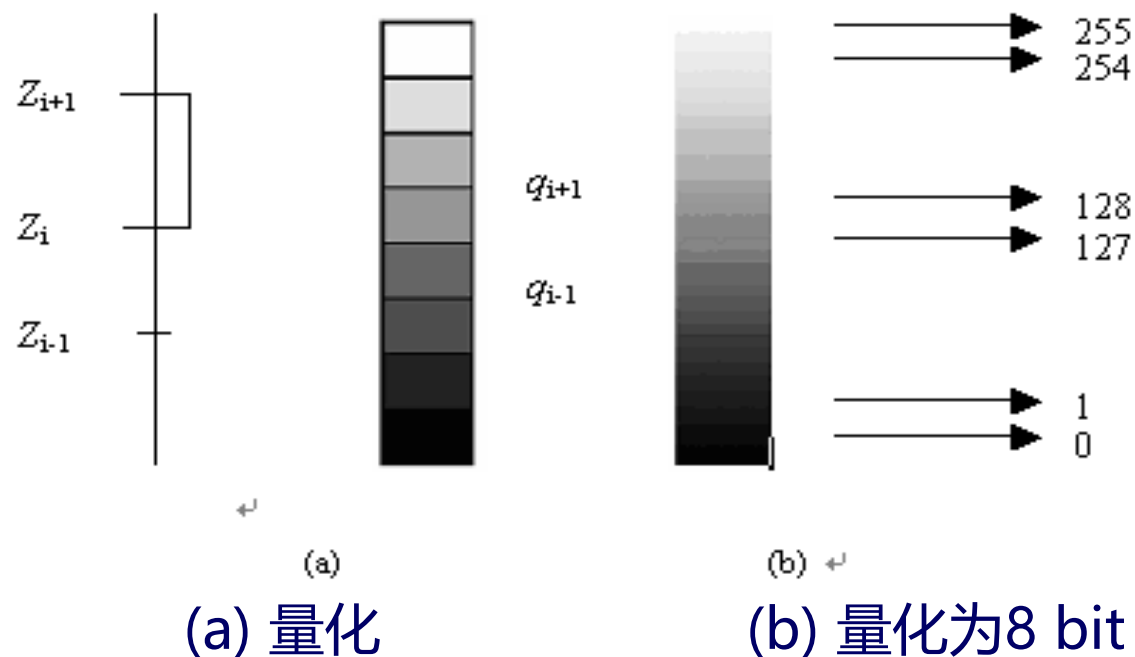
三、图像采样与量化

- **图像采样**：对图像空间坐标的离散化，它决定了图像的空间分辨率。用一个网格把待处理的图像覆盖，然后把每一小格上模拟图像的各个亮度取平均值，作为该小方格中点的值。



三、图像采样与量化

- **图像量化**：对图像幅度坐标的离散化，它决定了图像的幅度(灰度级)分辨率。



三、图像采样与量化

➤ 动态范围、饱和度、对比度

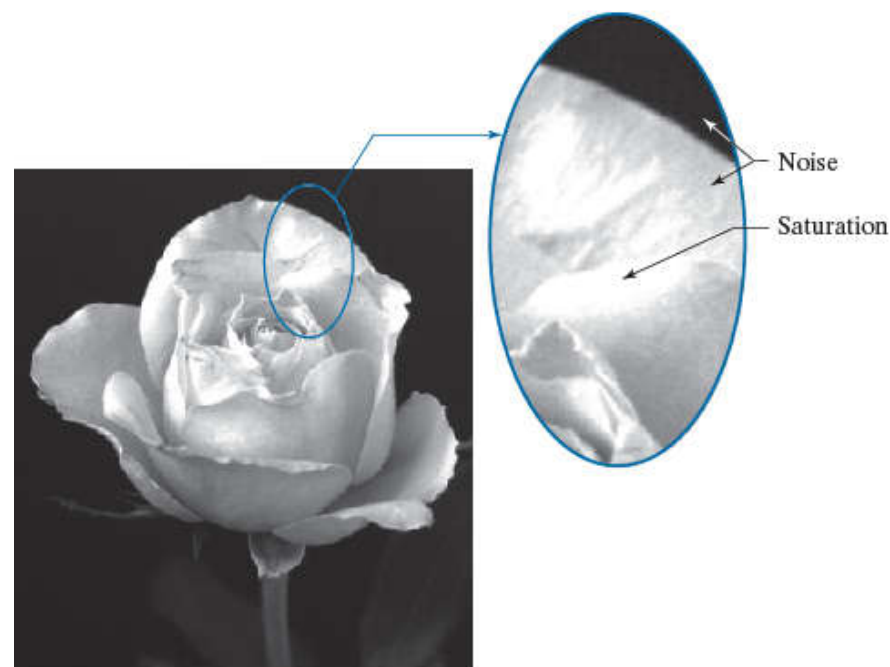
➤ $f(x, y); x, y \in \mathbf{Z}, f \in \mathbf{Z}$

➤ 图像数字化：对 M 、 N 和离散灰度级数 L 做判定

➤ $L = 2^k$

➤ $f \in [0, L-1]$, 动态范围

➤ 系统中最大可度量灰度与最小可检测灰度之比，
上限取决于饱和度，下限取决于噪声



三、图像采样与量化

➤ 图像量化

➤ 均匀量化：连续灰度值等间隔分层，层越多，产生的量化误差越少

➤ 非均匀量化：

◆ 基于视觉特性：根据图像细节的丰富程度改变采样间距。细节丰富的地方，采样间距小，否则间距大；

◆ 基于统计特性：对图像中像素灰度值频繁出现的灰度值范围，量化间隔取小一些，而对那些像素灰度值极少出现的范围，则量化间隔取大一些。

三、图像采样与量化

➤ 空间和灰度分辨率

- **空间分辨率**：物理空间中可分辨的最小单位。用单位距离内可分辨的最大线对数来度量。如用黑白交替的垂线构造图形，线宽为 W ，黑白线对宽为 $2W$ ，则单位距离内有 $1/2W$ 个线对。印刷行业，每英寸点数来表示 dpi。离开空间单位谈图像大小（如图像分辨率为 $1024*1024$ 像素）没有意义。
- **灰度分辨率**：灰度级中可分辨的最小变化。用于量化灰度的比特数，如256个灰度级，则灰度分辨率为8。



三、图像采样与量化

➤ 空间和灰度分辨率

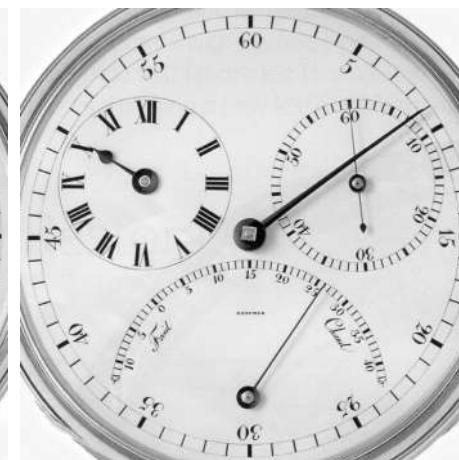
- 对一幅图像，当量化级数一定时，采样点数对图像质量有着显著的影响。采样点数越多，图像质量越好；当采样点数减少时，图上的块状效应就逐渐明显。
- 同理，当图像的采样点数一定时，采用不同量化级数的图像质量也不一样。量化级数越多，图像质量越好，当量化级数越少时，图像质量越差，量化级数最小的极端情况就是二值图像，图像出现假轮廓。

三、图像采样与量化

➤ 实验一：空间分辨率

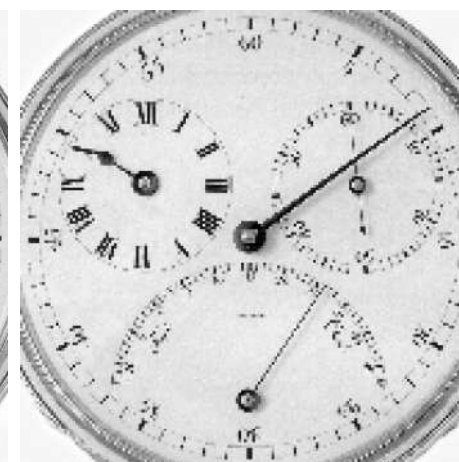
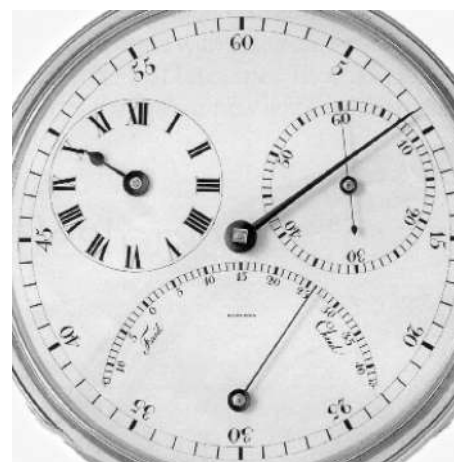
930 dpi
2136×2140
4.36M

300 dpi
690×689
464K



150 dpi
345×344
115K

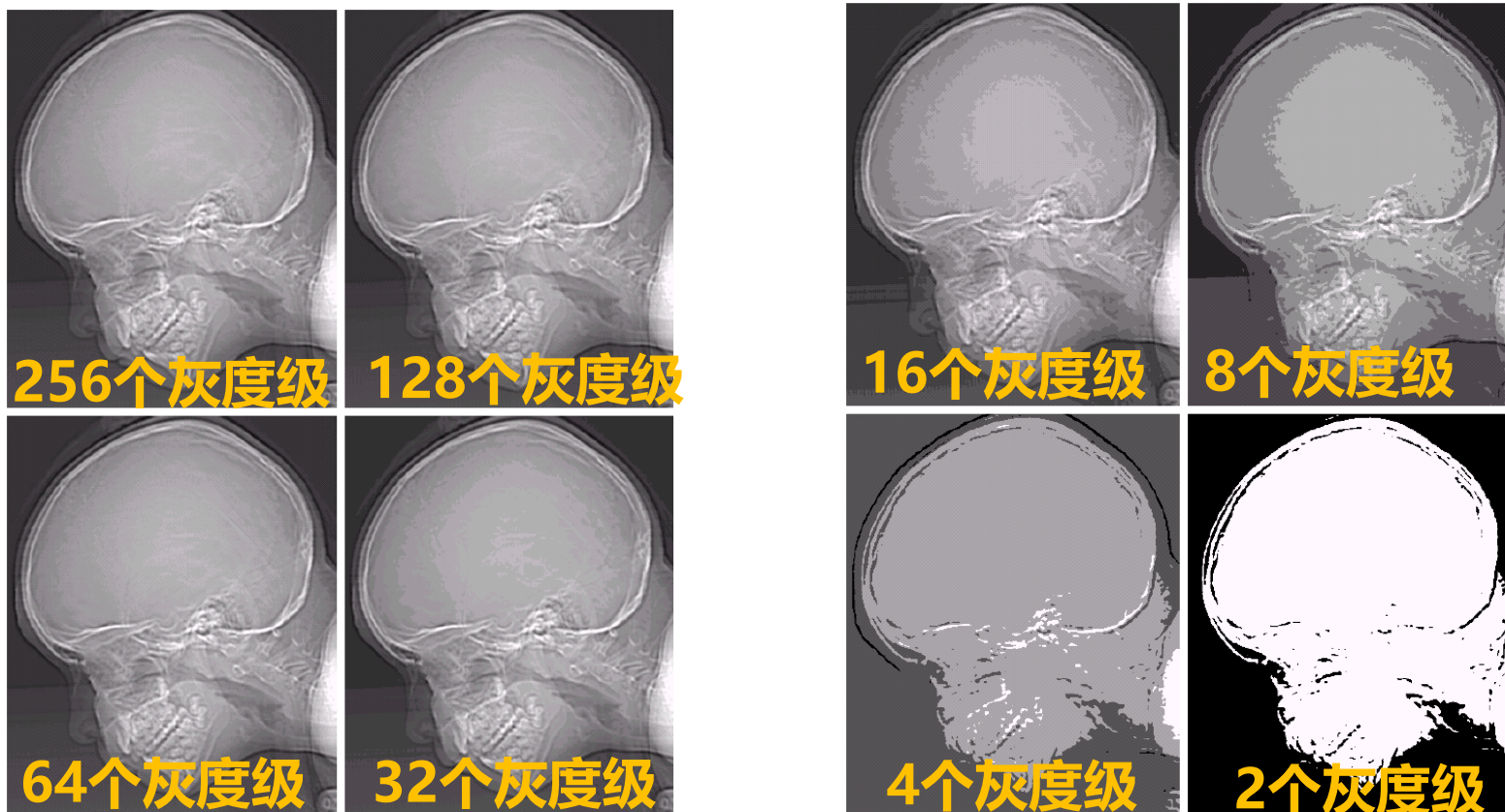
72 dpi
165×166
26.7K



三、图像采样与量化

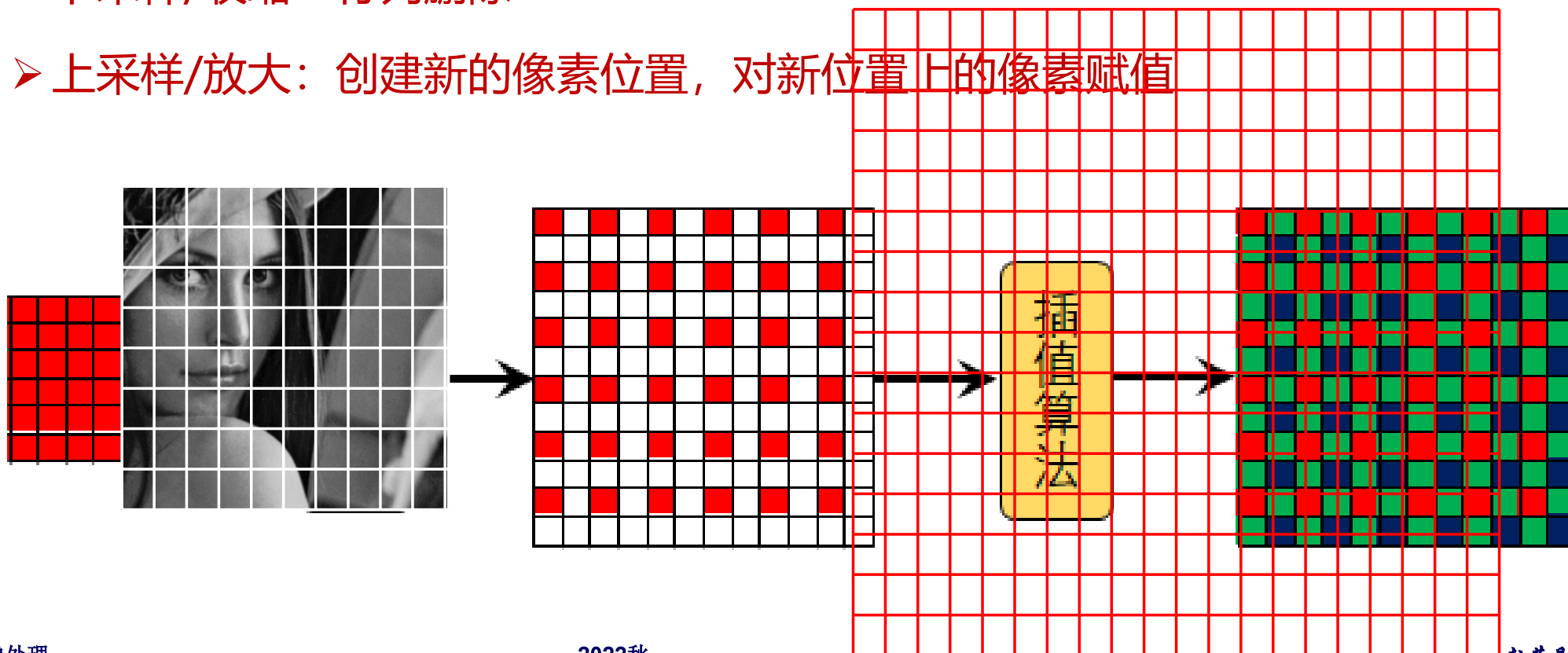
➤ 实验二：灰度分辨率 783 dpi, 2022*1800

伪轮廓



三、图像采样与量化

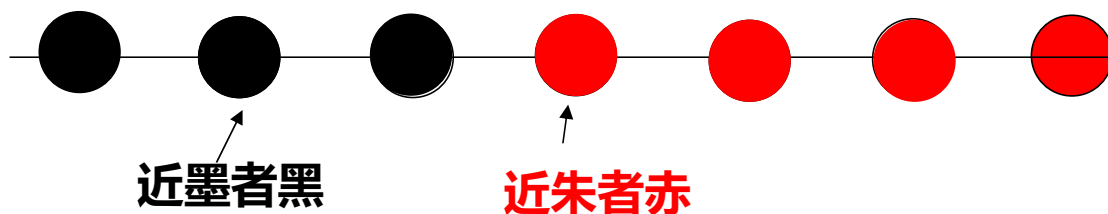
- 图像内插（重采样）：调整图像的大小、旋转、几何校正
 - 下采样/收缩：行列删除
 - 上采样/放大：创建新的像素位置，对新位置上的像素赋值



三、图像采样与量化

- 图像放大：创建新的像素位置，对新位置上的像素赋值
 - 最近邻插值：把原图中最近邻的灰度赋给每个新像素
 - 优点：简单易行 速度快
 - 缺点：易产生块效应/马赛克效应

原像素



三、图像采样与量化

- **双线性插值**: 用四个最近邻位置上的灰度值估计给定位置的灰度值

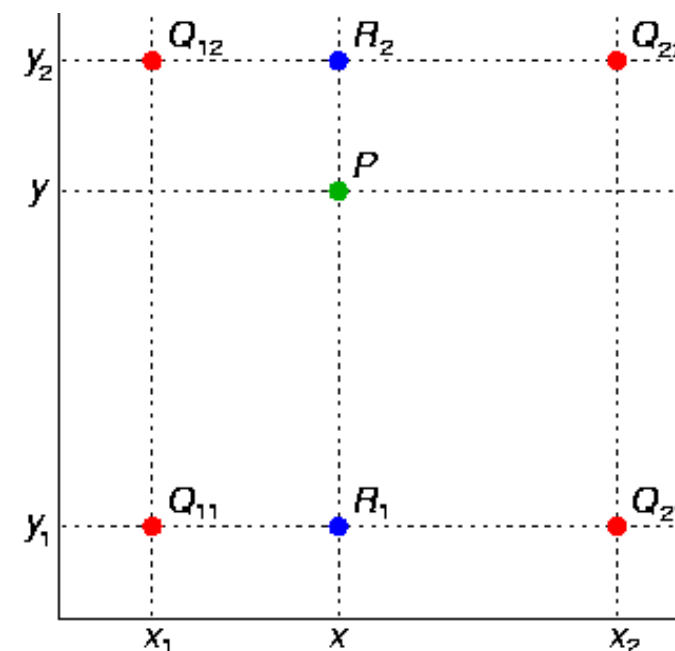
$$f(x, y) = ax + by + cxy + d$$

$$f(x, y) \approx \frac{f(Q_{11})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y_2 - y) + \frac{f(Q_{21})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y_2 - y) \\ + \frac{f(Q_{12})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x_2 - x)(y - y_1) + \frac{f(Q_{22})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}(x - x_1)(y - y_1).$$

?

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j \quad \text{双三次内插}$$

- **优点**: 比最近邻插值效果好, 没有明显的块效应
- **缺点**: 计算量比最近邻插值大, 使图像细节退化



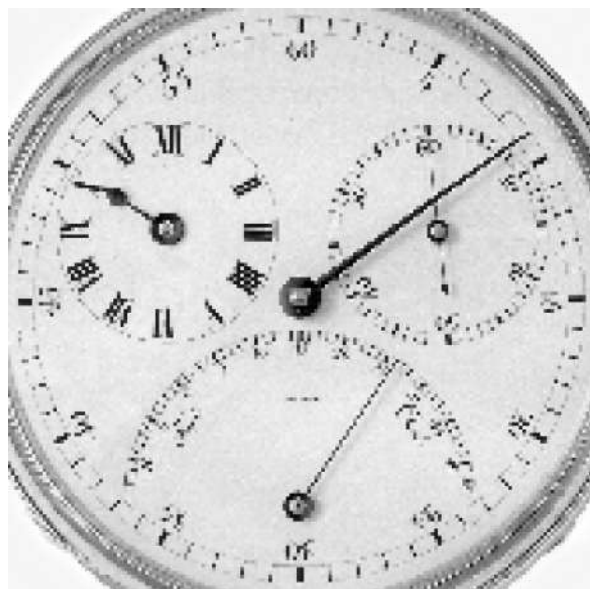
三、图像采样与量化

➤ 图像内插

72dpi



930dpi



(a)最近邻域内插



(b)双线性内插



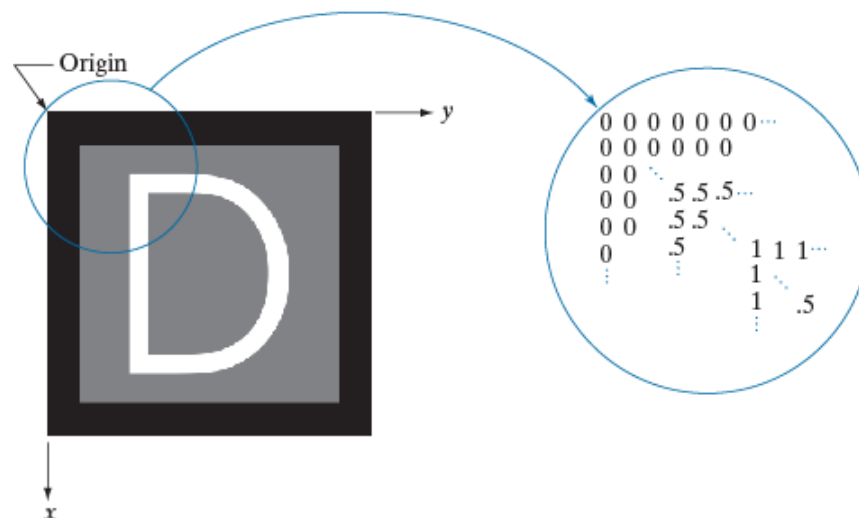
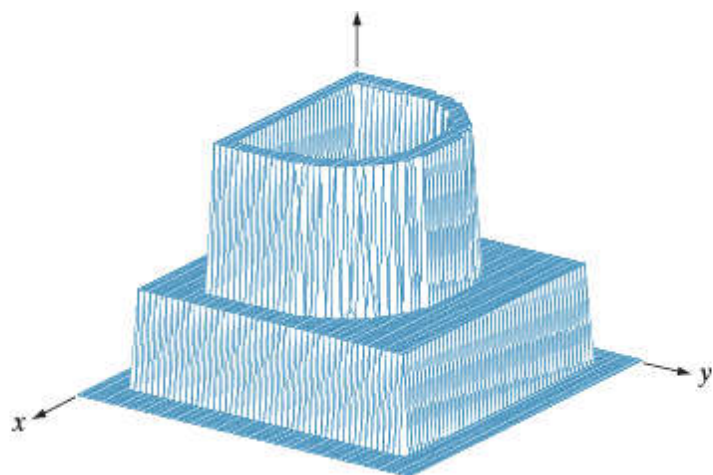
(c)双三次内插

四、图像表示与描述

➤ 数学表示

➤ 二维离散信号: $I = f(x, y)$

- ◆ (x, y) 表示图像像素的坐标, $x = 0, 1, 2, \dots, M-1, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$, 原点位置 $(0, 0)$
- ◆ 函数值 $f(x, y)$ 表示在坐标处 (x, y) 像素的灰度值



四、图像表示与描述

➤ 数学表示

- 二维矩阵: $\mathbf{I} = f(x, y)$
- 对一幅图像采样时, 若每行像素为 N 个, 每列像素为 M 个, 则图像大小为 $M \times N$ 个像素, 从而 $f(x, y)$ 构成一个 $M \times N$ 实数矩阵:

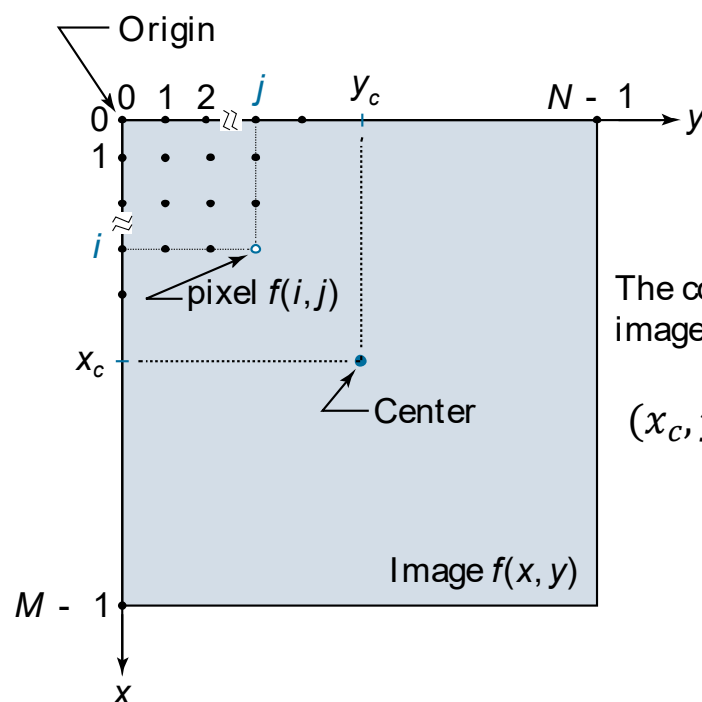
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

矩阵元素 $f(m, n)$ 表示图像在第 m 行第 n 列的像素值, 称为像素或像元

四、图像表示与描述

➤ 数学表示

- 原点(0, 0)
- 中心($\text{floor}(M/2), \text{floor}(N/2)$)
- 1024×1024
- 1023×1023
- Matlab起始点为1
($\text{floor}(M/2)+1, \text{floor}(N/2)+1$)



The coordinates of the image center are

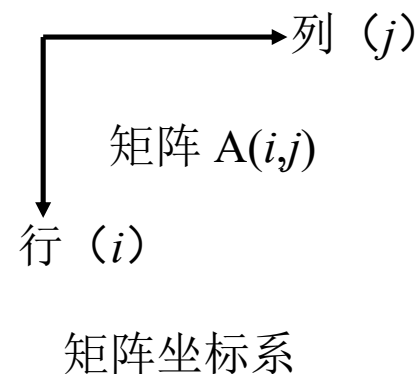
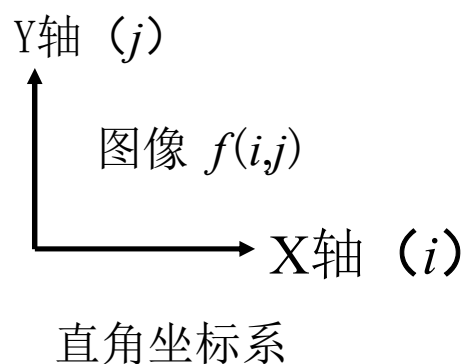
$$(x_c, y_c) = (\text{floor}(\frac{M}{2}), \text{floor}(\frac{N}{2}))$$

四、图像表示与描述

➤ 数学表示

➤ 坐标索引

- 矩阵是按照行列的顺序来定位数据的，但是图像是在平面上定位数据的，所以有一个坐标系定义上的特殊性。
- 为了编程方便起见，我们这里以矩阵坐标系来定义图像的坐标。



四、图像表示与描述

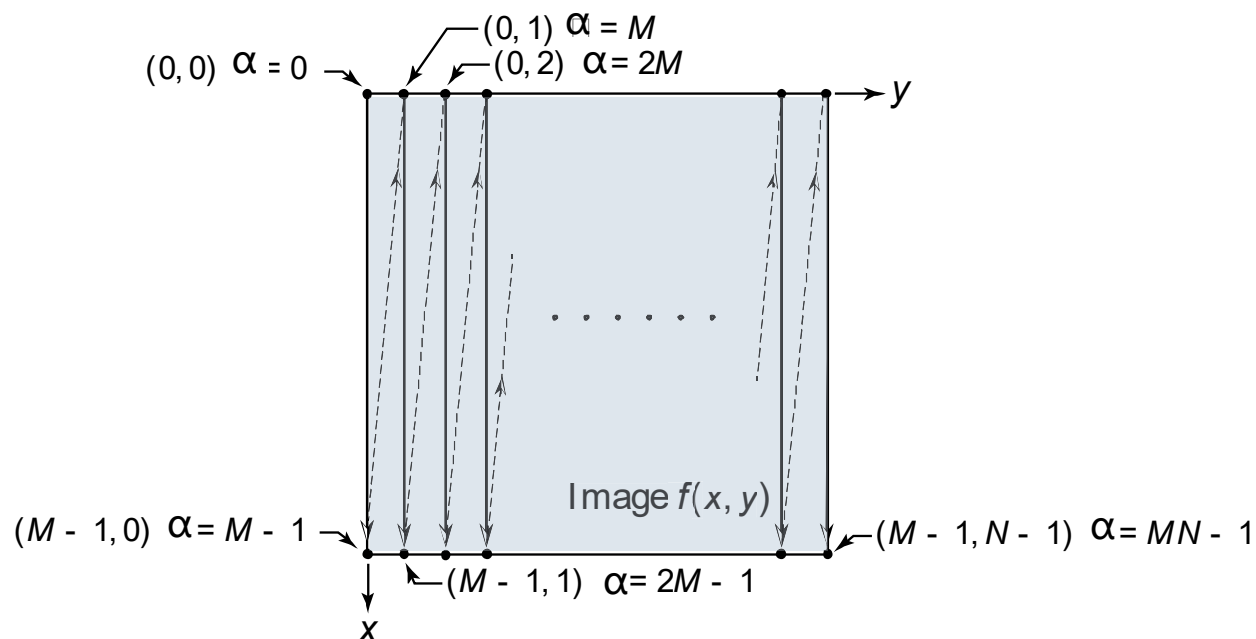
➤ 数学表示

➤ 线性索引

➤ 由一个一维的非负整数串组成，通过计算到坐标(0,0)的偏移量得到。

➤ 行扫描

➤ 列扫描



四、图像表示与描述

➤ 图像描述

➤ 灰度图像

- 图像中的每个像素的信息由一个量化的灰度级来描述，没有色彩信息；
- 灰度图像像素的灰度级通常为8bits，即0~255。“0”表示纯黑色，“255”表示纯白色。

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$



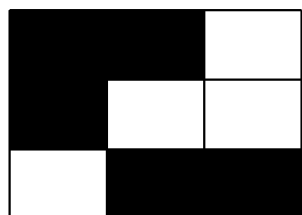
灰度图像

四、图像表示与描述

➤ 图像描述

➤ 黑白图像 / 二值图像

- 图像中的每个像素只能是黑或者白，没有中间的过渡，故又称二值图像，二值图像的像素值为0、1；
- 灰度图像像素的灰度级通常为8bits，即0~255。“0”表示纯黑色，“255”表示纯白色。



$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



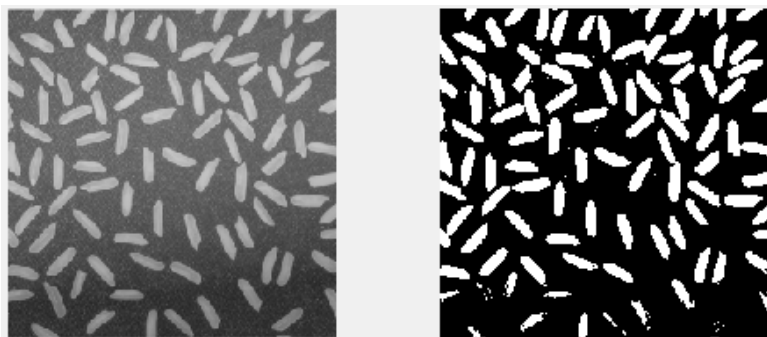
二值图像

四、图像表示与描述

➤ 图像描述

➤ 黑白图像 / 二值图像

- 黑白图像一般是对灰度图像处理（二值化）后的结果
- 对二值图像进一步处理，可得到一些图像分析的结果，如用连通区域数估计谷粒颗数



图像二值化

```
I = imread('rice.png');  
subplot(1, 2, 1), imshow(I)  
level = graythresh(I);  
BW = imbinarize(I, level);  
subplot(1, 2, 2), imshow(BW)
```

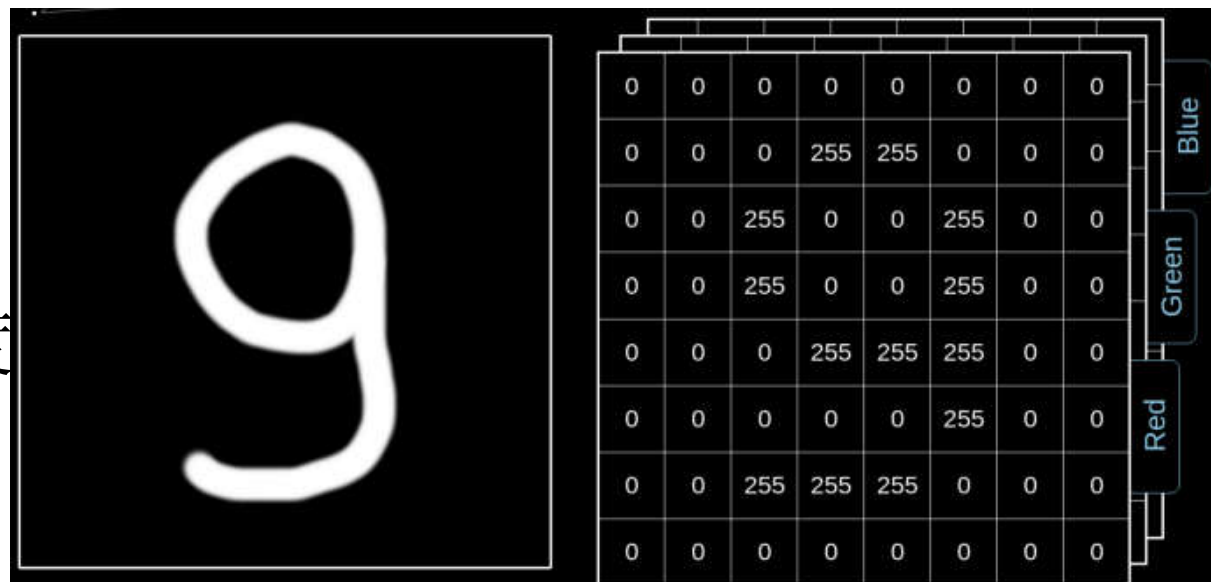
上节回顾

1. 人眼感知系统
2. 图像感知与获取
3. 图像采样与量化

空间分辨率 灰度

4. 图像表示

二维矩阵



五、像素间的一些基本关系

- 像素是图像的基本组成单元，且在图像空间中网格化排列
- 像素与像素之间存在一些基本关系
 - 相邻像素
 - 像素之间的关系：邻接、连接、连通、通路
 - 像素集合之间的关系：邻接、连接、连通
- 像素间的距离

五、像素间的一些基本关系

➤ 像素间的距离

- 欧氏距离 D_E ：范数为2的距离。设像素 p 和 q 的坐标分别为 (x, y) 和 (s, t) ，他们之间的欧氏距离定义为：

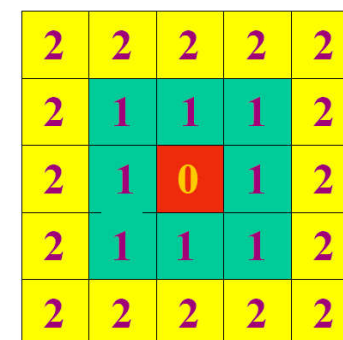
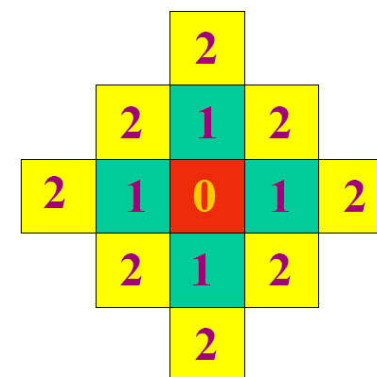
$$D_E(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

- 城区距离 D_4 ：也叫曼哈顿距离，是范数为1的距离

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

- 棋盘格距离 D_8 ：也叫切比雪夫距离

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



五、像素间的一些基本关系

➤ 像素间的距离：测量像素在空间的接近程度

➤ 距离度量函数定义：

➤ 设3个像素 p, q, r ，坐标分别为 $(x, y), (s, t), (u, v)$ ，函数 D 为一个距离度量函数，其必须满足下列三个条件：

(1) $D(p, q) \geq 0, D(p, q) = 0$ 当且仅当 $p = q$ （像素距离非负）

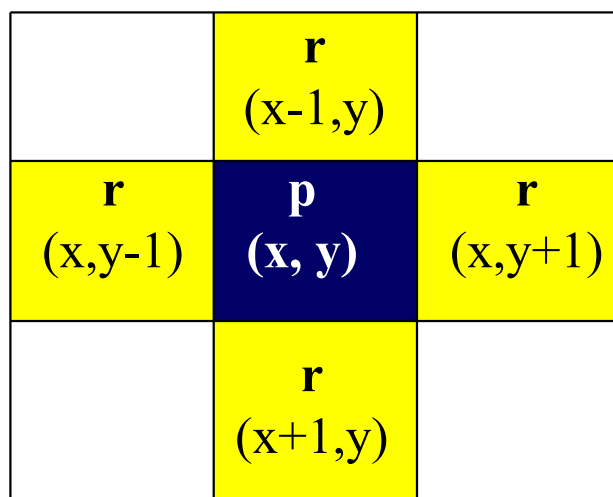
(2) $D(p, q) = D(q, p)$ （像素距离与起终点选择无关）

(3) $D(p, r) \leq D(p, q) + D(q, r)$ （像素之间的最短距离是直线距离）

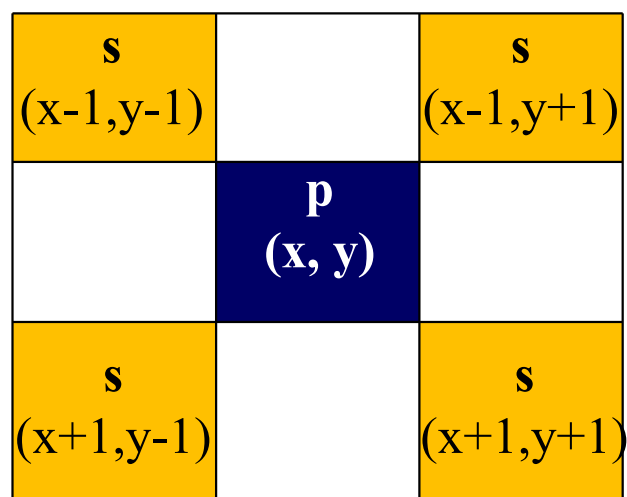
五、像素间的一些基本关系

➤ 邻域

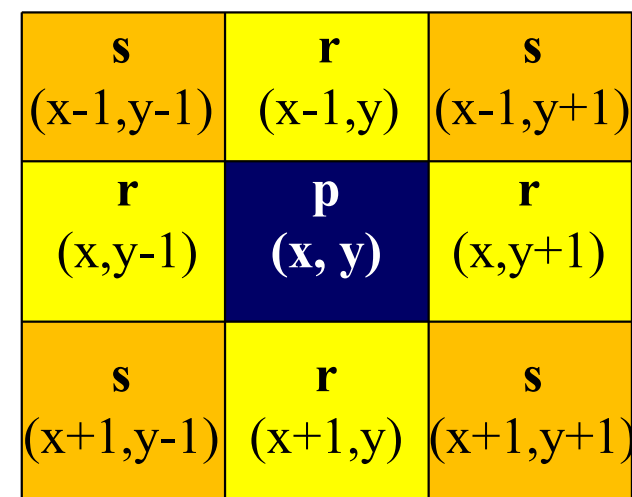
4-邻域($N_4(p)$)



对角邻域/D-邻域($N_D(p)$)



8-邻域($N_8(p)$)



五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

4-邻接

8-邻接

m-邻接/混合邻接

令 V 是用于定义邻接的灰度值集合

五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

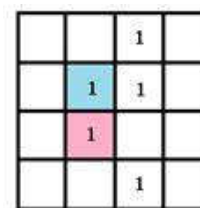
4-邻接



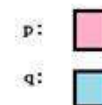
- q 在 p 的4邻域 $N_4(p)$ 中，且它们都在 V 中取值；
- q 在 $N_4(p)$ 中意味着 p 也在 $N_4(q)$ 中。

8-邻接

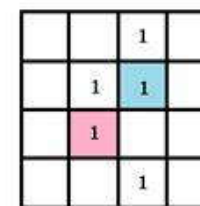
m -邻接/混合邻接



4邻接



不是 m 邻接



8邻接



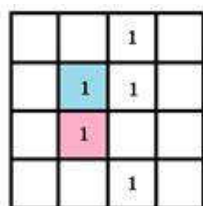
m 邻接

令 V 是用于定义邻接的灰度值集合

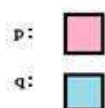
五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

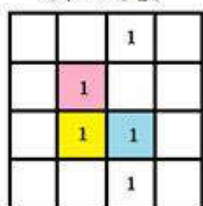
4-邻接



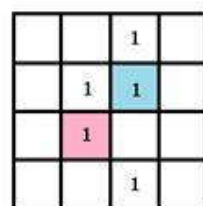
4邻接



不是m邻接

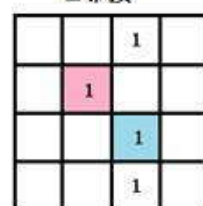


8-邻接



8邻接

m邻接



m-邻接/混合邻接



- q 在 p 的8邻域 $N_8(p)$ 中, 且它们都在 V 中取值;
- q 在 $N_8(p)$ 中意味着 p 也在 $N_8(q)$ 中。

令 V 是用于定义邻接的灰度值集合

五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

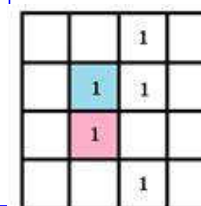
4-邻接

8-邻接

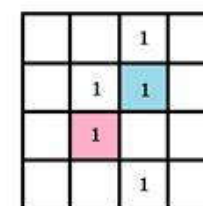
m-邻接/混合邻接



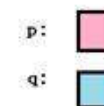
- 两个像素 p 和 q 在 V 中取值，且满足下列条件之一：
- (1) q 在 $N_4(p)$ 中，即两个像素 p 和 q 是4-邻接；
- (2) q 在 $N_D(p)$ 中，且 $N_4(p)$ 和 $N_4(q)$ 在 V 的意义下是空集，即 $N_4(p) \cap N_4(q)$ 不包含 V 中取值的像素



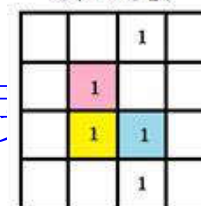
4邻接



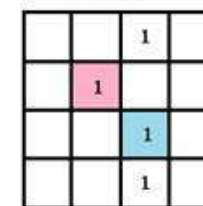
8邻接



不是m邻接



m邻接



令 V 是用于定义邻接的灰度

五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

m-邻接/混合邻接

- 两个像素 p 和 q 在 V 中取值，且满足下列两个条件之一：
 - (1) q 在 $N_4(p)$ 中，即两个像素 p 和 q 是4-邻接；
 - (2) q 在 $N_D(p)$ 中，且 $N_4(p)$ 和 $N_4(q)$ 在 V 的意义下是空集，即 $N_4(p) \cap N_4(q)$ 不包含 V 中取值的像素

	a		
b	p	c	
	d	q	e
		f	

(a)

	1		
1	1	0	
	0	1	0
		1	

(b)

	1		
1	1	1	
	0	1	0
		1	

(c)

(a): $q \in ND(p)$ 且 $N_4(p) \cap N_4(q) = \{c, d\}$.

(b): 设 $V = \{1\}$, 该图满足混合邻接的条件。

(c): 设 $V = \{1\}$, 该图不满足混合邻接的条件。

五、像素间的一些基本关系

➤ 邻接性

- **m-邻接**可以认为是8-邻接的一种变形，引进它是为了消除使用8-邻接时，常出现的多路问题。

0	1	1
0	1	0
0	0	1

(a)

0	1	1
0	1	0
0	0	1

(b)

0	1	1
0	1	0
0	0	1

(c)

- (a): 原始图像。
- (b): 设 $V = \{1\}$ 时的8-邻接图像（歧义性，中心像素和右上角像素间存在连线）
- (c): 用m-邻接消除歧义后的图像（中心像素和右上角像素间的m-邻接不能成立）。

五、像素间的一些基本关系

➤ 连通性

- **像素间的通路**：从具有坐标 (x_0, y_0) 的像素 p_0 到具有坐标 (x_n, y_n) 的像素 q 的一条通路由一系列具有坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 的独立像素组成，且满足：

(1) (x_i, y_i) 与 (x_{i-1}, y_{i-1}) 邻接。

(2) $1 \leq i \leq n$, n 为通路长度。

- 如果 $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ ，则通路称为**闭合通路**。
- 根据不同的邻接定义，可以得到不同的通路，如：
 - 4-邻接 \Rightarrow 4-通路 8-邻接 \Rightarrow 8-通路

五、像素间的一些基本关系

➤ 连通性

➤ 像素间的连通：

- ✓ S 表示图像中像素的一个子集；
- ✓ 如果 S 中的两个像素 p 和 q 之间存在一个完全由 S 中像素组成的通路（通路上所有像素的灰度值均满足某个特定的**相似准则**），则像素 p 和 q 在 S 中是连通的。

➤ 连通分量：连通到 S 中的任何像素 p 的像素集合

➤ 连通集：如果 S 仅有一个连通分量

➤ 根据不同的邻接定义，可以得到不同的连通，如：

- 4-邻接 \Rightarrow 4-连通 8-邻接 \Rightarrow 8-连通

0	$q=1$	1
0	1	0
0	$p=1$	1

0	1	$q=1$
0	1	0
0	0	$p=1$

0	1	$q=1$
0	1	0
0	0	$p=1$

五、像素间的一些基本关系

➤ 区域与边界

- 令 R 表示图像中像素的一个子集。若 R 是一个连通集，称 R 为图像的一个区域。
- 若 R_i 和 R_j 形成一个连通集时，称 R_i 和 R_j 为邻接区域。

$$\left. \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{array} \right\} R_i$$

$$\left. \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array} \right\} R_j$$

➤ K 个不相交的区域 R_k ， R_u 表示所有 K 个区域的并集

➤ R_u 称为图像的前景， $(R_u)^c$ 为背景

8邻接，不是4连通集

五、像素间的一些基本关系

➤ 边界:

- 区域的边界也称为区域的轮廓，是该区域的一个子集，**但在其邻域中不属于该区域的像素**，它将该区域与其他区域分开。
- 必须指定所用连接类型才能确定一个像素是否属于边界。

0	0	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

- 被圈出的点，如果包含1的区域与背景间用**8-连接**定义连通性，则其属于赋1值区域的边界；
- 如果用**4-连接**定义连通性，则其就不属于赋1值区域的边界。

内边界 vs 外边界

边缘 vs 边界

57

六、DIP中所用数学工具的介绍

➤ 阵列与矩阵操作

➤ 考虑两个 2×2 图像: $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}$

➤ 阵列(Array)相乘的结果为: $\odot \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} & a_{12}b_{12} \\ a_{21}b_{21} & a_{22}b_{22} \end{bmatrix}$

➤ 矩阵(Matrix)相乘的结果为: \otimes

$$\begin{bmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} \end{bmatrix}$$

如无特殊说明, 以后图像操作均假定为阵列操作

六、DIP中所用数学工具的介绍

➤ 线性操作与非线性操作

- 设操作 H 和两个图像 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$, 如果对于任意常数 a_1 和 a_2 :

$$H[a_1f(x, y) + a_2g(x, y)] = a_1H \cdot f(x, y) + a_2H \cdot g(x, y)$$

成立, 那么称 H 是线性操作, 否则, 称为非线性操作。

- 线性操作满足两个法则:

(1) 比例性/同质性: 若 $y = f(x)$, 对于任意 a , 都有 $a \cdot y = f(a \cdot x)$

(2) 叠加性: 若 $y_1 = f(x_1)$, $y_2 = f(x_2)$, 则有 $y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2)$

六、DIP中所用数学工具的介绍

➤ 线性操作与非线性操作

➤ 线性操作满足两个法则：

(1) 比例性/同质性：若 $y = f(x)$ ，对于任意 a ，都有 $a \cdot y = f(a \cdot x)$

(2) 叠加性：若 $y_1 = f(x_1)$ ， $y_2 = f(x_2)$ ，则有 $y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2)$

➤ 以下哪些操作为线性操作：

(a) $y = x$

(b) $y = x + 1$

六、DIP中所用数学工具的介绍

➤ 线性操作与非线性操作

➤ 线性操作满足两个法则：

(1) 比例性/同质性：若 $y = f(x)$ ，对于任意 a ，都有 $a \cdot y = f(a \cdot x)$

(2) 叠加性：若 $y_1 = f(x_1)$ ， $y_2 = f(x_2)$ ，则有 $y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2)$

➤ 以下哪些操作为线性操作：

(a) $y = x$ ✓

(b) $y = x + 1$

六、DIP中所用数学工具的介绍

- 算术运算
 - 加：求平均，去噪
 - 减：图像增强
 - 乘：加权
 - 除
- 集合运算和逻辑运算
- 空间运算
- 图像变换

六、DIP中所用数学工具的介绍

➤ 邻域操作

- 邻域一般是一个远小于图像尺寸、形状规则的像素块，例如 2×2 、 3×3 的正方形。
- 假定 S_{xy} 代表代表图像 f 中以 (x, y) 为中心的一个邻域坐标集，邻域处理在输出图像 g 的相同坐标处生成一个相应的像素，该像素的值由输入图像中坐标在 S_{xy} 内的像素经指定操作决定。例如，求均值：

$$g(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(r, c) \in S_{xy}} f(r, c)$$

其中： m, n 为邻域大小， r, c 为像素坐标。

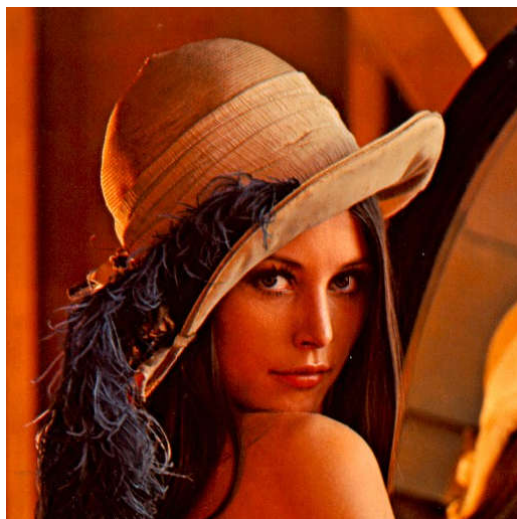
Summary

- 一、视觉概述：人眼vs照相机
- 二、图像感知与获取：三种获取方式
- 三、采样与量化：连续空间离散化&连续幅值数字化
- 四、图像的表达与描述：二维矩阵，灰度图像，二值图像，彩色图像
- 五、像素间的一些基本关系：邻接、连接、连通
- 六、DIP中所用数学工具的介绍：矩阵与阵列操作、线性与非线性操作...

作业1

- 编写Matlab程序/Python程序/C程序，对图像进行灰度化、二值化、均值化操作。

RGB



Gray



4×4 均值化



作业2

- 编写Matlab程序/Python程序/C程序，对图像进行4邻域连通区域标记 (connected component labeling, CCL) 操作。

➤ 输入图像1

1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	1	1

输入图像2：连通区域标记

1	1		1	1	1		3
1	1		1		1		3
1	1	1	1				3
							3
4	4	4	4		5		3
			4		5		3
4	4	4	4				3
4	4	4	4			3	3

Thanks! 😊

Any Question?