

数字图像处理

第二讲 数字图像基础

Digital Image Fundamentals

谢晓华

中山大学数据科学与计算机学院

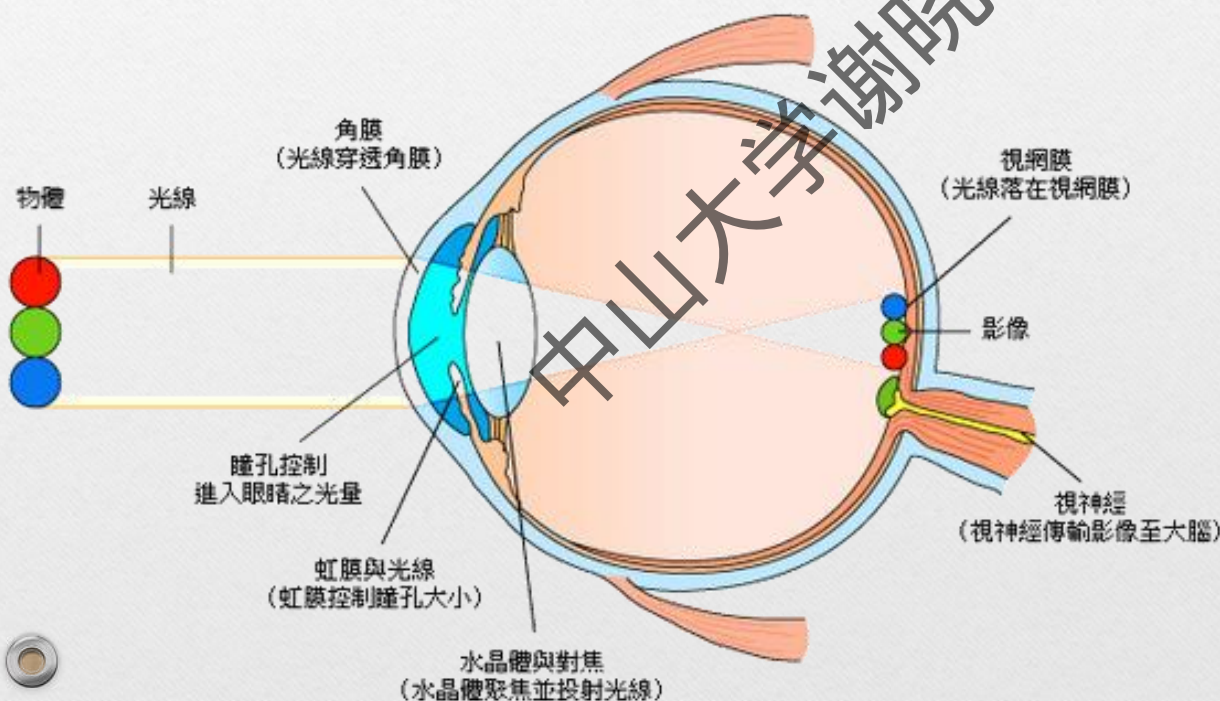
xiexiaoh6@mail.sysu.edu.cn

2.1 视觉感知要素

光接收器（感光细胞）：锥状体(Cone)和杆状体(Rod)。

——每只眼睛锥状体数目6-7百万，每个锥状体都连接到自己的神经末端，**对色彩敏感**，分布于视网膜中央凹部分，称为**白昼视觉或亮光视觉**。

——杆状体7500万到15000万，分布在视网膜表面，几个杆状体连接到一个神经末端，不如锥状体灵敏。给出图像的**总体轮廓**，**没有彩色感觉**，在低照明度下对图像较敏感，称为**暗视觉或微光视觉**。



现代摄像机：
可见光+红外

2.1 视觉感知要素

右眼杆锥体与锥状体分布：每平方毫米150,000个像素，最高敏感区(中间凹)的接收阵列近似为 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ，锥状体数量为337000个，相当于一个接收列阵不大于 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的中等分辨率的电耦合元件 (CCD: Charge-coupled device) 的成像芯片。

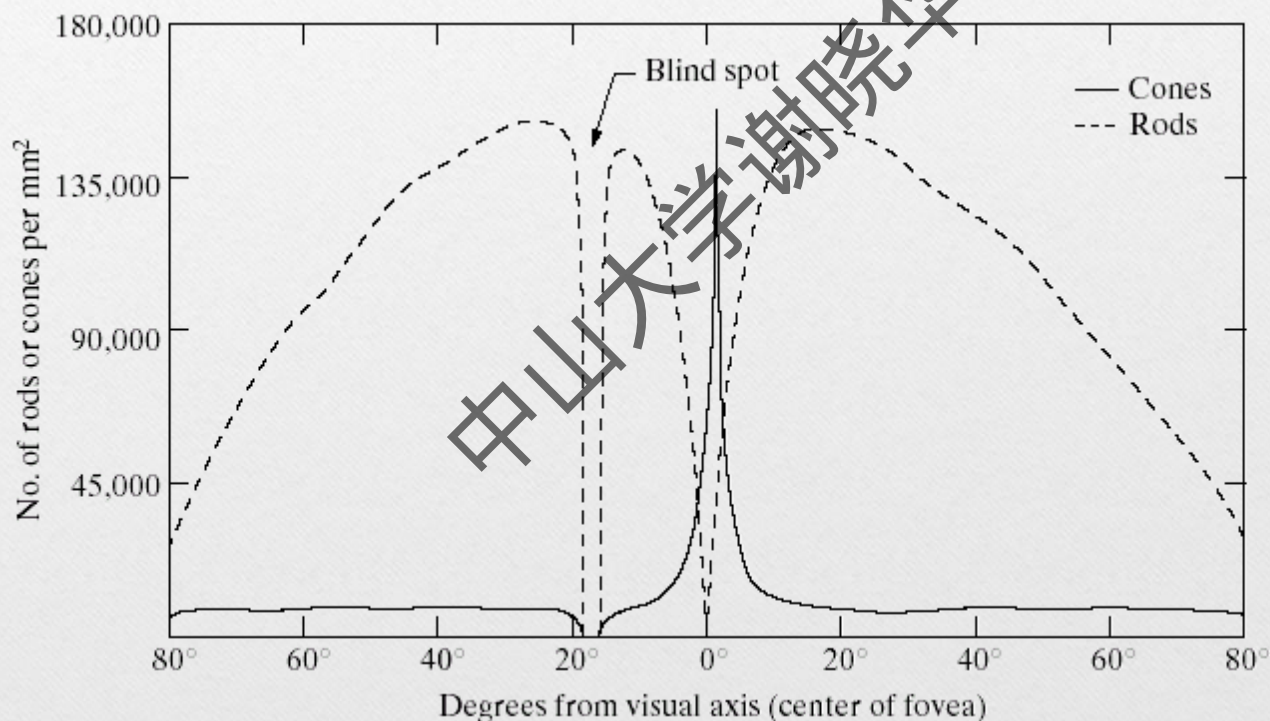


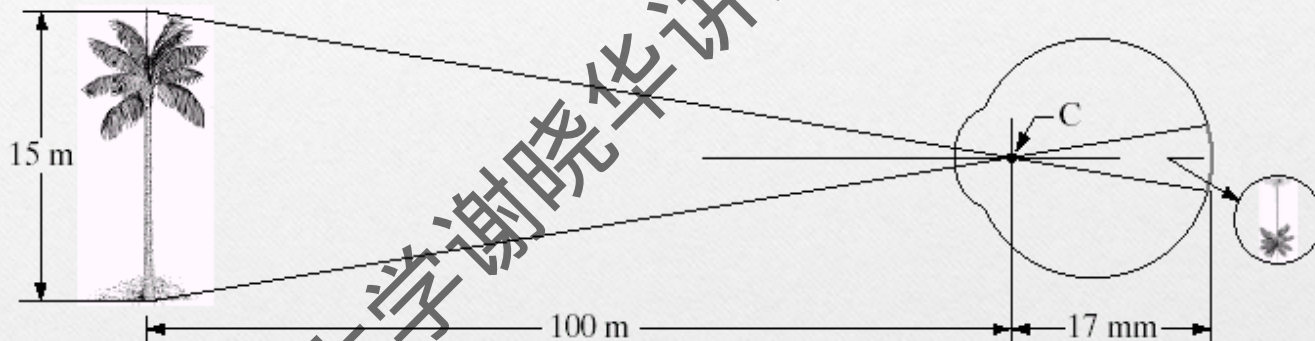
FIGURE 2.2
Distribution of rods and cones in the retina.

2.1 视觉感知要素

成像原理：和光学透镜类似，但适应性强，是可自行调节的透镜。

FIGURE 2.3

Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.



看远处物体，肌肉会迫使晶状体变得扁平，晶状体的聚焦中心向前移动；物体离眼睛近时，肌肉使晶状体变厚，光心向视网膜成像区域靠近。物体由远至近，焦距变小，晶状体的折射能力也由弱变强。当物体远于超过3米时，折射能力最弱，这是为什么远处物体的细节难以分辨的原因之一。

2.1 视觉感知要素

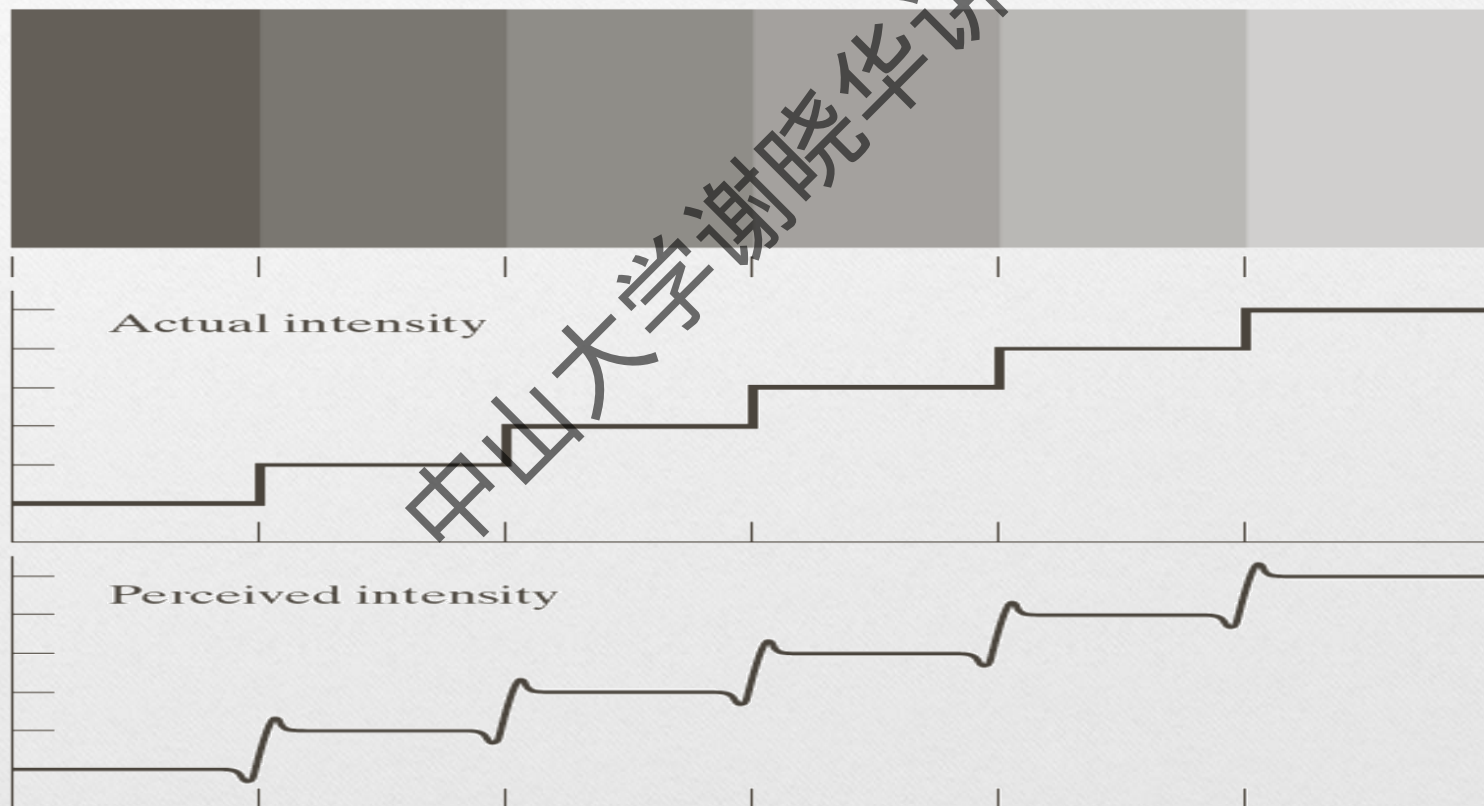
眼睛对亮度的适应和鉴别

- 能够适应的光强度级别很宽，从夜视域值到强闪光约有 10^{10} 个量级——高动态范围成像（High Dynamic Range Imaging, HDR）；
- 不能同时在一个范围内工作，而是通过改变其整个灵敏度来完成这一大变动的（亮度适应现象）。与整个适应范围相比，能同时鉴别的光强度级别的总范围很小。
- 在低的照明级别，亮度辨别较差（杆状体起作用），在背景照明增强时，亮度辨别得到明显的改善（锥状体起作用）。

2.1 视觉感知要素

感觉亮度不是简单的强度函数

- 马赫带现象：视觉系统在不同强度区域边界的“上冲”、“下冲”。



2.1 视觉感知要素

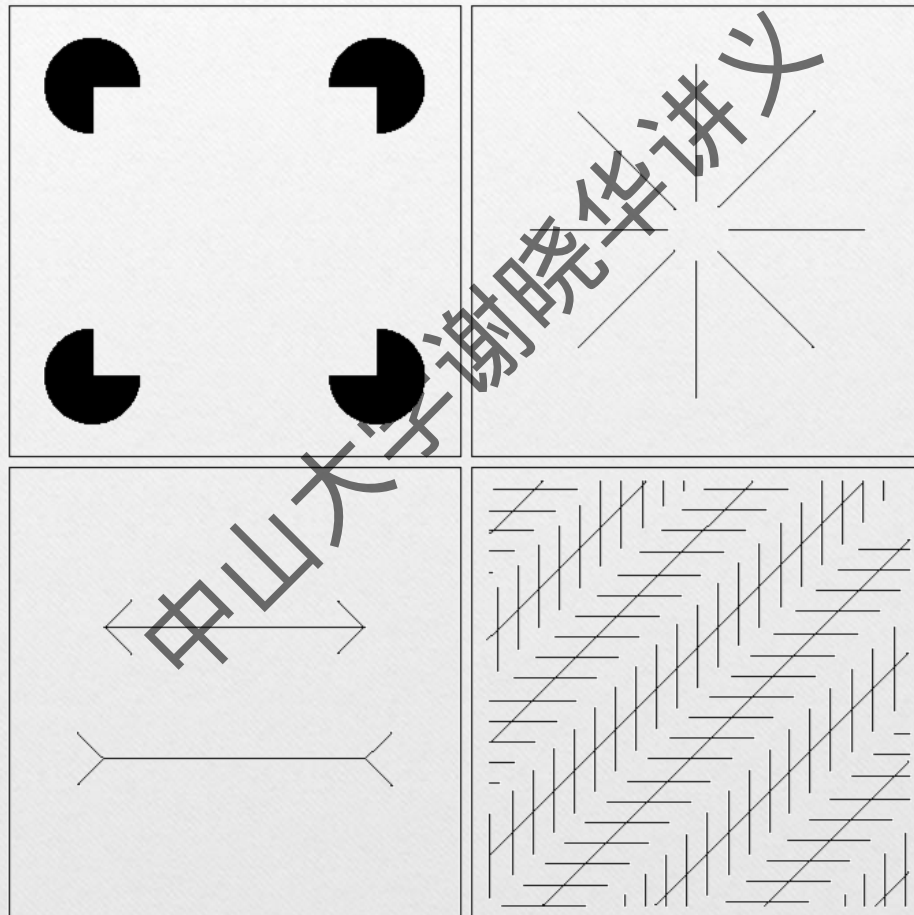
感觉亮度不是简单的强度函数

- 同时对比现象



2.1 视觉感知要素

人眼感知会出现错觉



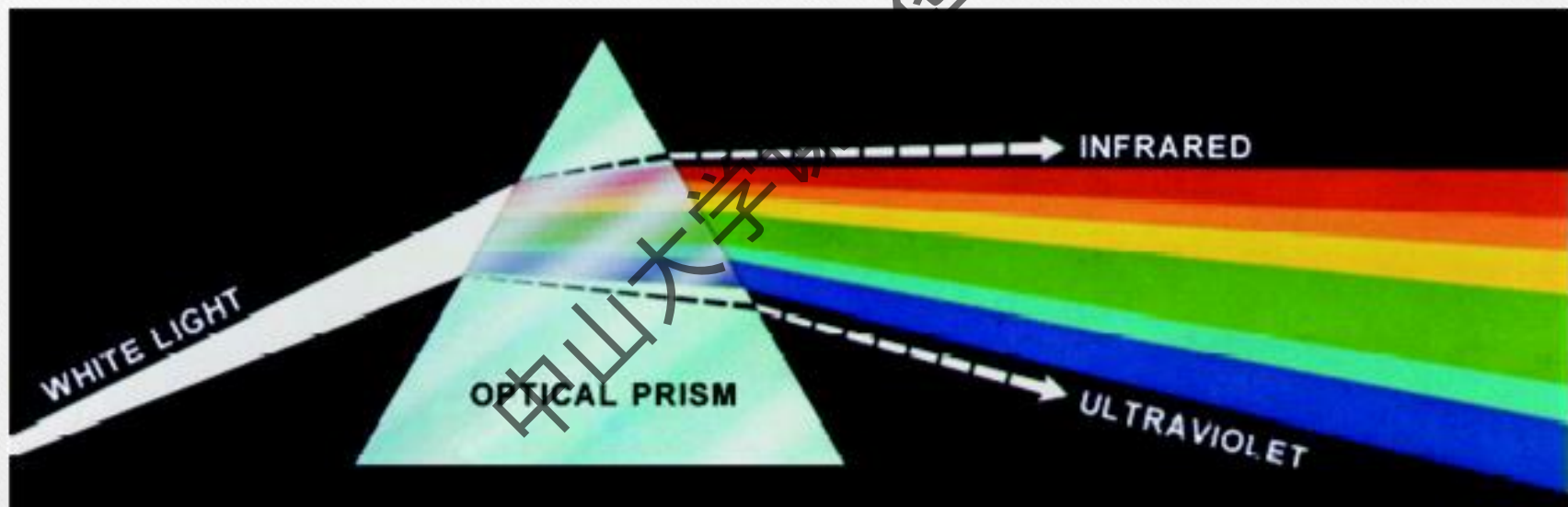
2.1 光和电磁波谱

五彩的阳光



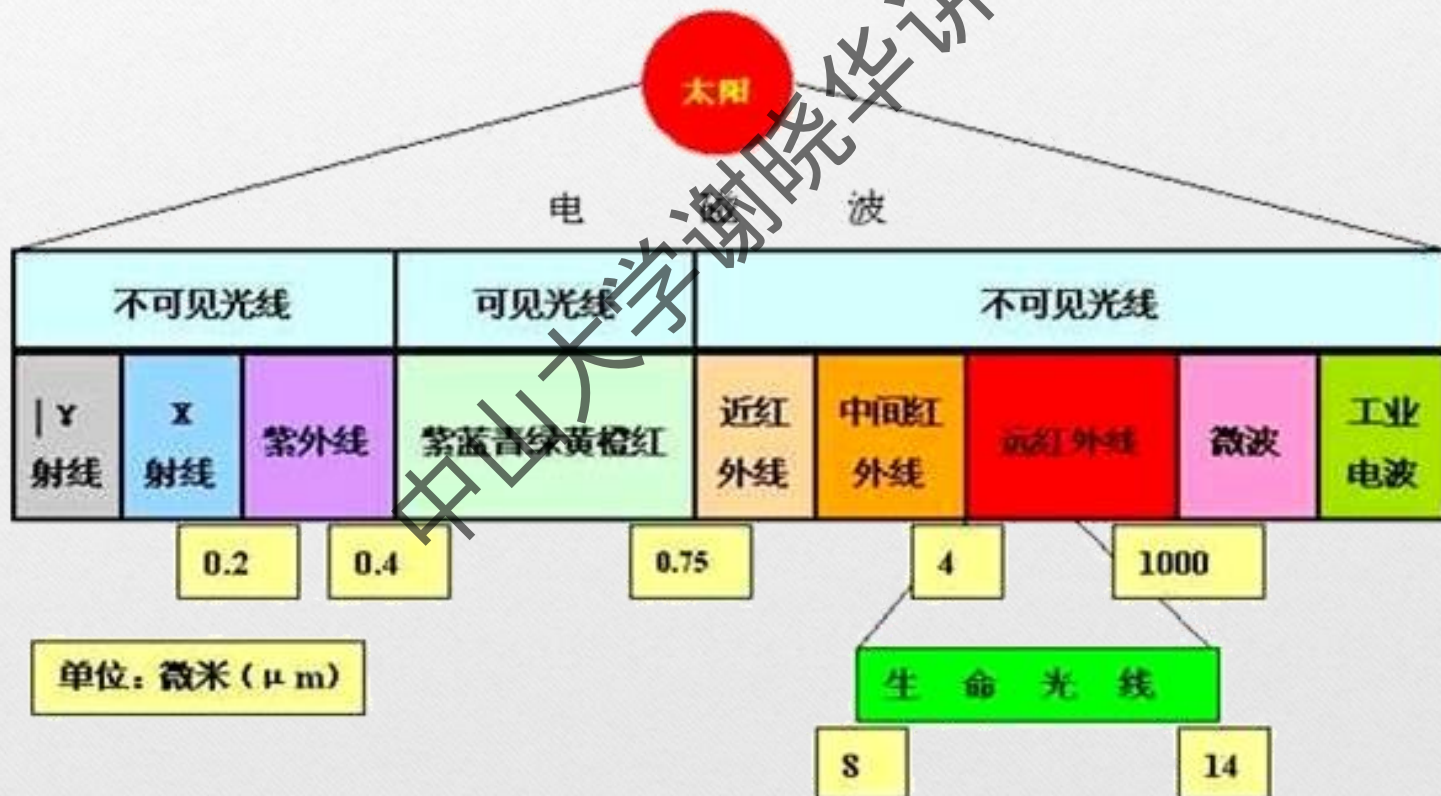
2.1 光和电磁波谱

牛顿1666年发现了这样一个现象：当一束白光通过一个玻璃棱镜时，出来的光就不再是白光，而是一端是紫色另一端是红色的连续色谱。



2.1 光和电磁波谱

光波等同于电磁波，反过来也成立。可见光的范围：电磁波约400~700nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 的范围。波谱一端是无线电波，波长比可见光长几十亿倍；另一端是伽马射线，波长比可见光短几百万倍。



2.1 光和电磁波谱

电磁波可以用波长、频率或能量来描述。波长(λ)和频率(ν)关系式为:

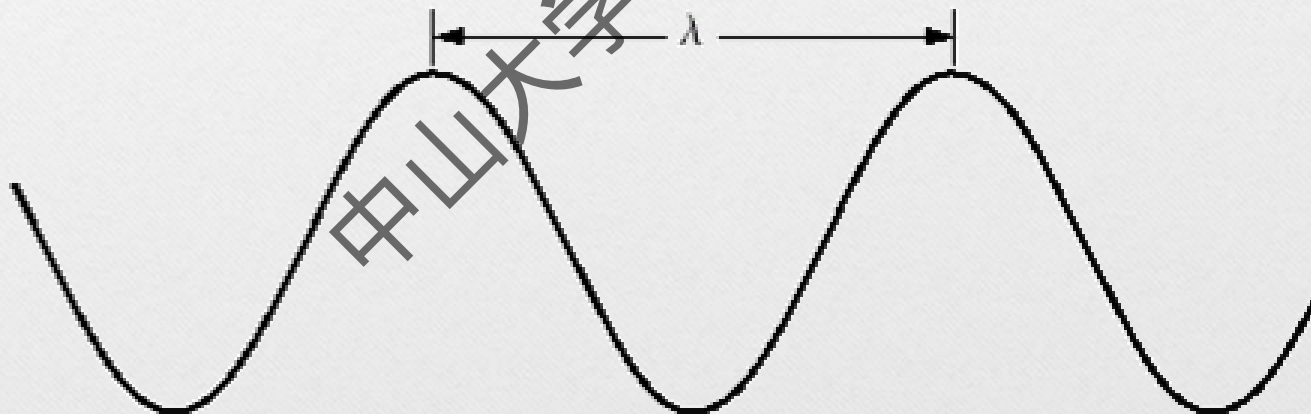
$$\lambda = c / \nu$$

其中 c 是光速 ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$) , 电磁波谱的能量由下式给出

$$E = h\nu$$

h 是普克朗常数。能量与频率成正比。

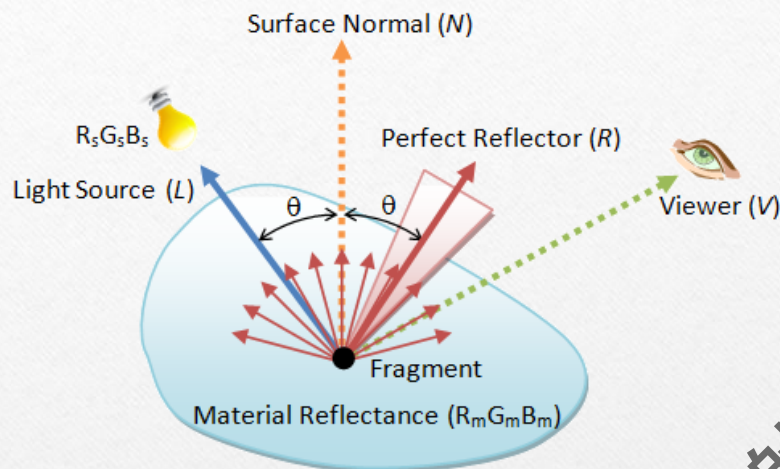
电磁波可以看成是以波长 λ 传播的正弦波。



2.1 光和电磁波谱

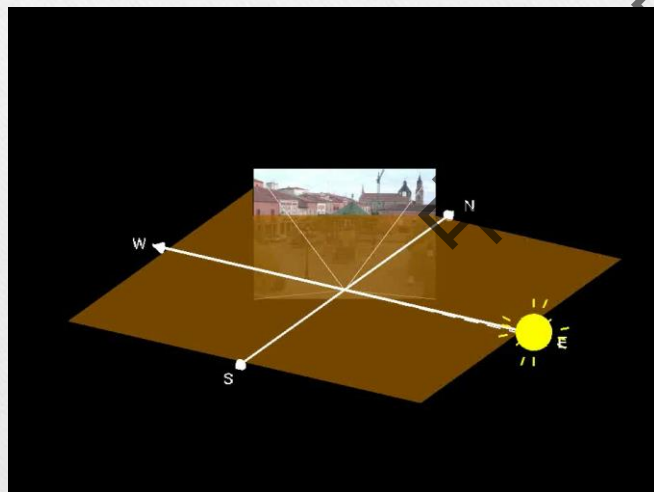
- ❑ 可见光是一种特殊的电磁波谱，只在电磁波谱中占很小的一部分。
- ❑ 眼睛从物体上感受到的颜色和物体发射光的性质有关。一个物体对所有可见光波长的反射是相对平衡的，则这个物体将呈现白色（灰色）。
- ❑ 单色光的属性是它的强度或大小。灰度级通常是用来描绘单色光的强度，它的范围从黑到灰，最后到白。
- ❑ 通常有三个基本量描绘彩色光源的质量：发光强度（从光源流出的能量）、光通量（观察者从光源感受的能量，例如：远红外光有实际的能量，但光通量为零）、亮度（描绘光感受的主观描绘，它实际上不能测量，包含无色的强度的概念，并且也是描述彩色感觉的参数之一）。

2.3 图像的感知和获取



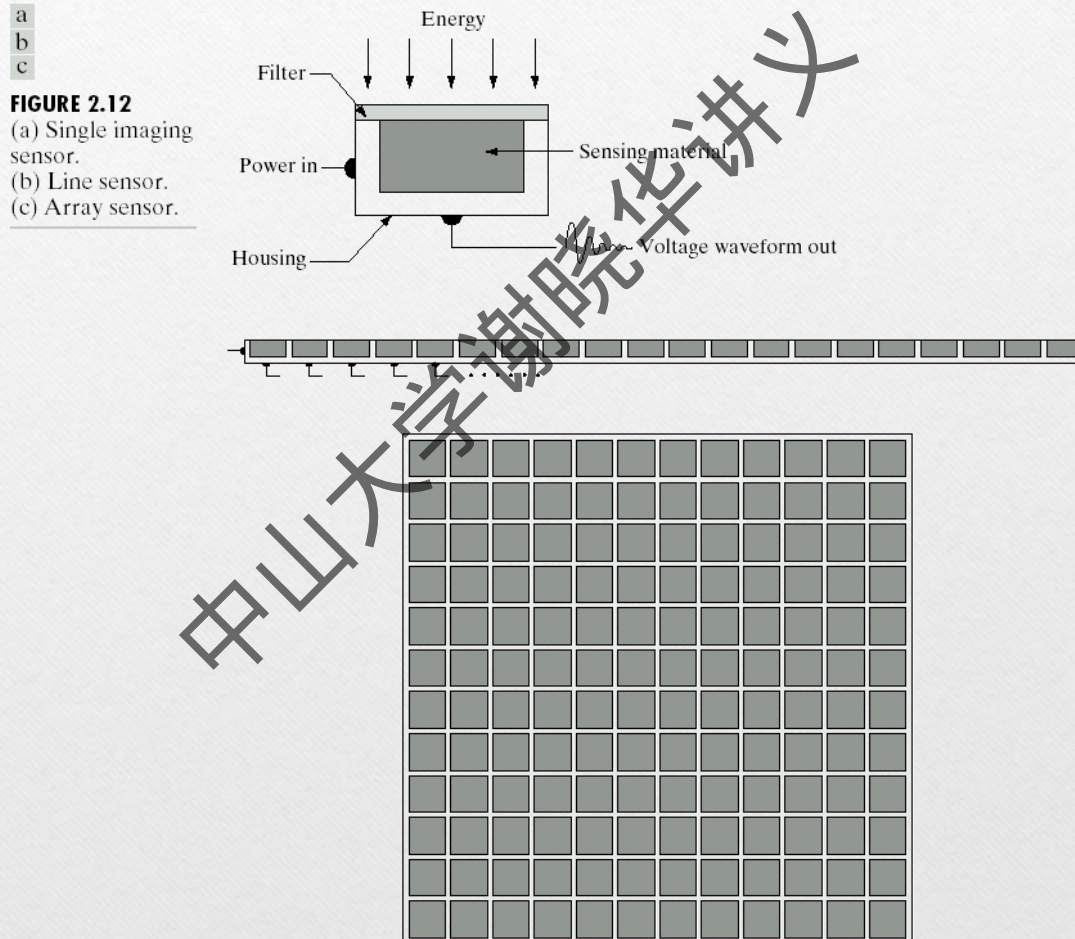
内在属性: 材质、形状、光照

外在属性: 视角、设备性能等



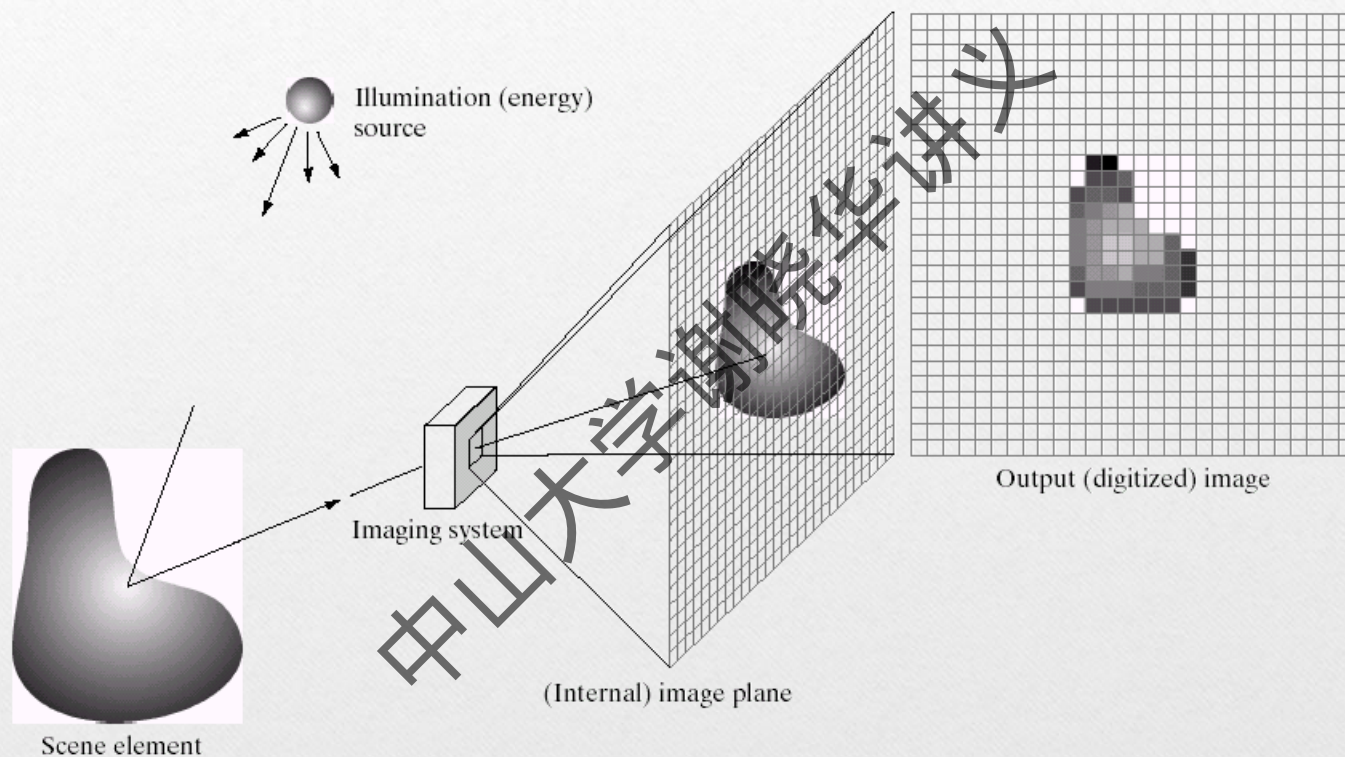
2.3 图像的感知和获取

一般来说，各类图像都是由“照射”源和形成图像的“场景”元素对光能的反射或吸收相结合而产生的。



2.3 图像的感知和获取

图像获取过程例子



a b c d e

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.

用二维函数的形式表示一幅单色图像。当一幅图像从物理过程产生时，它的值正比于物理源的辐射能量（如电磁波）。故一定有

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

函数 $f(x, y)$ 有两个分量来表征：

- (1) 入射到观察场景的光源总量和
- (2) 场景中物体反射光的总量。

称为入射分量和反射分量，并分别用 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 表示。两个函数合并形成图像函数 $f(x, y)$ ：

$$f(x, y) = i(x, y) r(x, y)$$

其中

$$0 < i(x, y) < \infty$$

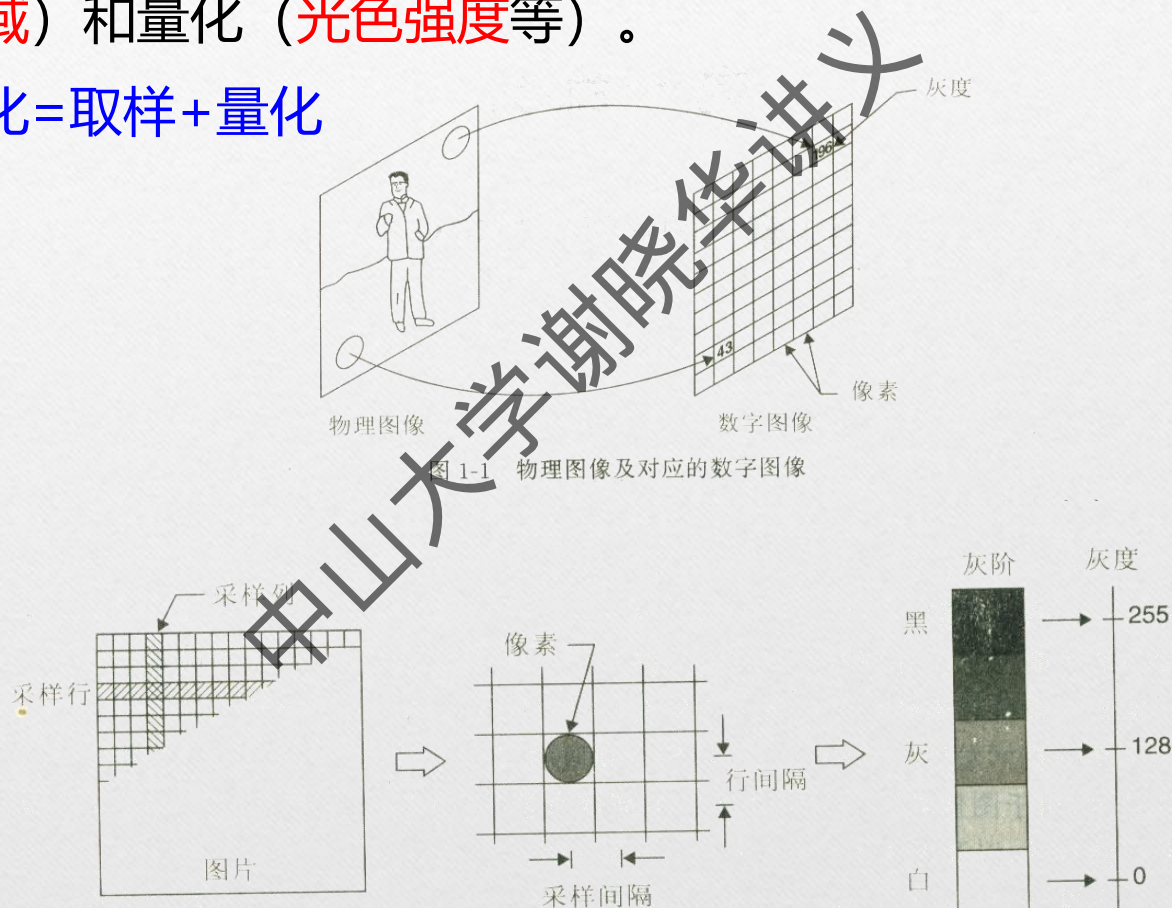
$$0 < r(x, y) < 1$$

单色图像上任一点的强度就是图像在那一点的灰度级。反射分量限制在0（全吸收）和1（全反射）之间。

2.4 图像取样和量化

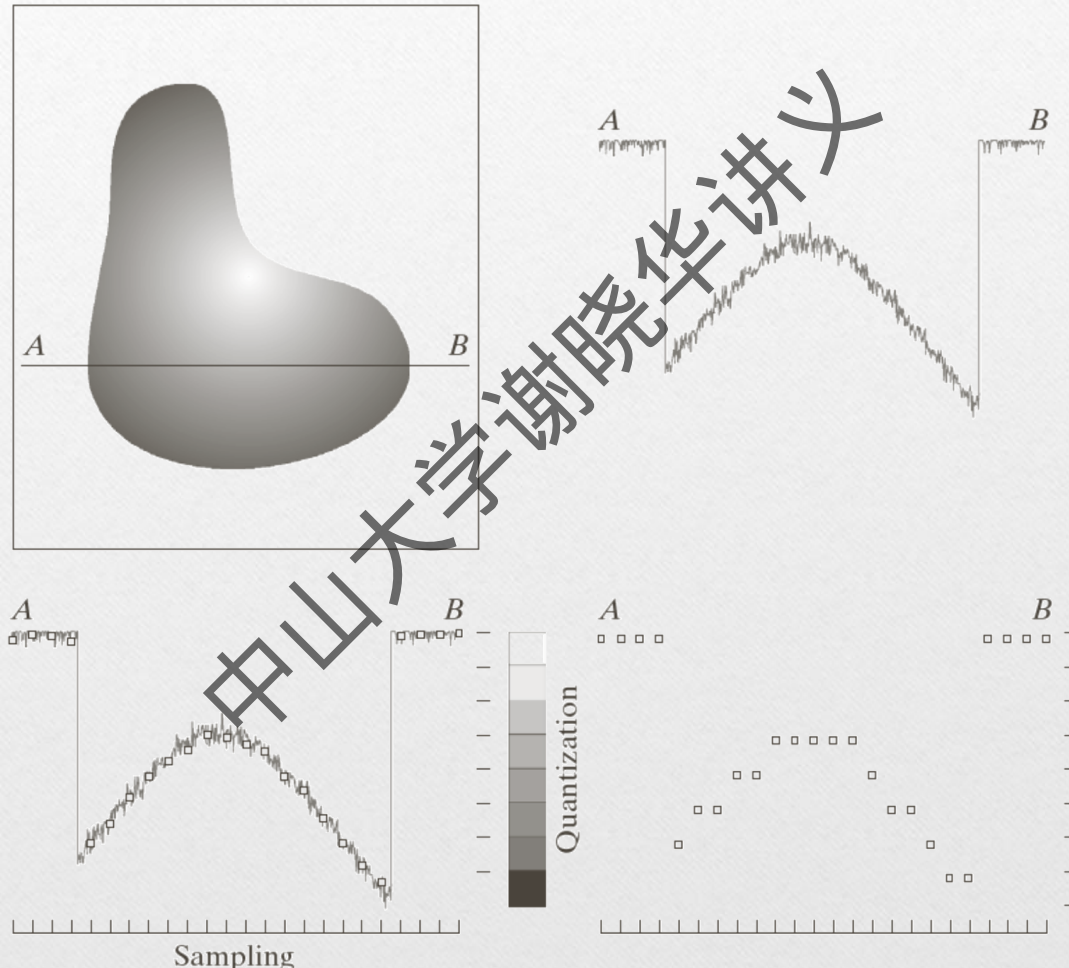
大多数传感器的输出是连续的电压波形（图像），为了产生一幅数字图像，需要把连续的感知数据转换为数字形式。这就包含了两种处理，取样（时空域）和量化（光色强度等）。

图像数字化=取样+量化



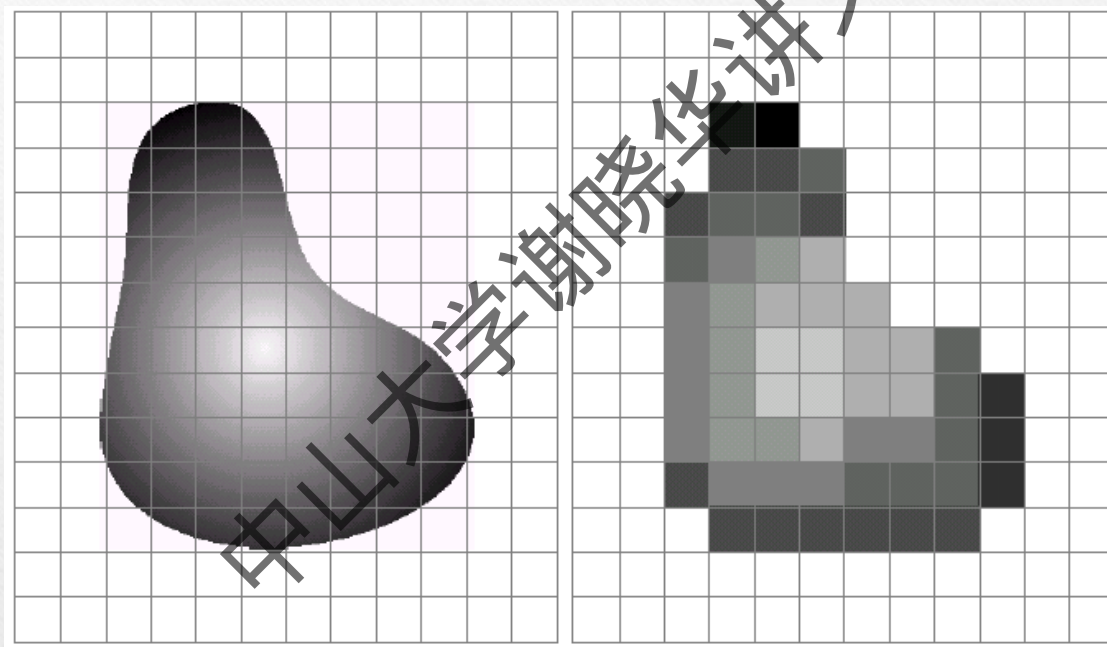
2.4 图像取样和量化

时空采样与强度量化（基于条带传感器）



2.4 图像取样和量化

空间采样与强度量化（基于阵列传感器）



2.4 图像取样和量化

数字图像表示：二维矩阵是表示数字图像的重要数学形式。一幅 $M \times N$ 的图像可以表示为：

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

或者

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & & & \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

矩阵中的每个元素称为图像的“**像素**”。每个像素都有它自己的“**位置**”和“**值**”。

2.4 图像取样和量化

数字图像：表达视觉信息的离散二维信号（矩阵）

$I =$

200	200	199	201	207	206	200
200	199	199	200	208	211	203
200	200	199	199	204	206	202
200	200	199	199	201	201	200
200	200	200	199	199	199	199
199	199	199	199	199	199	199
198	198	198	198	198	198	198
198	197	198	198	197	197	196
198	198	198	198	197	194	196
196	197	197	197	196	194	195
195	195	195	195	195	194	194

.....



2.4 图像取样和量化

数字图像：表达视觉信息的离散二维信号（矩阵）

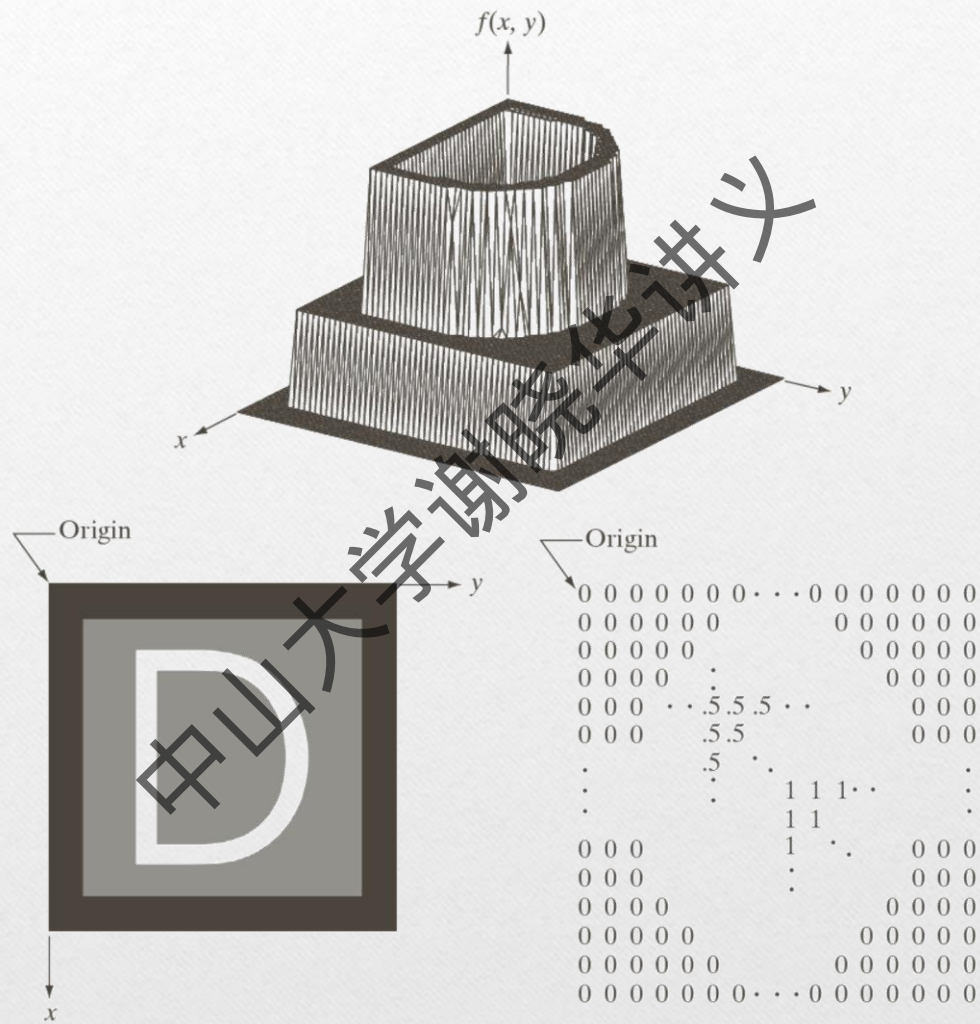
$I =$

200	200	199	201	207	206	200
200	199	199	200	208	211	203
200	191	192	194	195	195	196
200	188	190	192	193	193	194
200	192	200	200	199	201	207
200	195	200	199	199	200	208
199	196	200	200	199	199	204
198	194	200	200	199	199	201
198	194	200	200	200	199	199
198	198	199	199	199	199	199
196	199	198	198	198	198	198
195	198	198	197	198	198	197
221	198	198	198	198	197	194
246	196	197	197	197	196	194
	195	195	195	195	195	194

.....

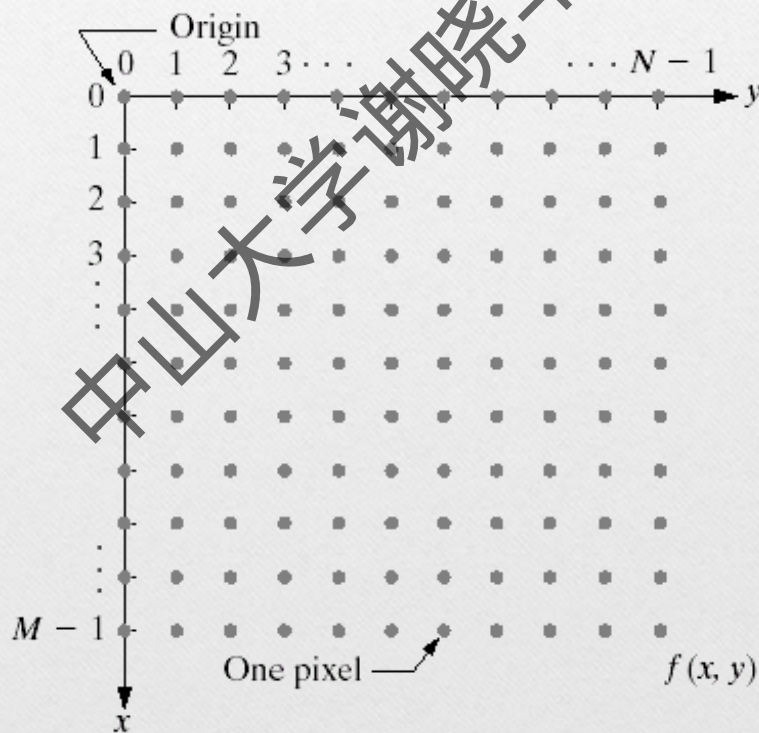


2.4 图像取样和量化



2.4 图像取样和量化

取样和量化的正规数学描述：令 Z 和 R 分别表示整数集合、实数集。取样过程可以看作是把 xy 平面分为网格，每一网格中心的坐标是笛卡尔坐标 Z^2 的一对元素， Z^2 是所有元素对 (z_i, z_j) 的集合， z_i 和 z_j 是 Z 中的整数。因此，如果 (x, y) 是 Z^2 中的元素，并且 f 是把灰度级值（即实数集 R 中的一个实数）赋予特定坐标，则 $f(x, y)$ 就表示一幅数字图像。这个赋值过程就是前面描述的量化过程。



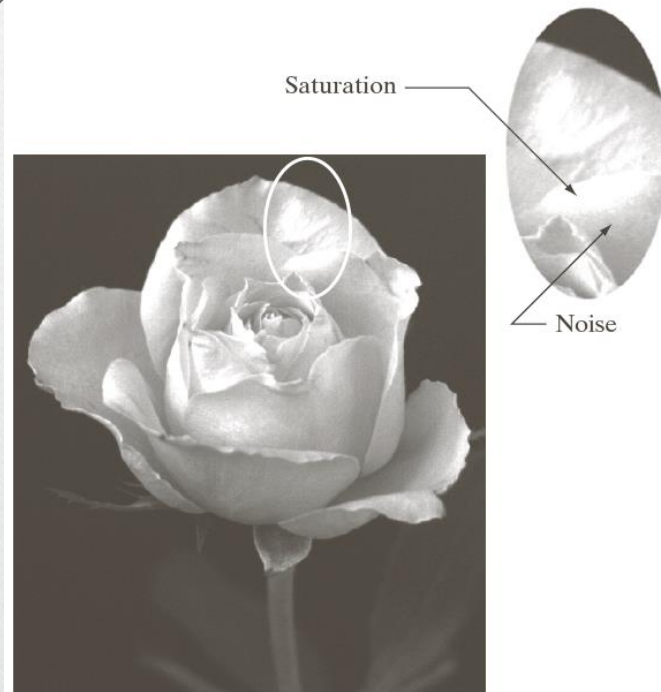
2.4 图像取样和量化

出于处理、存储和硬件的考虑，灰度级别通常是2的整数幂

$$L=2^k$$

L 是最大的灰度级别。这时，图像中所有像素的灰度是区间 $[0, L-1]$ 的整数。一幅数字图像占用的空间（比特数）： $M \times N \times k$ 。

- 灰度存储一般选择 $[0, L-1]$ 或者 $[0, 1]$
- 灰度跨越值域：动态范围（非正式叫法）
- 图像系统最大可度量灰度与最小可检测灰度之比：图像系统的动态范围。
- 上限决定于饱和度，下限取决于噪声。
- 饱和度：超过这个值的灰度级将被剪切掉的一个最高值。
- 灰度最大最小值之差：图像对比度。



2.4 图像取样和量化

空间分辨率是图像中可分辨的最小细节。广泛使用的分辨率的意义是在每单位距离可以分辨的最小线对数目。(英国：每英寸点数，dpi)

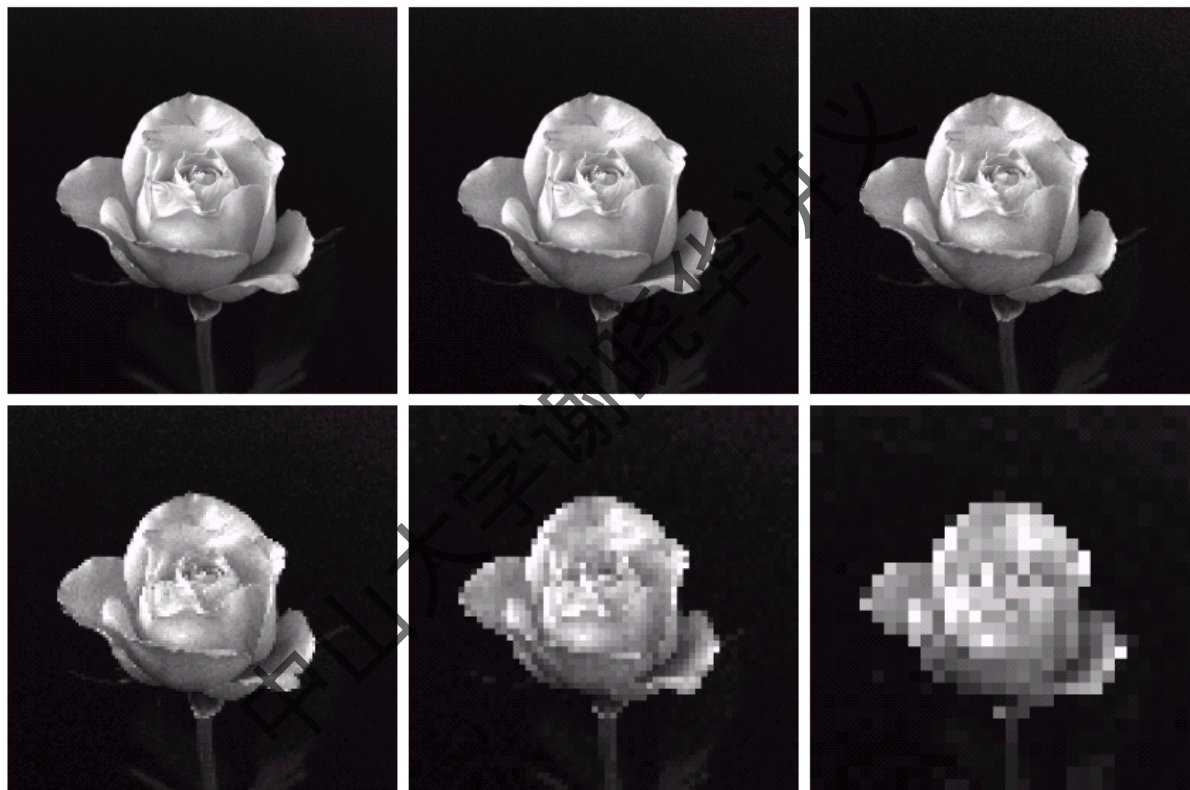
通常，空间分辨率即图像大小（最大行数×每行最大像素数）。



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.

2.4 图像取样和量化

空间分辨率例子



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.

2.4 图像取样和量化

空间分辨率例子

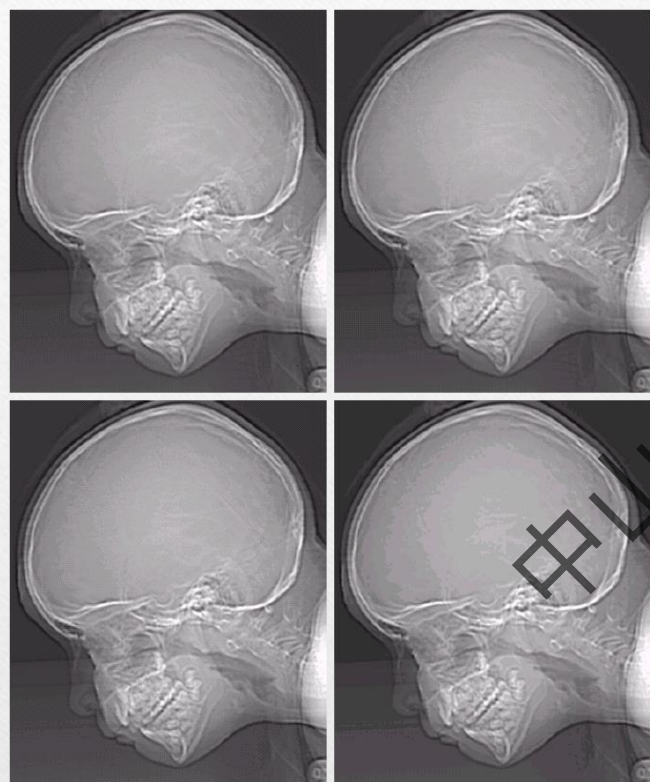


a b
c d

FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.

2.4 图像取样和量化

灰度分辨率：一个像素值单位幅度上包含的灰度级数。灰度级数通常是2的整数幂级数，如：用一个byte存一个像素值，则256级；用一个4bit存一个像素值，则16级；一般采取8bit，有时用16bit，极少用32bit以上。

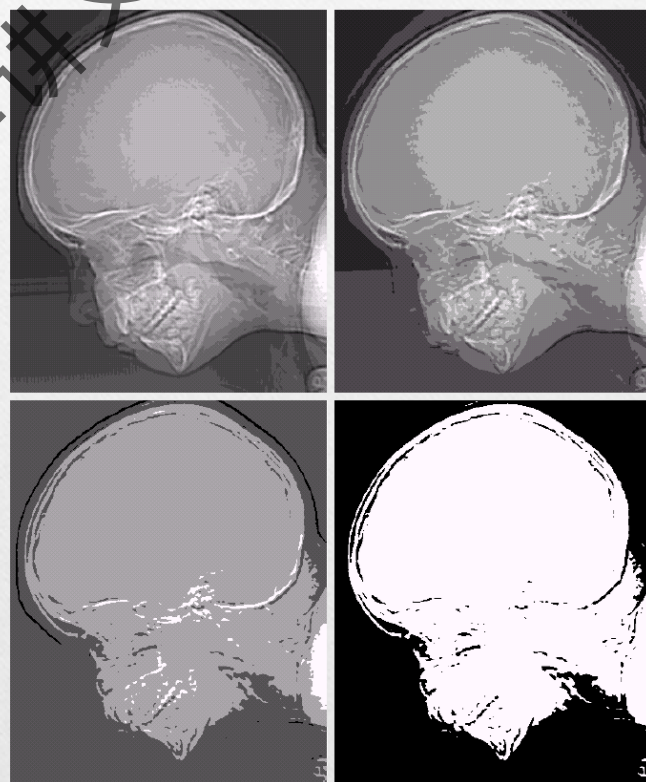


a b
c d

FIGURE 2.21
(a) 452×374 ,
256-level image.
(b)–(d) Image
displayed in 128,
64, and 32 gray
levels, while
keeping the
spatial resolution
constant.

e f
g h

FIGURE 2.21
(Continued)
(e)–(h) Image
displayed in 16, 8,
4, and 2 gray
levels (Original
contrast of
Dr. David
B. Hickens,
Department of
Radiology &
Radiological
Sciences,
Vanderbilt
University
Medical Center.)



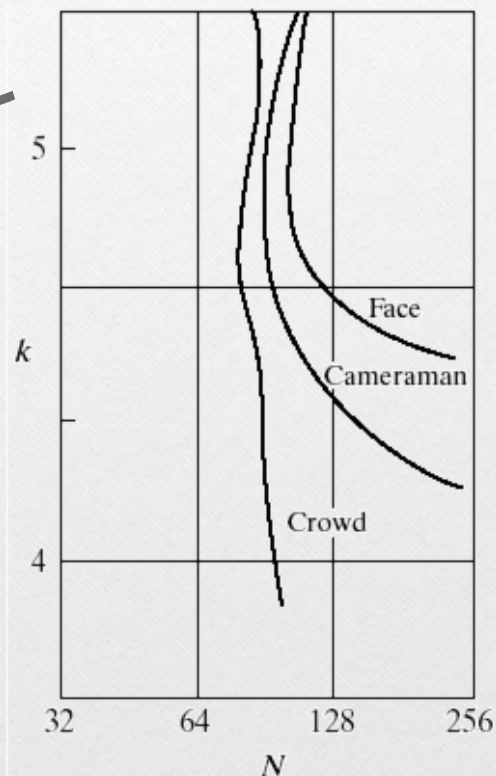
2.4 图像取样和量化

人眼对灰度分辨率的敏感程度
和图像内容的复杂程度相关



a b c

FIGURE 2.22 (a) Image with a low level of detail. (b) Image with a medium level of detail. (c) Image with a relatively large amount of detail. (Image (b) courtesy of the Massachusetts Institute of Technology.)



人类偏爱曲线
(不同空间与灰度分辨率)

2.4 图像取样和量化

图像内插（缩放、旋转、几何校正中会应用）

方法：最近邻、线性、**双线性内插**、**三次内插**、样条、小波.....

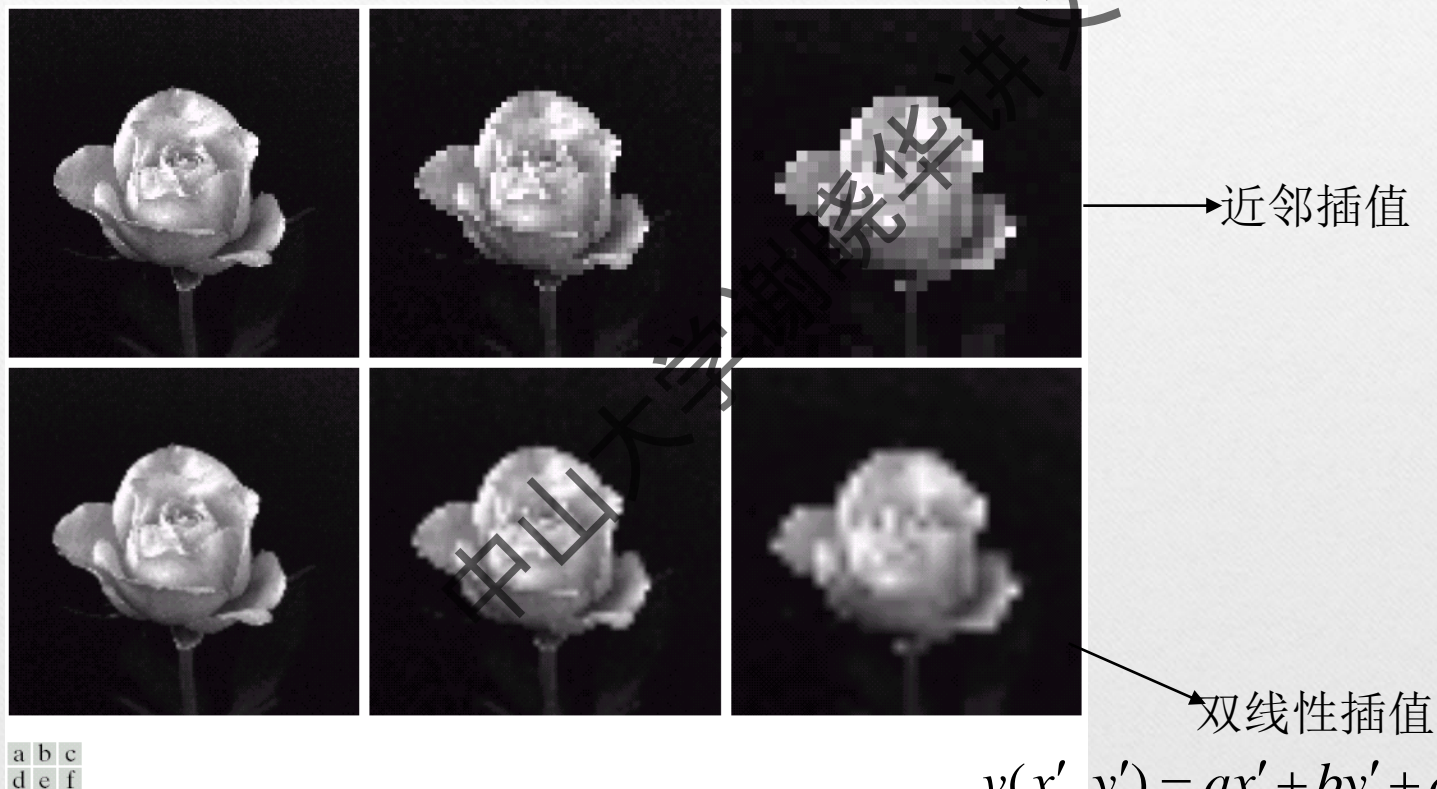


FIGURE 2.25 Top row: images zoomed from 128×128 , 64×64 , and 32×32 pixels to 1024×1024 pixels, using nearest neighbor gray-level interpolation. Bottom row: same sequence, but using bilinear interpolation.

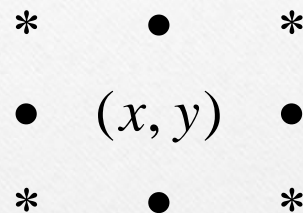
$$v(x', y') = ax' + by' + cx'y' + d$$

2.4 图像取样和量化

像素间的一些基本关系

相邻像素

位于坐标 (x, y) 的像素 p 有四个水平和垂直的相邻像素，每个像素距 (x, y) 一个单位距离。

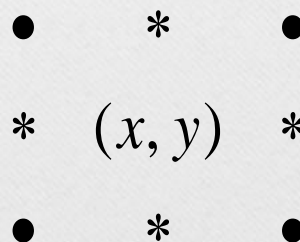


坐标分别为： $(x-1, y)$, $(x+1, y)$, $(x, y-1)$, $(x, y+1)$ 。此像素集合定义为像素 p 的4邻域，用 $N_4(p)$ 表示。

另外， p 有4个对角相邻像素，坐标为：

$(x-1, y-1)$, $(x+1, y-1)$, $(x-1, y+1)$, $(x+1, y+1)$

用 $N_D(p)$ 表示。



$N_D(p)$ 和 $N_4(p)$ 一起称为 p 的8邻域，用 $N_8(p)$ 表示

如何定义16邻域？

2.4 图像取样和量化

邻接性、连通性、区域和边界

邻接性有两个要素：一个是灰度值的邻接性（值域 V ）、一个是物理位置的邻接性（邻域，如 $N_4(p)$ 等）。例如，二值图象中，像素值都为1（或都为0）的像素才有可能被称为是邻接的。在一般图像中，可定义一个值域 V ， V 是0到255中的一个子集。

常见的三种邻接性：

(a) 4邻接：如果点 q 在 $N_4(p)$ 中，并 q 和 p 具有 V 中的数值，则 q 和 p 是4邻接的；

(b) 8邻接：如果点 q 在 $N_8(p)$ 中，并 q 和 p 具有 V 中的数值，则 q 和 p 是8邻接的；

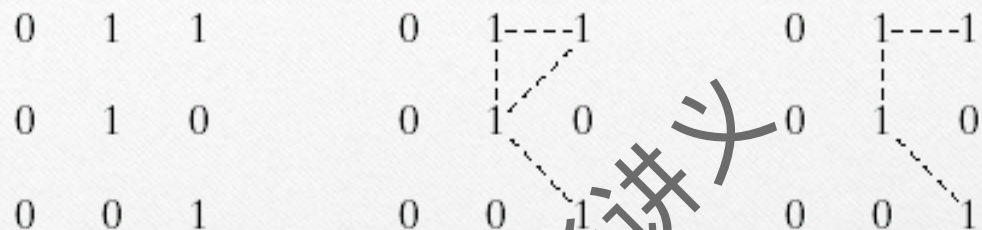
(c) m 邻接（混合邻接）：满足下列条件的任一个，则具有 V 中数值的 p 和 q 是 m 连接的。

-- q 在中 $N_4(p)$

-- q 在 $N_D(p)$ 中，且集合 $N_4(p) \cap N_4(q)$ 中没有 V 值的像素。

2.4 图像取样和量化

注意：混合邻接是8邻接的改进，为了消除8邻接的二义性。如下图。



a b c

FIGURE 2.26 (a) Arrangement of pixels; (b) pixels that are 8-adjacent (shown dashed) to the center pixel; (c) m -adjacency.

两个集合邻接：如果集合 S^1 中的某些像素和 S^2 中的某些像素邻接，则称这两个集合是邻接的。这里说的邻接指的是4、8或者 m 邻接。

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

通路、连通、度量：自习

图像处理对应的一些基本数学操作

利用图像加法实现去噪的目的（手机夜间拍照模式）



M=4



M=16

图像处理对应的一些基本数学操作

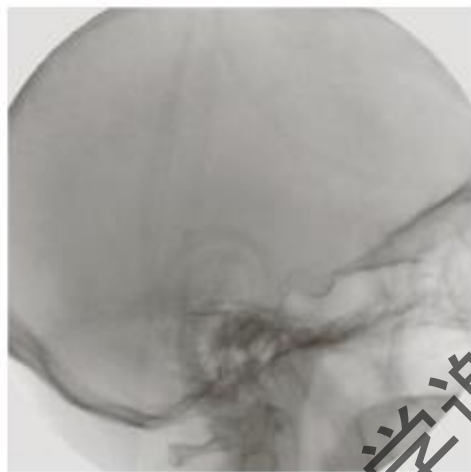
图像叠加



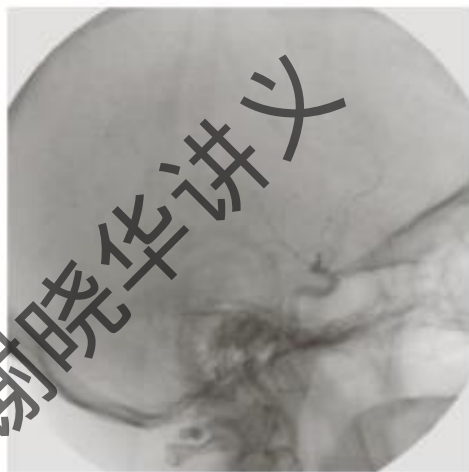
图像处理对应的一些基本数学操作

图像相减用于异常检测

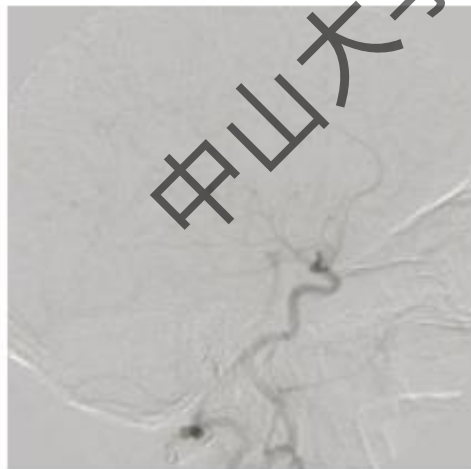
健康



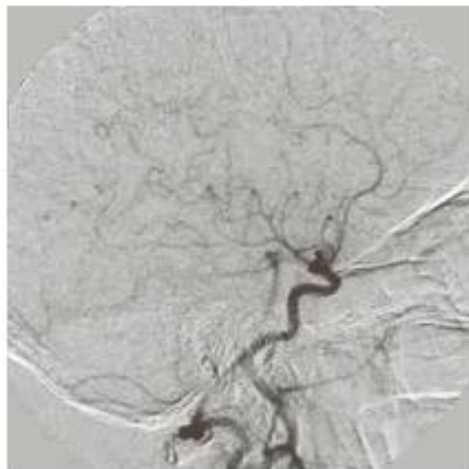
病变



差



增强后的差



图像相减
还有什么
应用？

图像处理对应的一些基本数学操作

图像相乘用于光照矫正



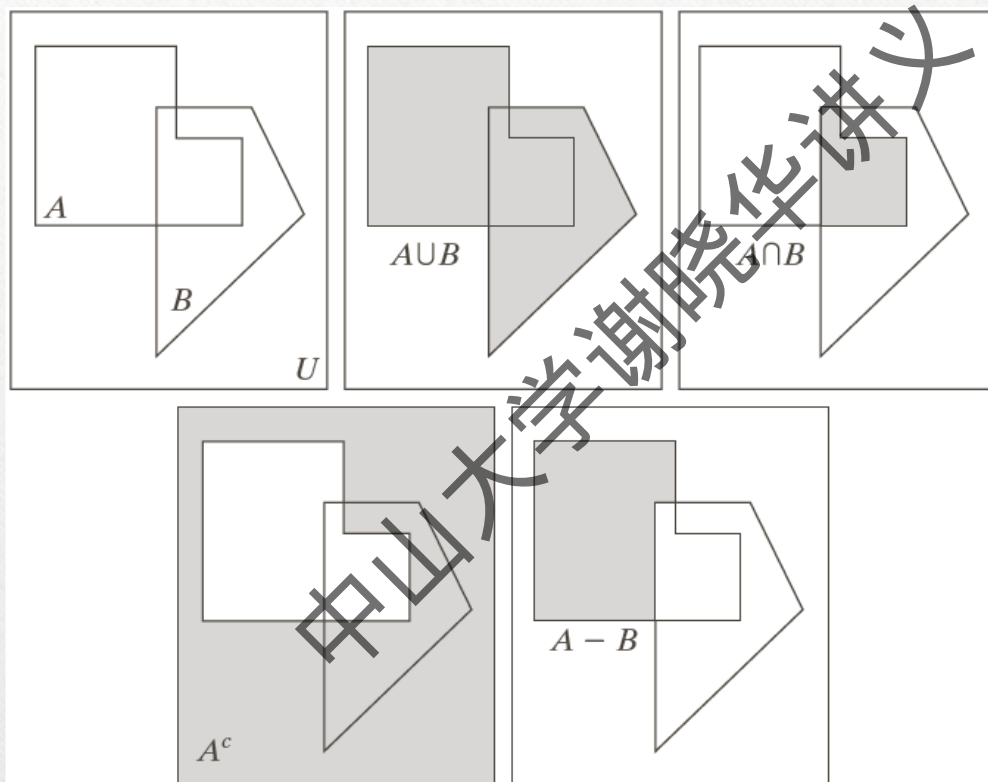
a b c

FIGURE 2.29 Shading correction. (a) Shaded SEM image of a tungsten filament and support, magnified approximately 130 times. (b) The shading pattern. (c) Product of (a) by the reciprocal of (b). (Original image courtesy of Mr. Michael Shaffer, Department of Geological Sciences, University of Oregon, Eugene.)

图像相乘
还有什么
应用？

图像处理对应的一些基本数学操作

图像集合与逻辑操作



a	b	c
d	e	

FIGURE 2.31

(a) Two sets of coordinates, A and B, in 2-D space. (b) The union of A and B. (c) The intersection of A and B. (d) The complement of A. (e) The difference between A and B. In (b)–(e) the shaded areas represent the member of the set operation indicated.

形态学章节还会介绍

图像处理对应的一些基本数学操作

思考：

- 1、灰度断值会导致图像出现什么变化？
- 2、二值化（把灰度图像变为黑白图像）如何操作？
- 3、数学知识重温：特征值分解、线性方程求解、低秩
.....

下节课内容：

- 1、matlab基本操作
- 2、photoshop基本操作
- 3、OpenCv入门介绍