

Digital Image Processing

数字图像处理

第二讲：数字图像基础

英向华

xhying@cis.pku.edu.cn

信息科学技术学院 智能科学系



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系

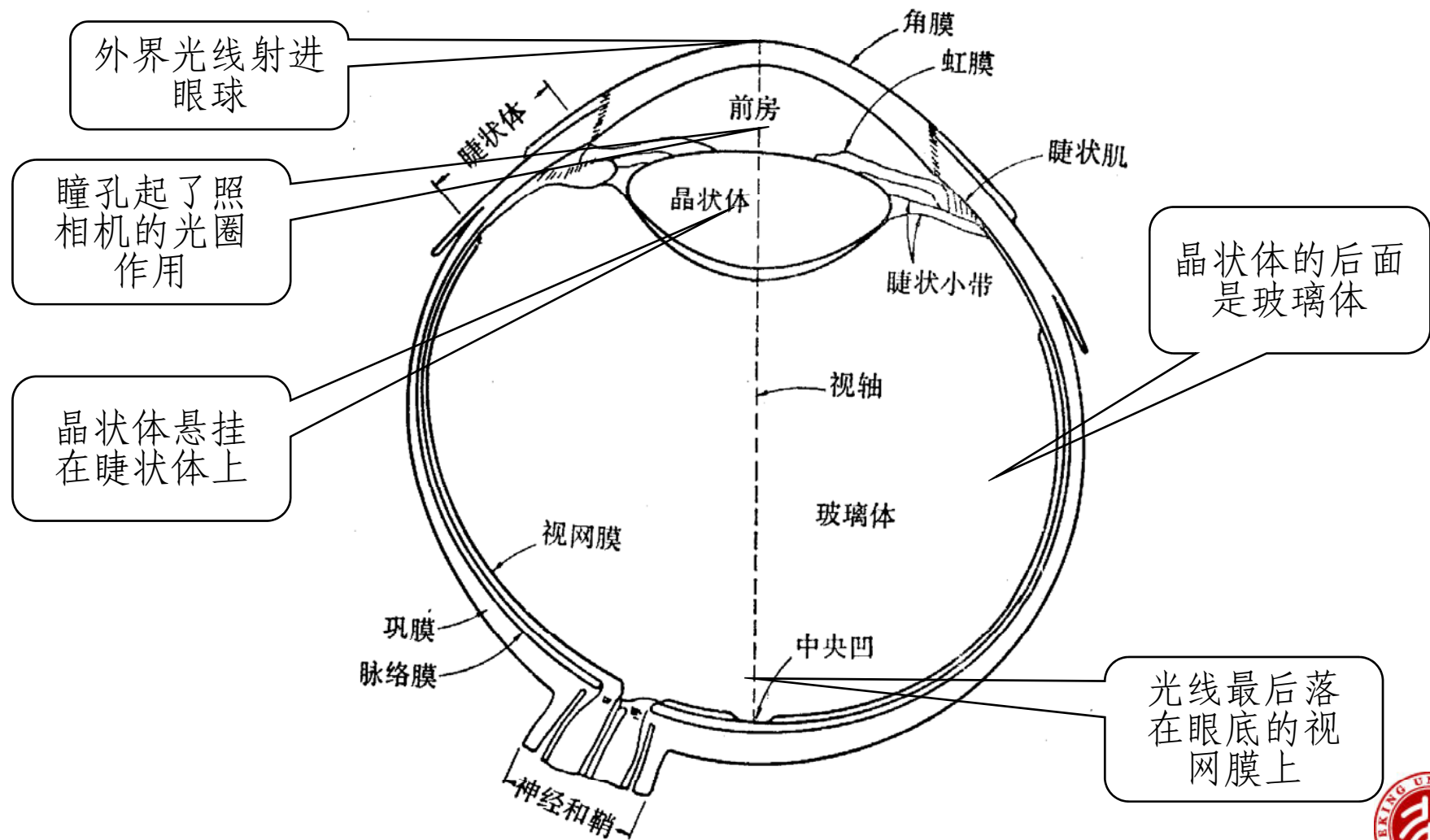


目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



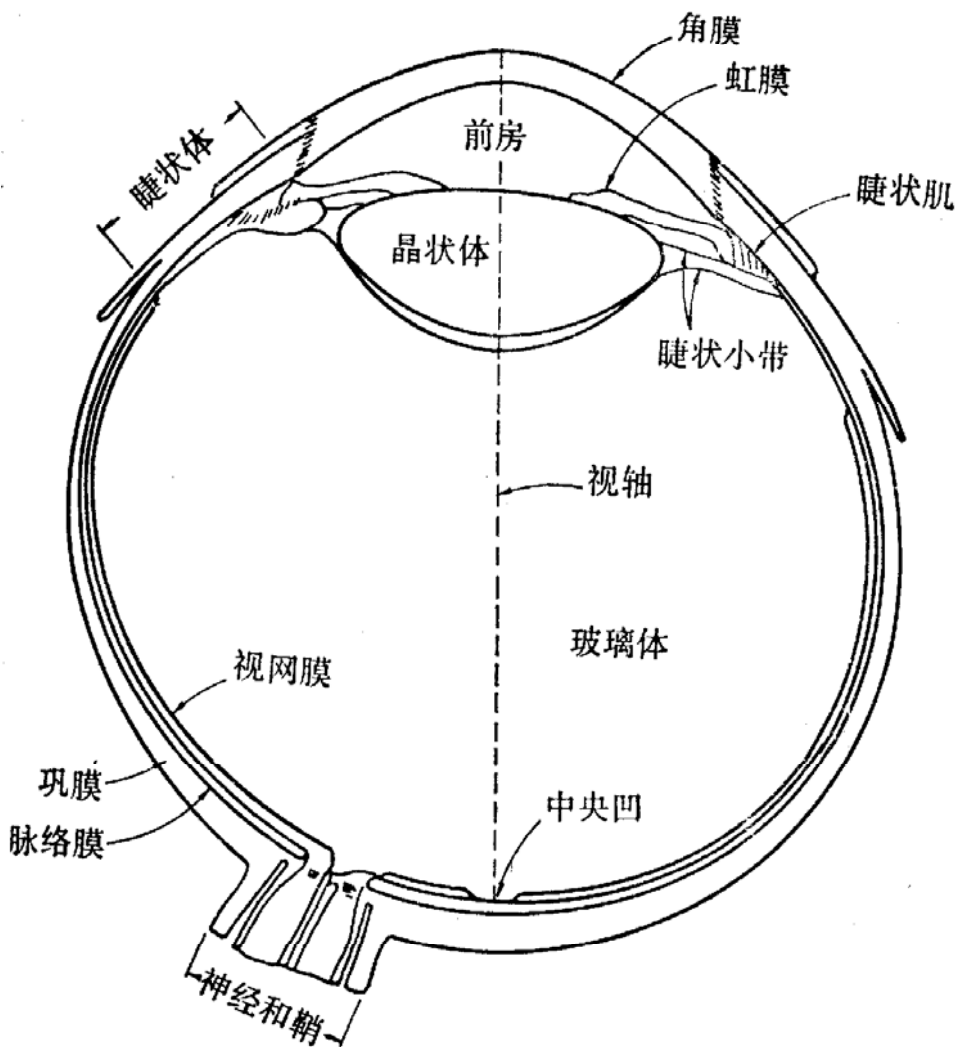
人眼的构造



人眼的构造

有三层薄膜包裹着眼睛：

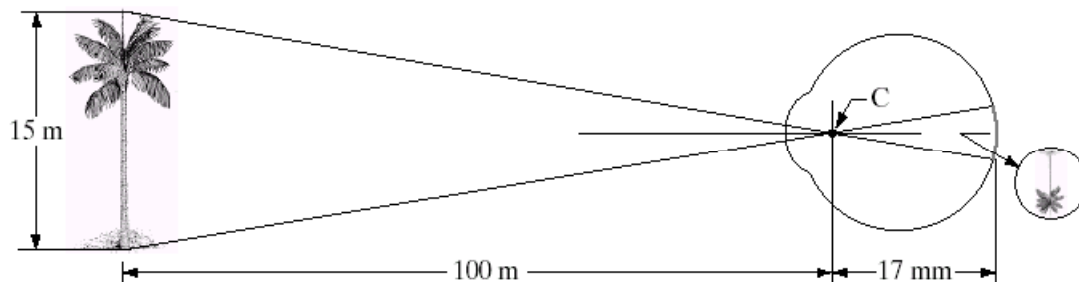
- 眼角膜和巩膜外壳
- 脉络膜，前面是睫状体和虹膜
- 视网膜
- 眼球平均直径：20mm
- 瞳孔大小：2-8mm控制入光量
- 虹膜的颜色：前部可见色素，后部黑色体



视觉系统基本构造

FIGURE 2.3

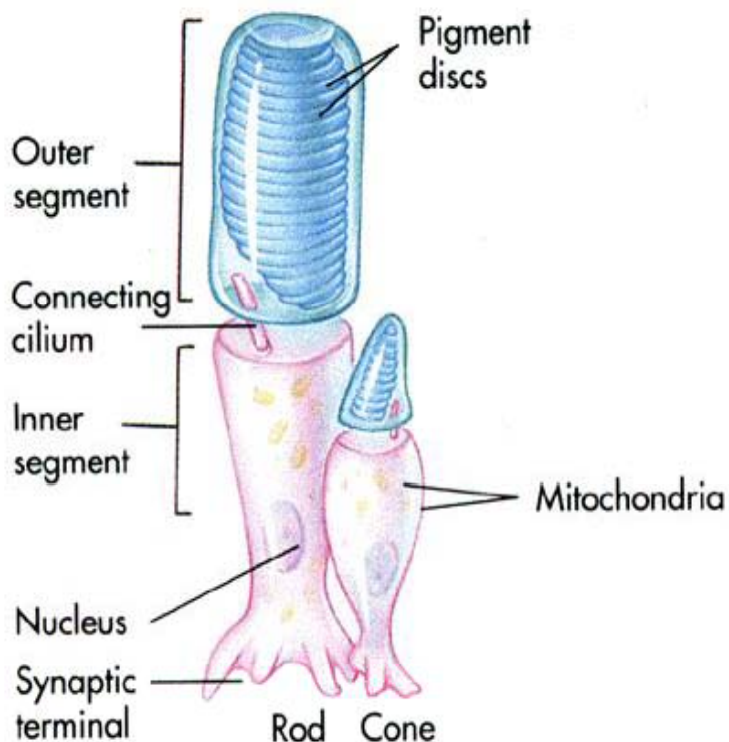
Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.



- 眼睛物体的光学表示
- 晶状体的光学聚焦中心与视网膜距离 (14mm-17mm)
- 由睫状体的韧带张力控制晶状体的扁厚

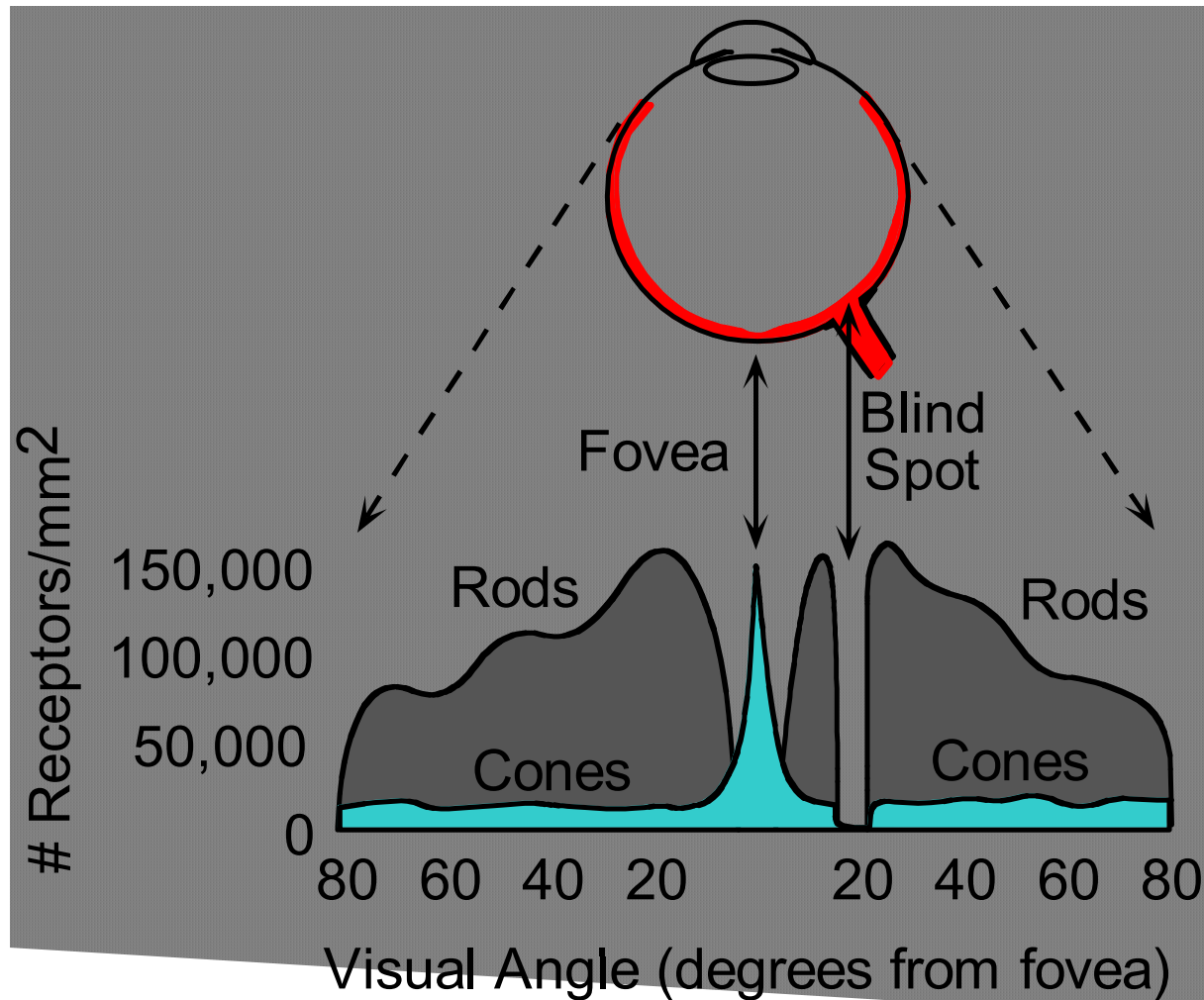
人眼的构造

视网膜上两类视觉接收器

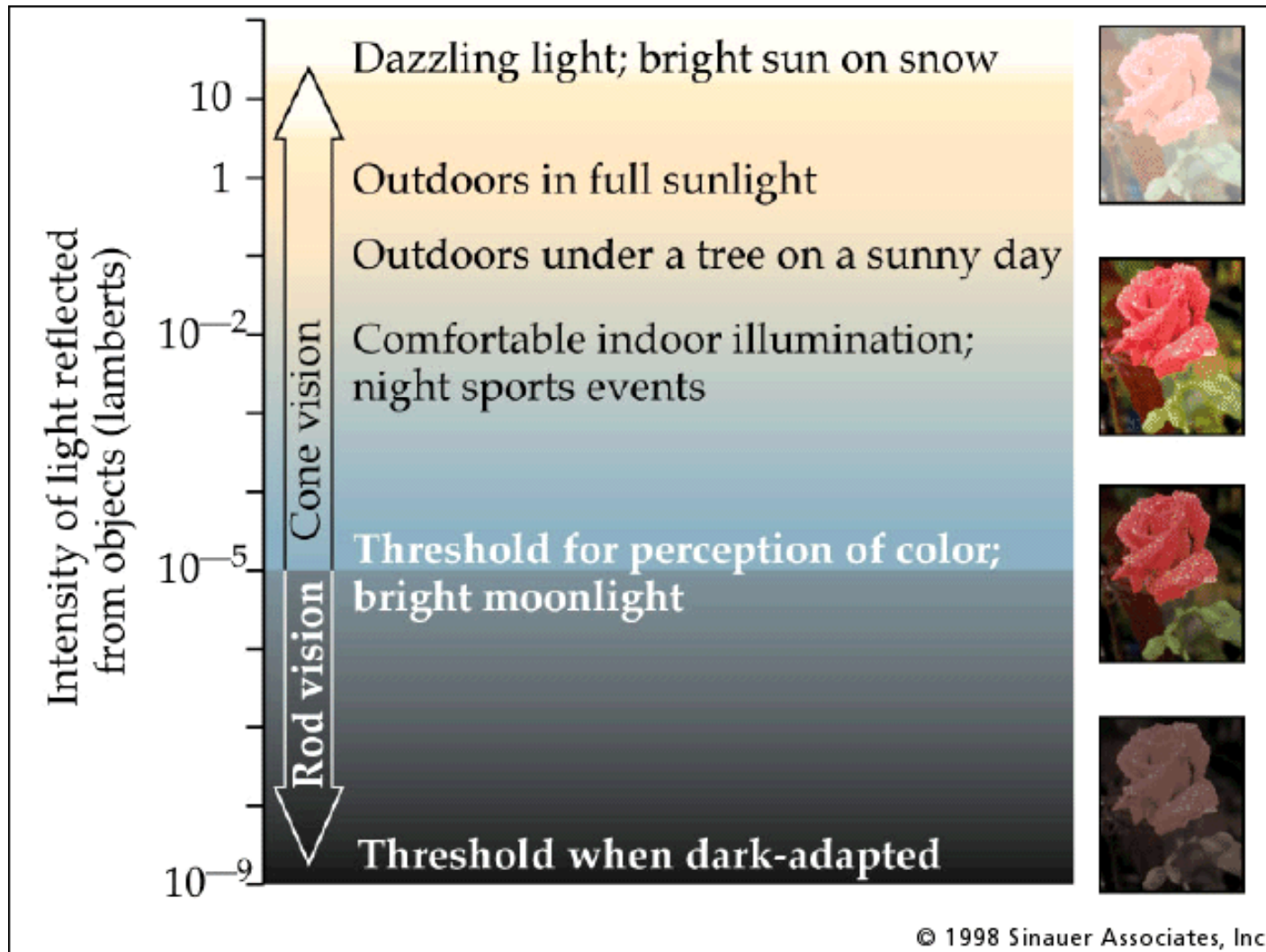


- 视杆体 (Rods): 细长而薄, 数量上约7500万 - 15000万, 分布在视网膜表面。没有彩色感觉, 在低照度下感光敏感。
- 视锥体 (Cones): 结构上短而粗, 数量少, 约600 - 700万, 主要位于中央凹, 对颜色灵敏度高, 光灵敏度较低, 其响应光亮度范围比视杆体要高5 ~ 6个数量级。

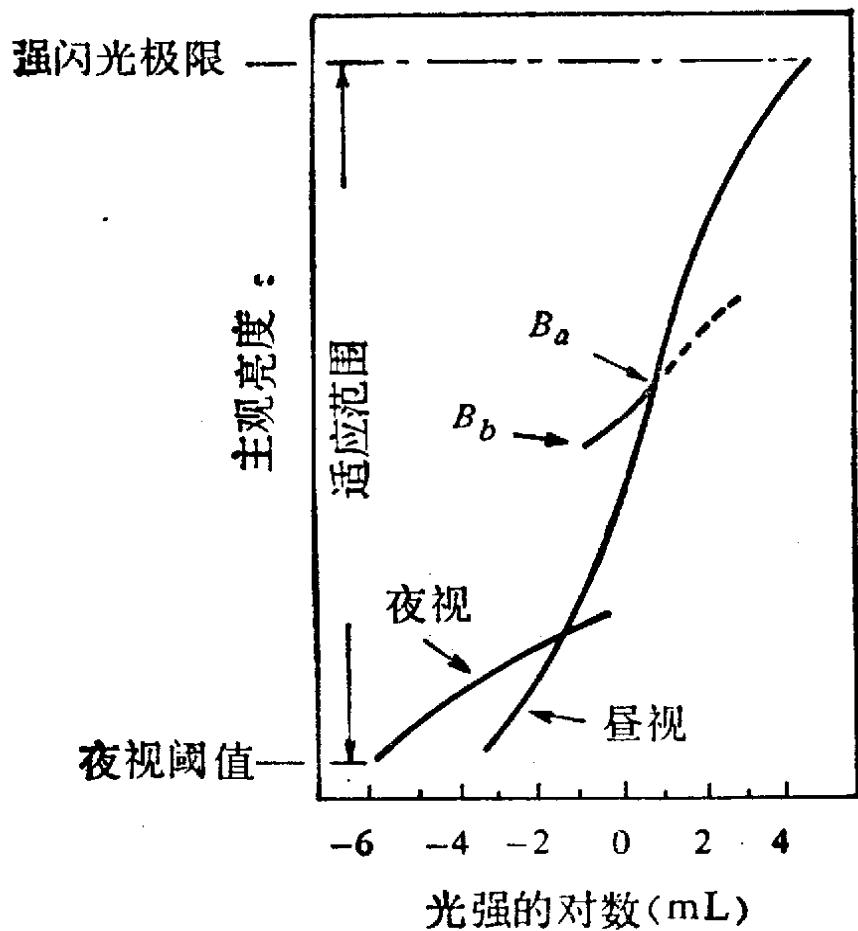
视杆体和视锥体分布



视杆体和视锥体敏感性



视觉现象:亮度适应能力



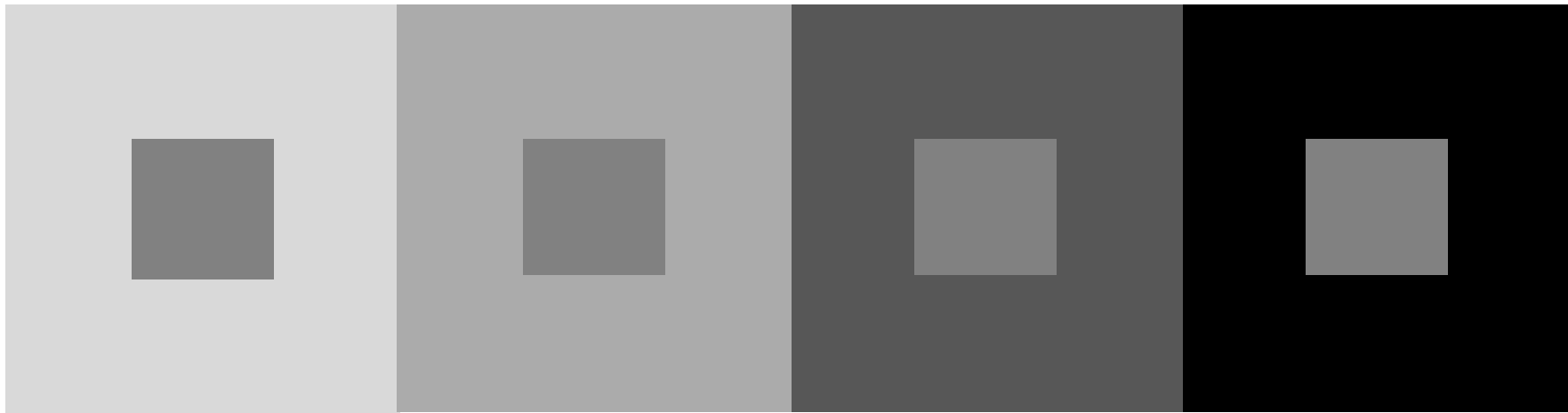
- 人能适应亮度的范围从暗视阈值到强闪光之间的光强度差别约为 10^{10} 级。
- 实验证据表明 **主观亮度 (subjective brightness)** 是进入眼内的光强度的对数函数。
- 人眼在某一时刻能感受到的主观亮度范围是以此适应级为中心的一个小范围
- 在交点以上，主观感觉亮度是更亮，而在交点以下，主观感觉是更暗

视觉现象:亮度适应能力

- 明亮→较暗→现象？
 - ✓ 逐渐能够看清物体→暗光适应(20~30s)
- 较暗→明亮→现象？
 - ✓ 逐渐能够看清物体→亮光适应(1~2s)



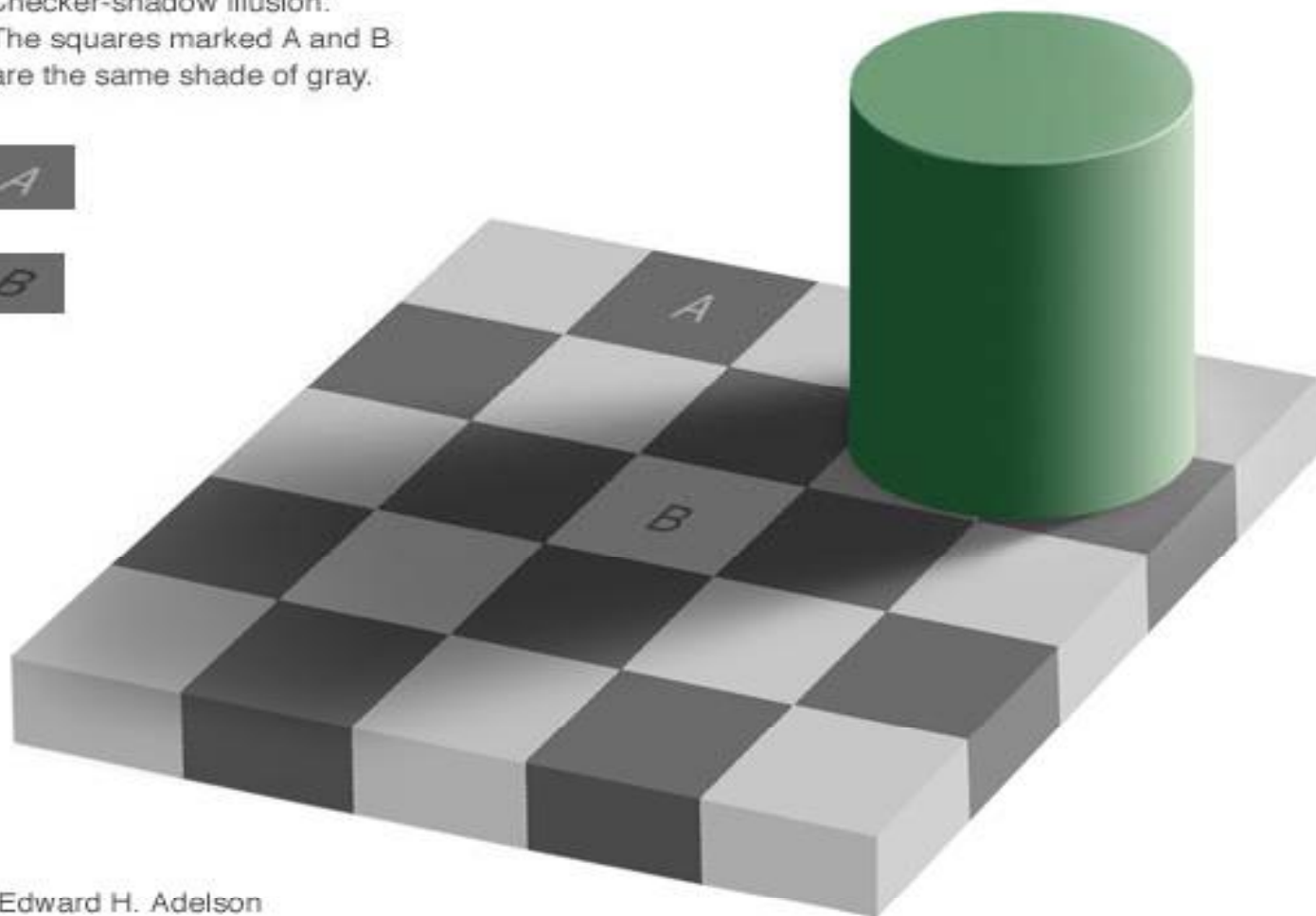
视觉现象:同时对比度



- 背景灰度：从明亮到黑暗
- 小方块那个暗？？？
 - 灰度相同

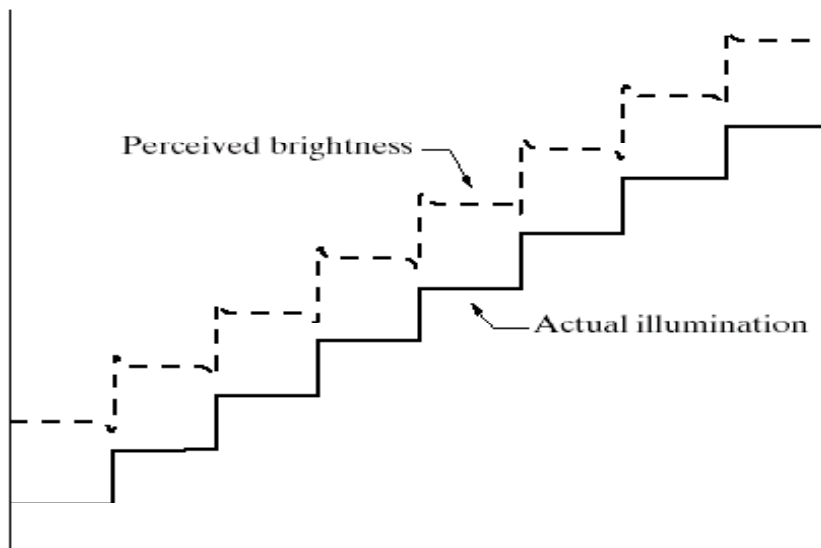
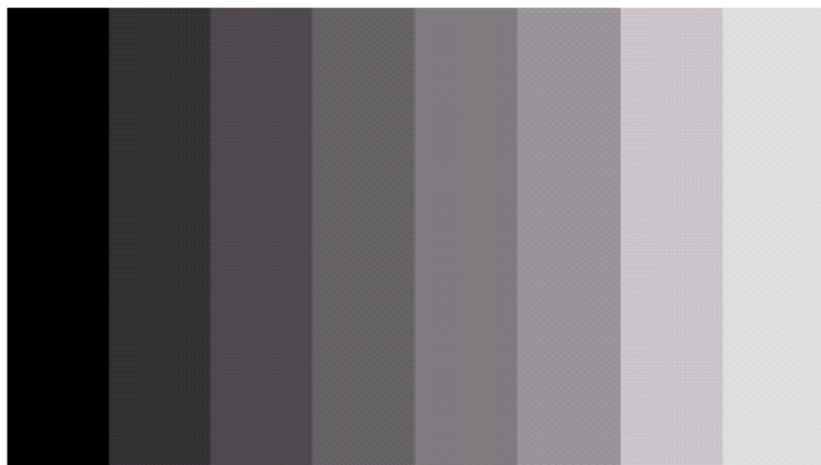
其他光照错觉

Checker-shadow illusion:
The squares marked A and B
are the same shade of gray.



Edward H. Adelson

视觉现象: Mach带



a
b

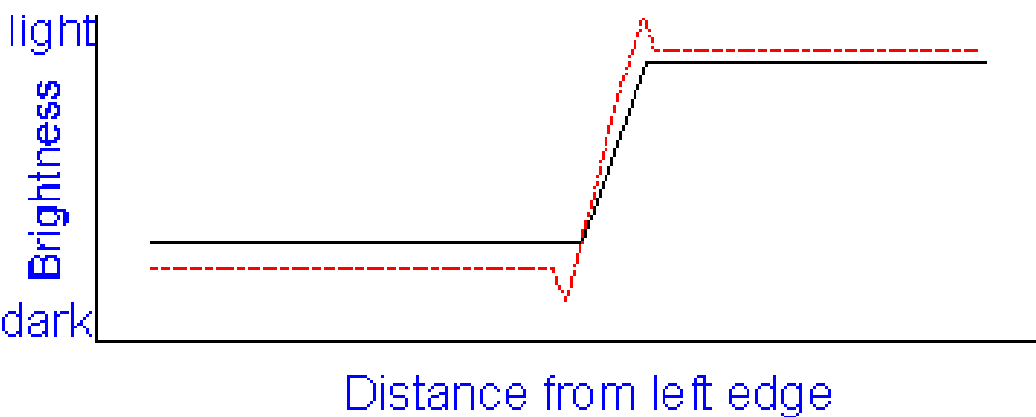
FIGURE 2.7

(a) An example showing that perceived brightness is not a simple function of intensity. The relative vertical positions between the two profiles in (b) have no special significance; they were chosen for clarity.

视觉现象: Mach带

Mach在1865年讨论了“Mach带”现象

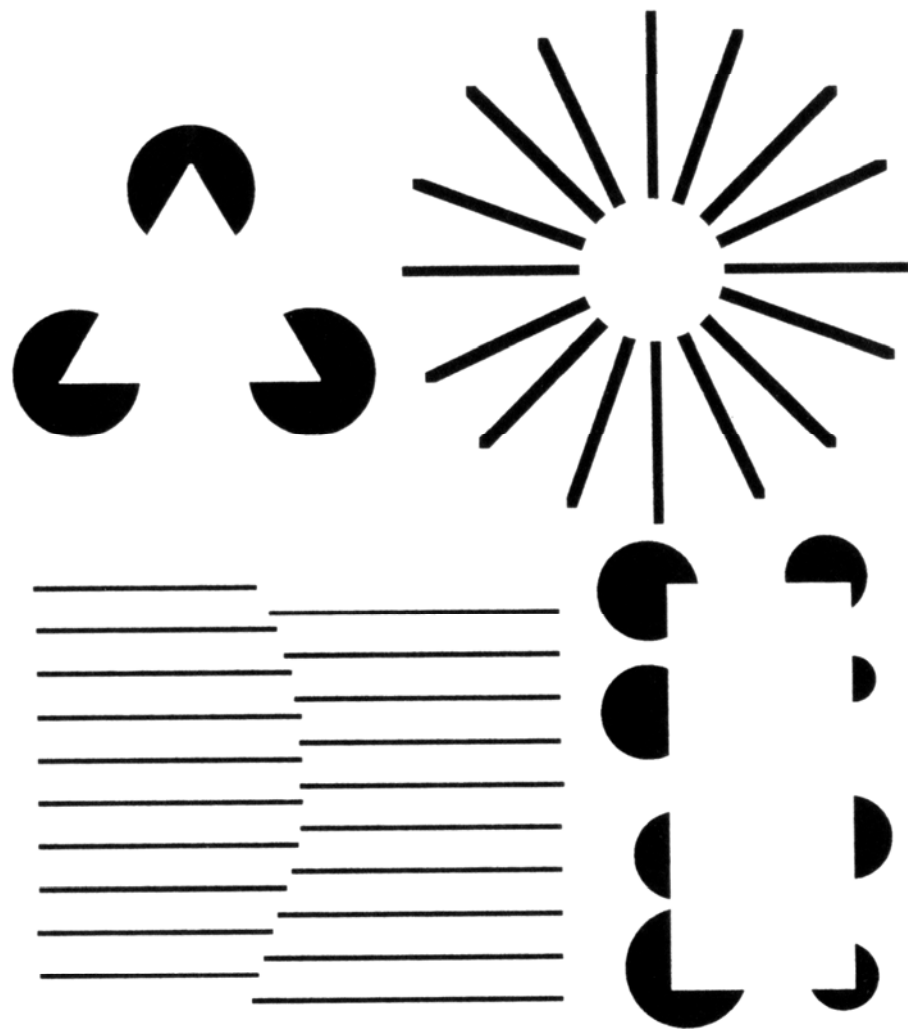
- 一条有均匀黑的区域和均匀白的区域,
- 每级阶跃的灰度差相同
- 人们在观察现象: 每个条带内灰度是不均匀的
- 每级阶梯的右边比左边更暗



视觉的明亮程度并不是亮度的单调函数



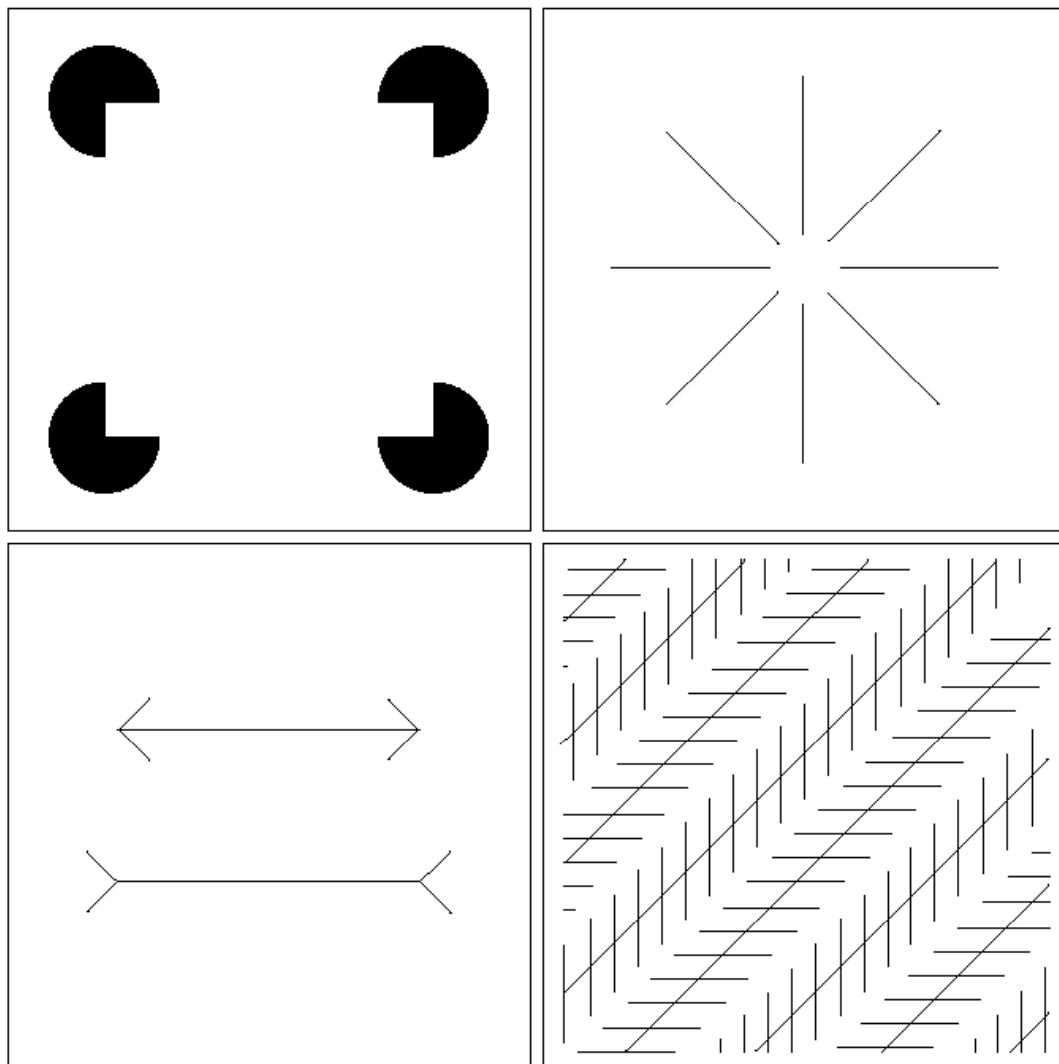
视觉现象：主观轮廓



视觉现象：主观轮廓

a b
c d

FIGURE 2.9 Some well-known optical illusions.

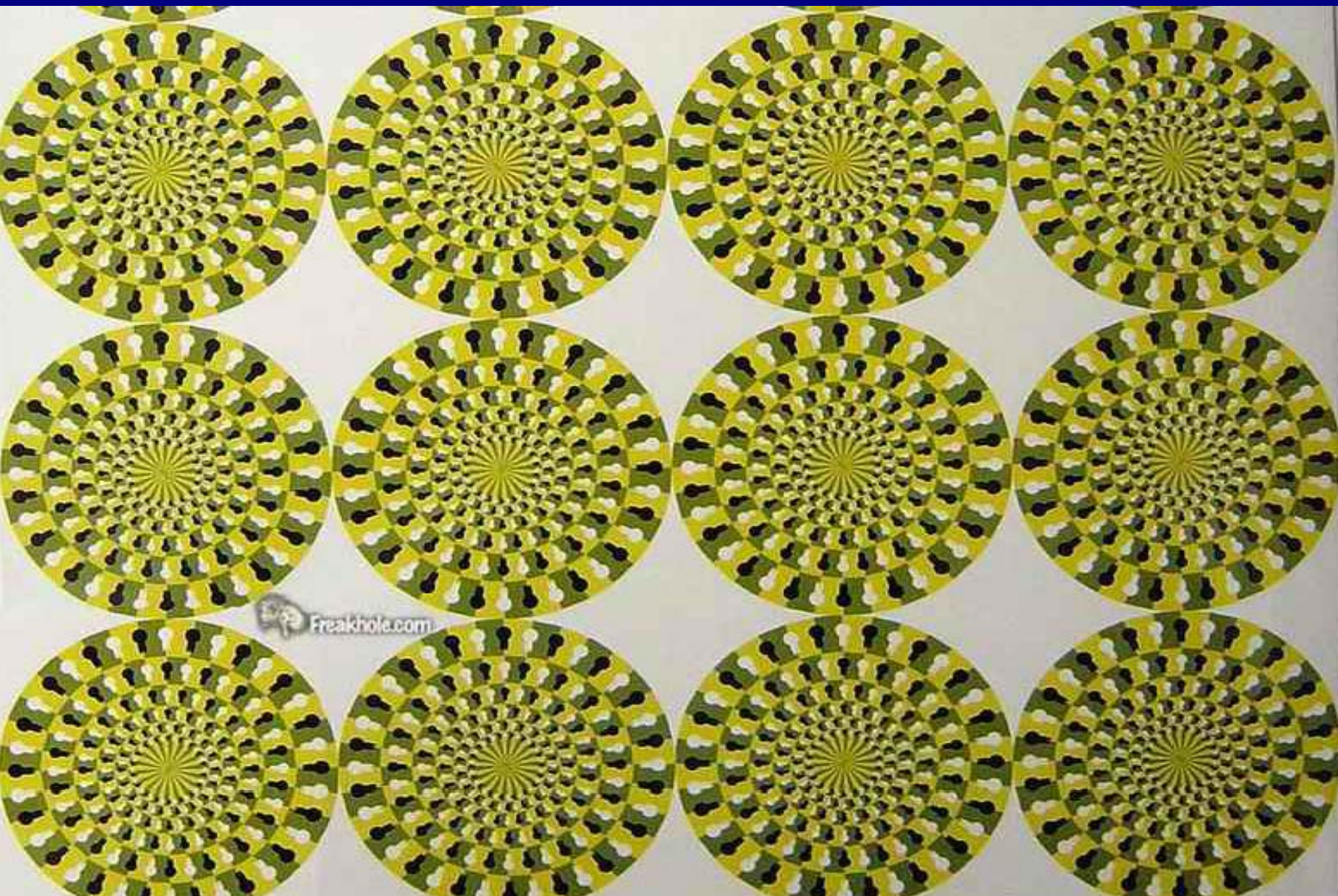


视觉现象：空间错觉





错觉



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



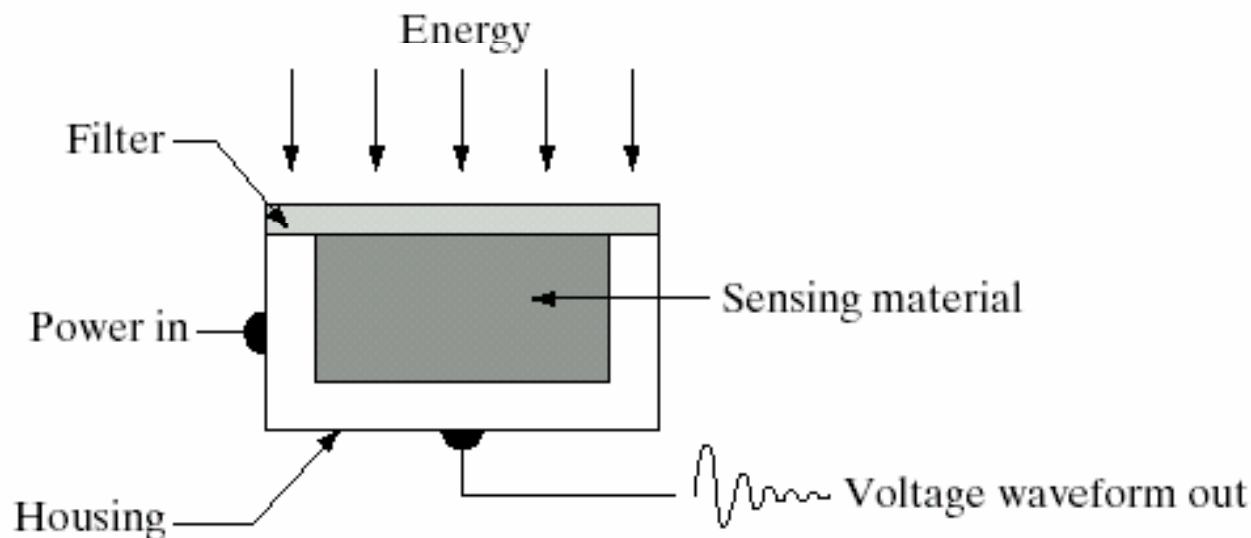
目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



单元传感器

- 如光敏二极管等



通过x-y方向二维扫描，形成二维图像。

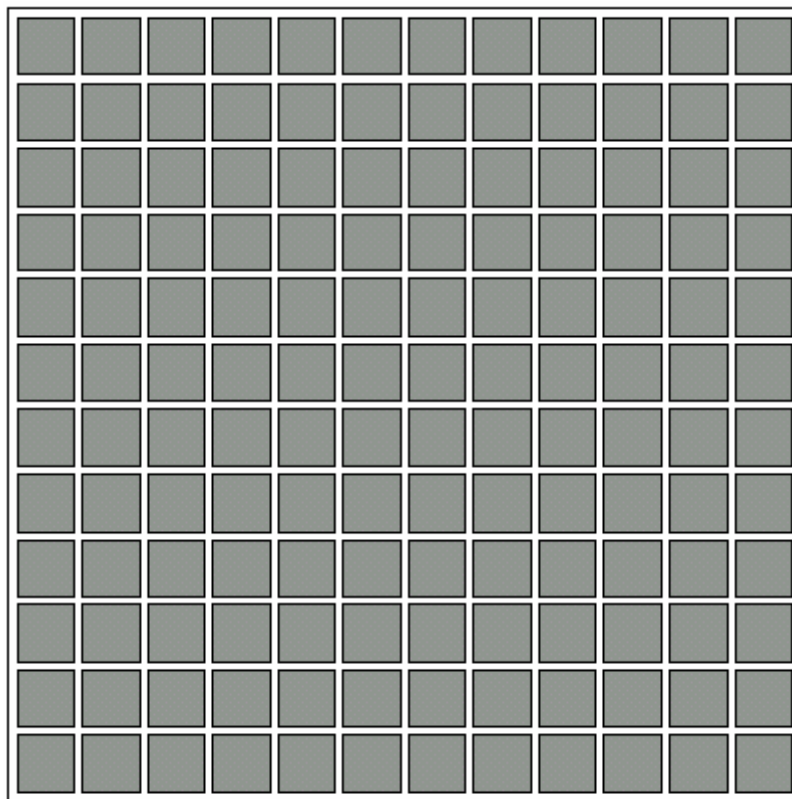
线传感器

- 如线CCD、平板扫描仪等。只需一维扫描，就能形成二维图像



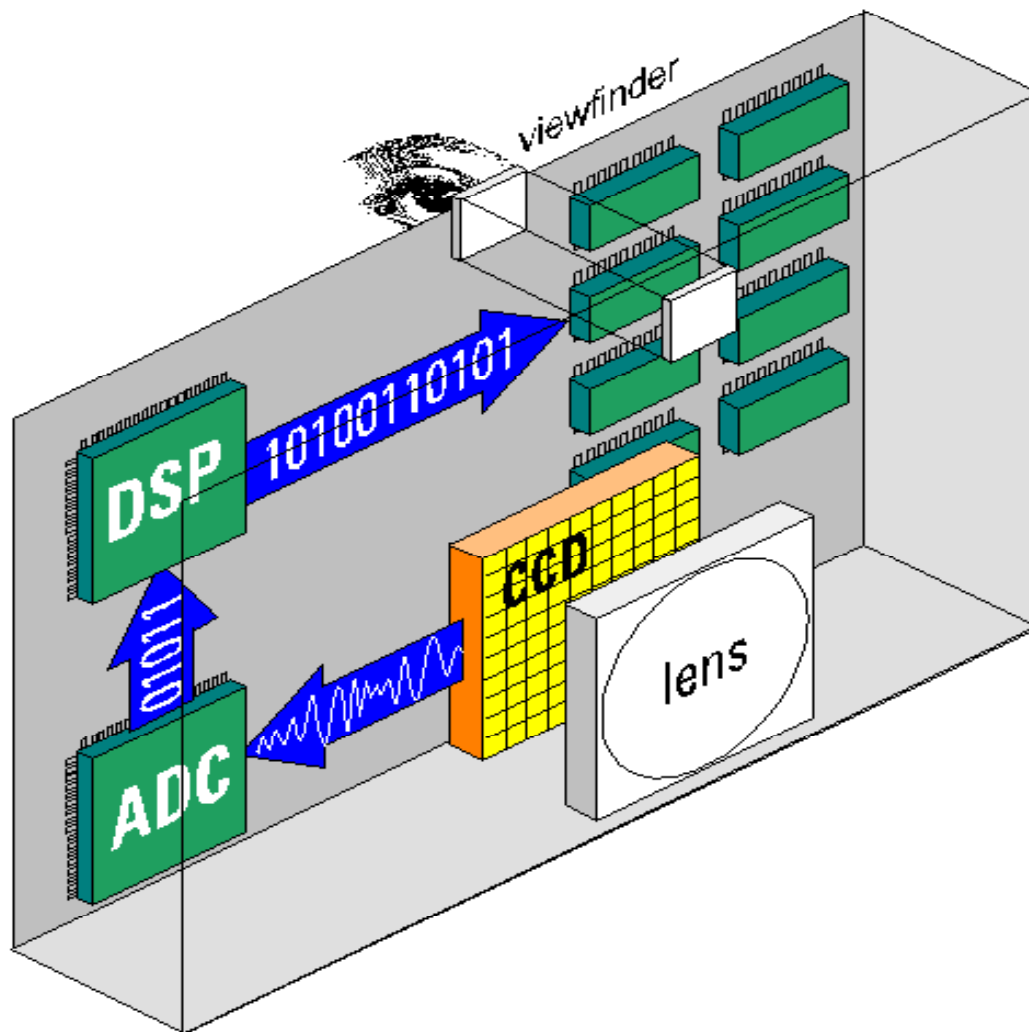
阵列传感器

- 如面CCD等。不需要扫描，就能形成二维图像



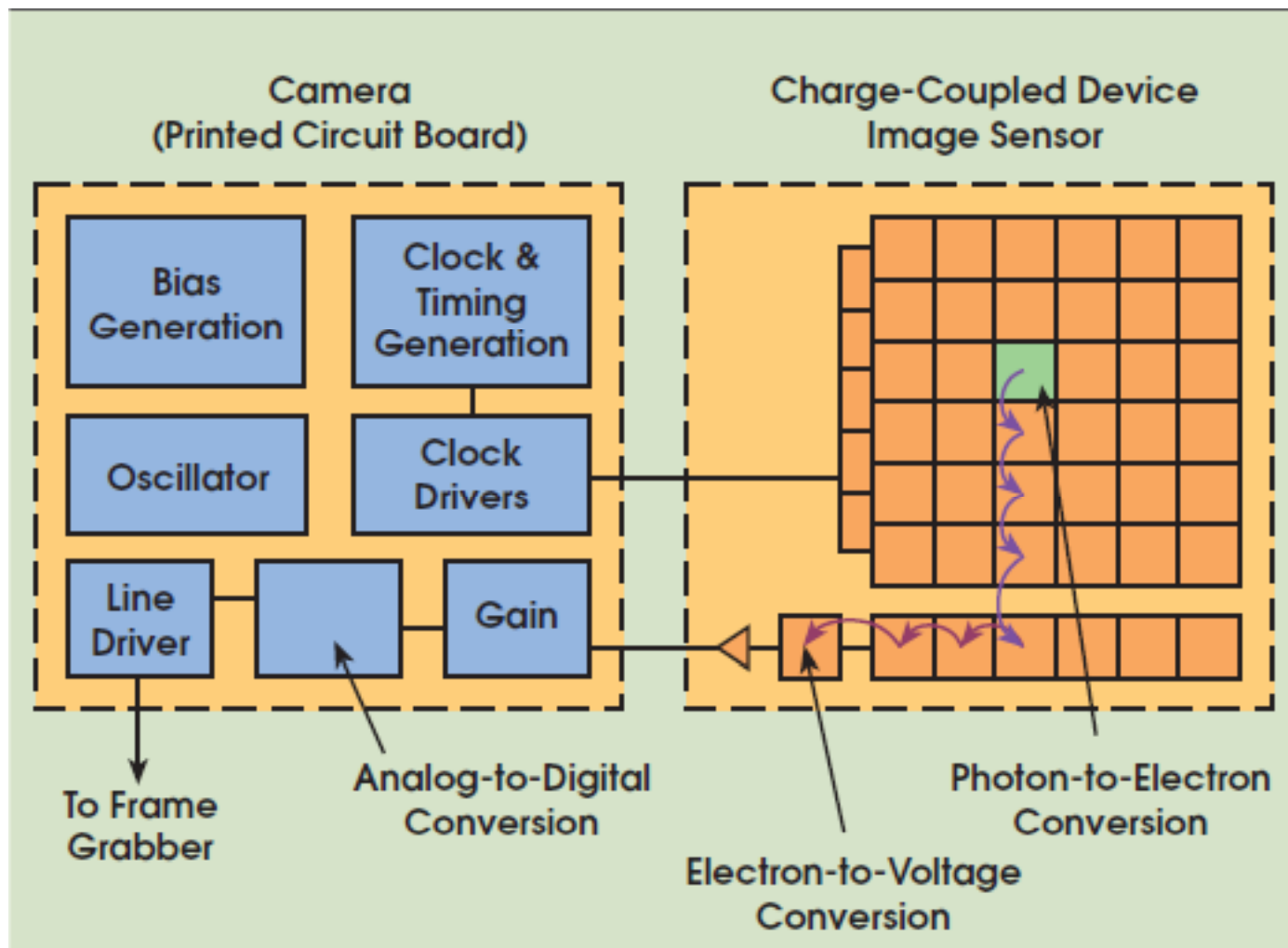
数字摄像机

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1998 The Computer Language Co. Inc.



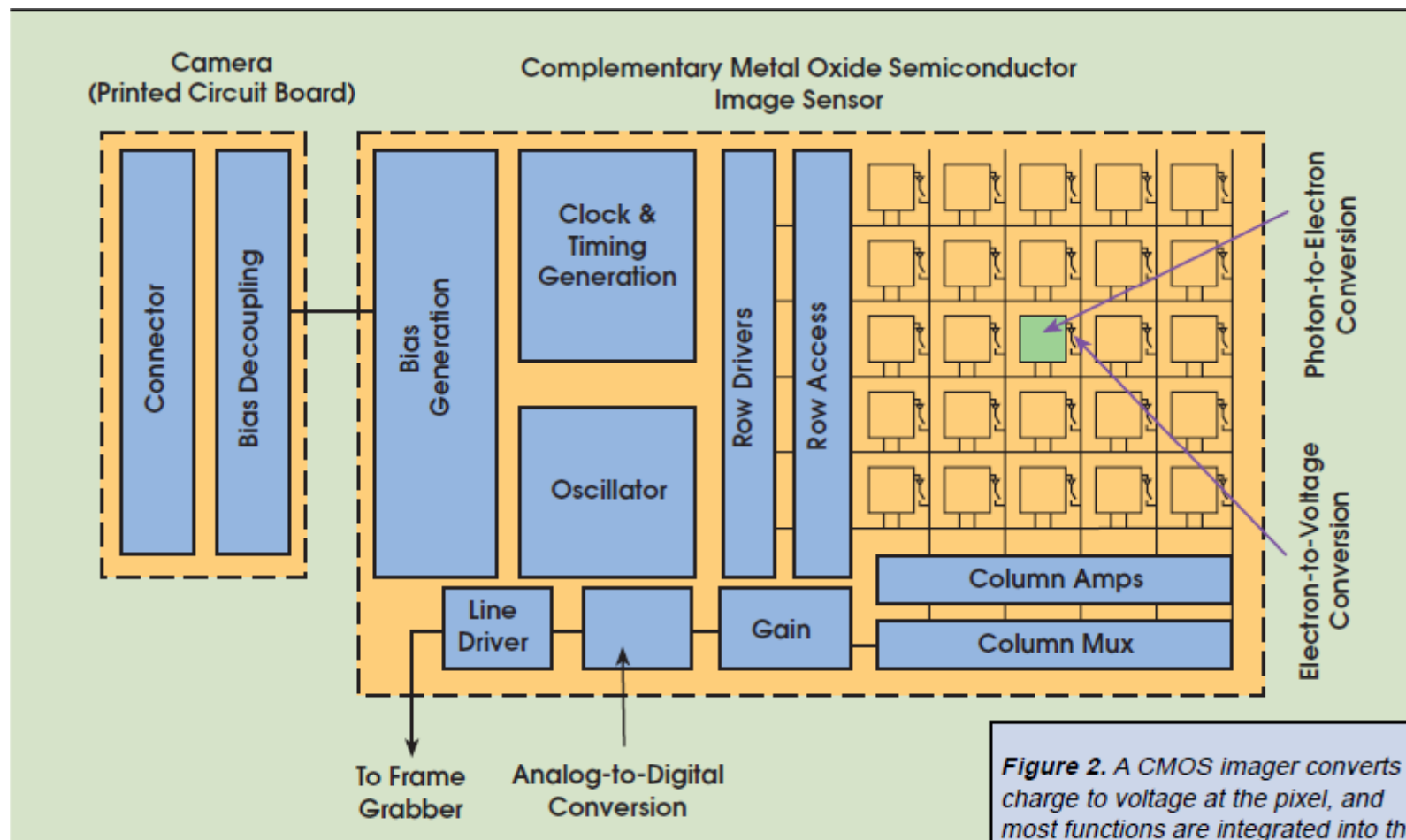
Charge Coupled Device

- CCD, 电荷耦合器件

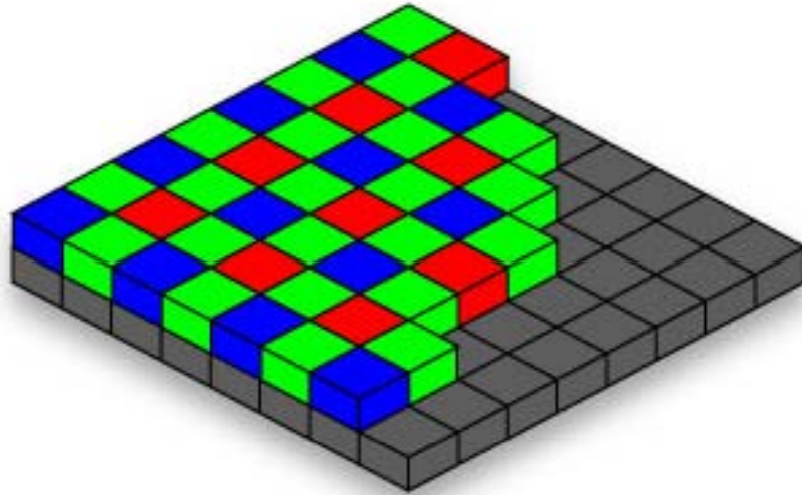


Complementary Metal Oxide Semiconductor

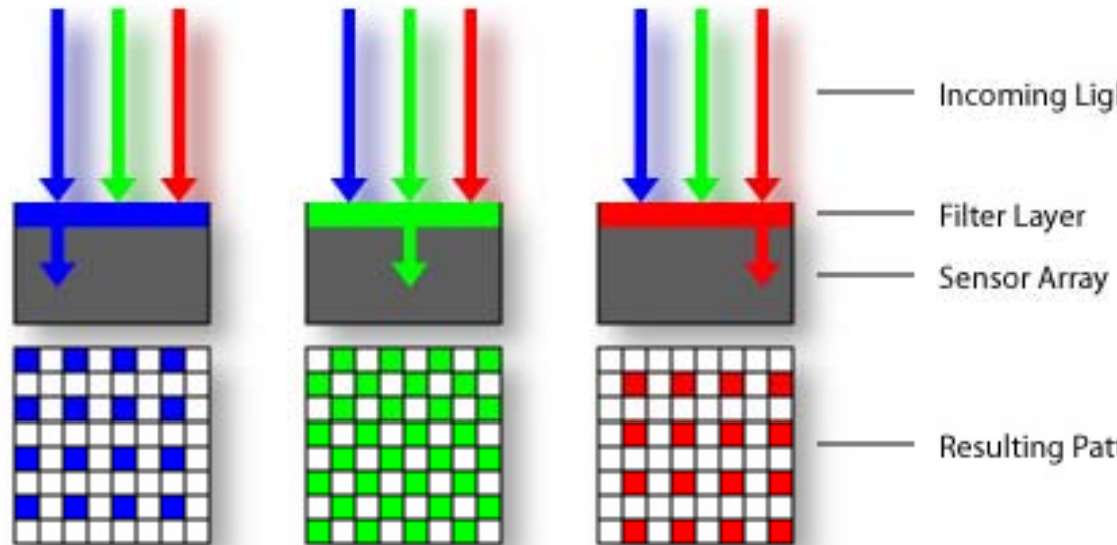
- CMOS, 互补型金属氧化物半导体



Practical Color Sensing: Bayer Grid

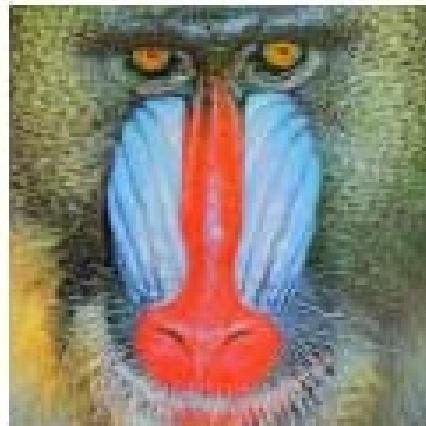
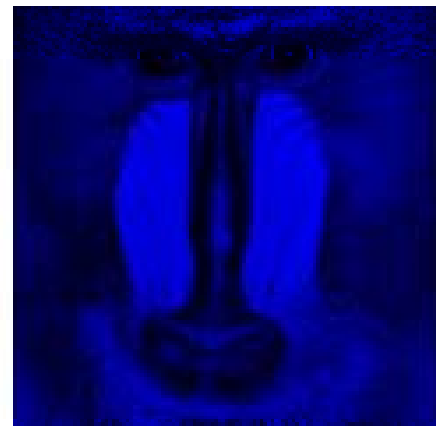
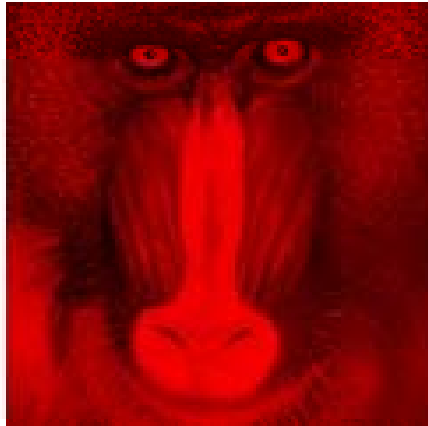


- Estimate RGB at 'G' cels from neighboring values

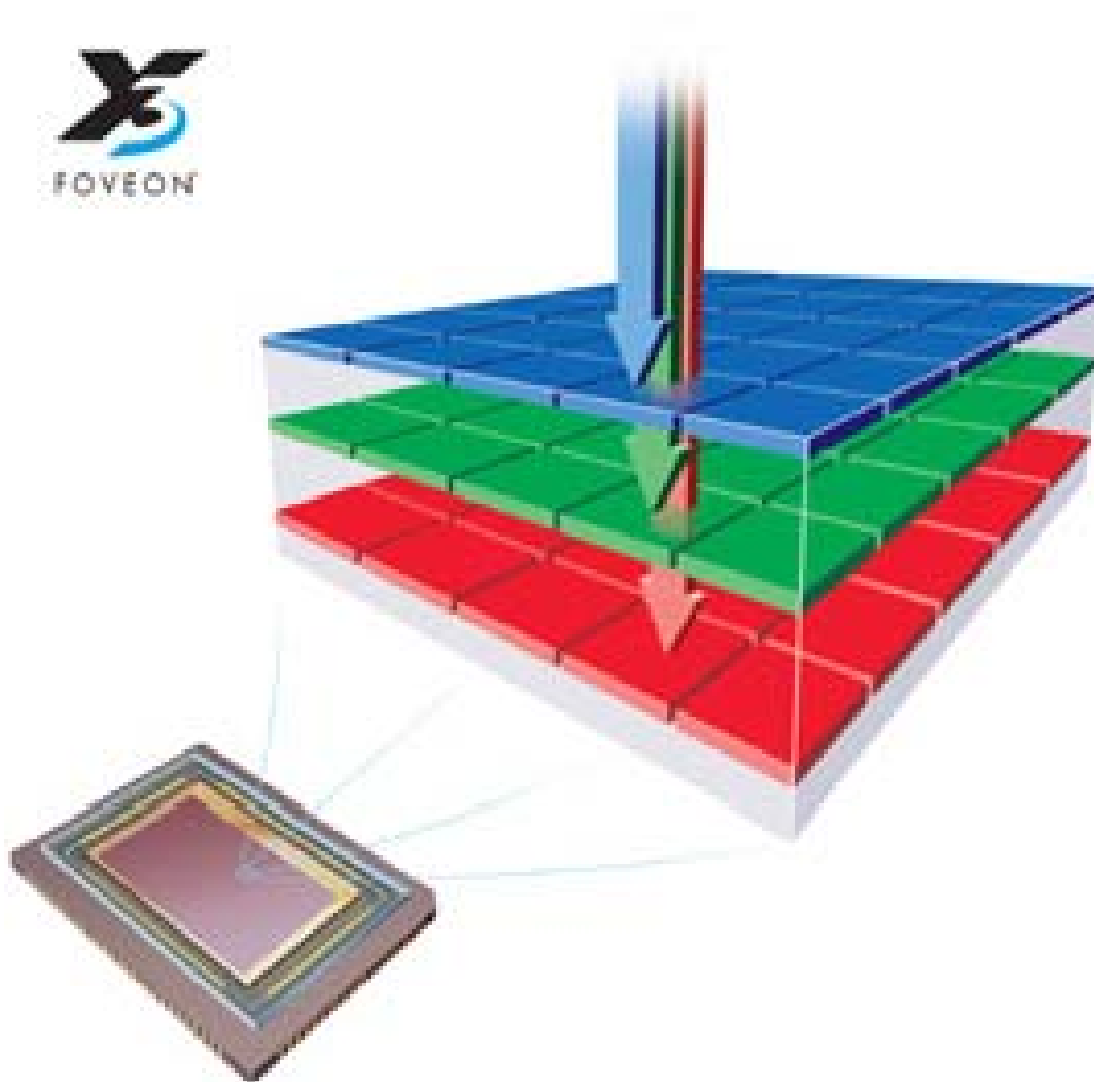


<http://www.cooldictionary.com/words/Bayer-filter.wikipedia>

彩色图像

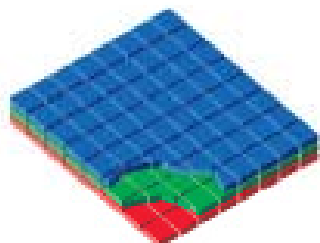


Foveon X3技术

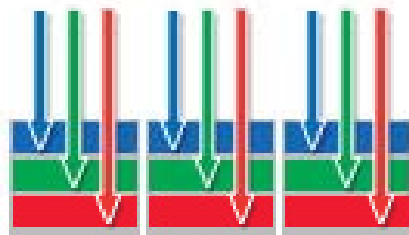


Foveon X3技术

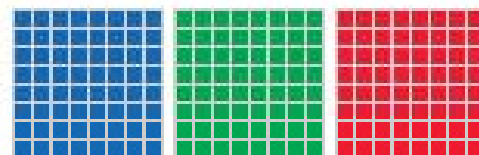
Foveon X3 Capture



Foveon X3图像感光器具有三层埋藏在硅片的测光元素。

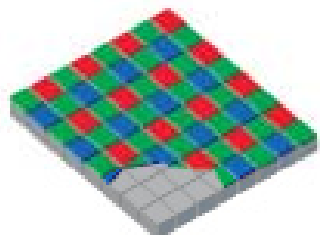


由于硅片在不同深度吸收不同波长的光线，每一层摄取不同的颜色。

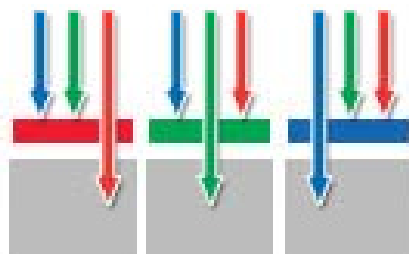


因此Foveon X3图像感光器在每个像素摄取红绿蓝光。

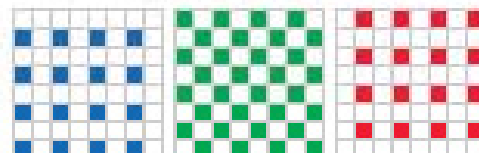
Mosaic Capture



传统的图像感光器的单层感光元素上覆盖一层砖块状的彩色过滤器。



在每个像素过滤器只让某个波长的光线（红绿蓝）通过，每个像素摄取单一颜色。



因此传统砖块式感光器摄取50%的绿色，25%的红色和蓝色。

用单个传感器获取图像

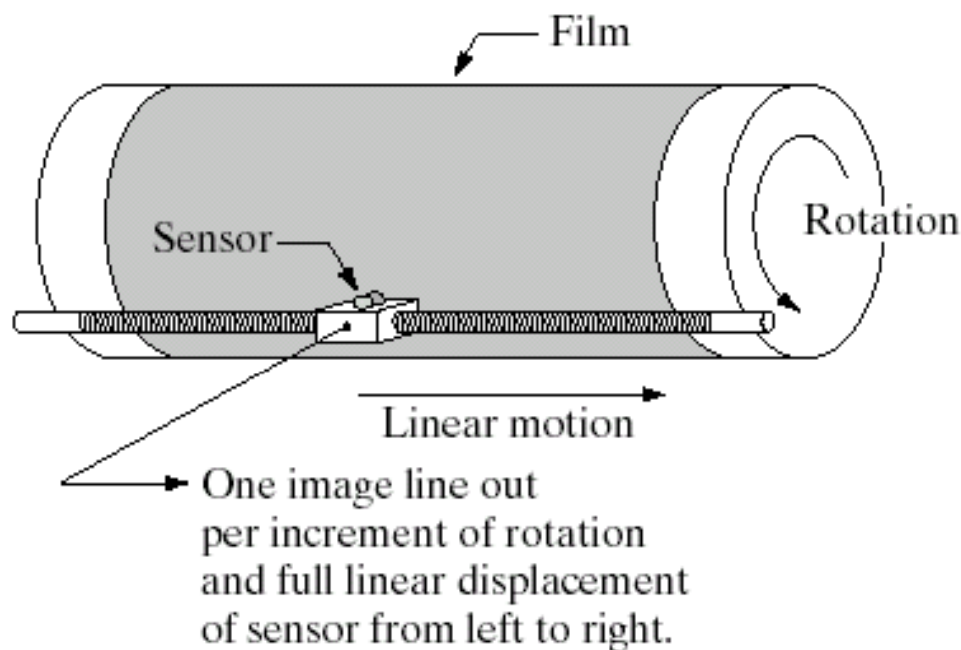
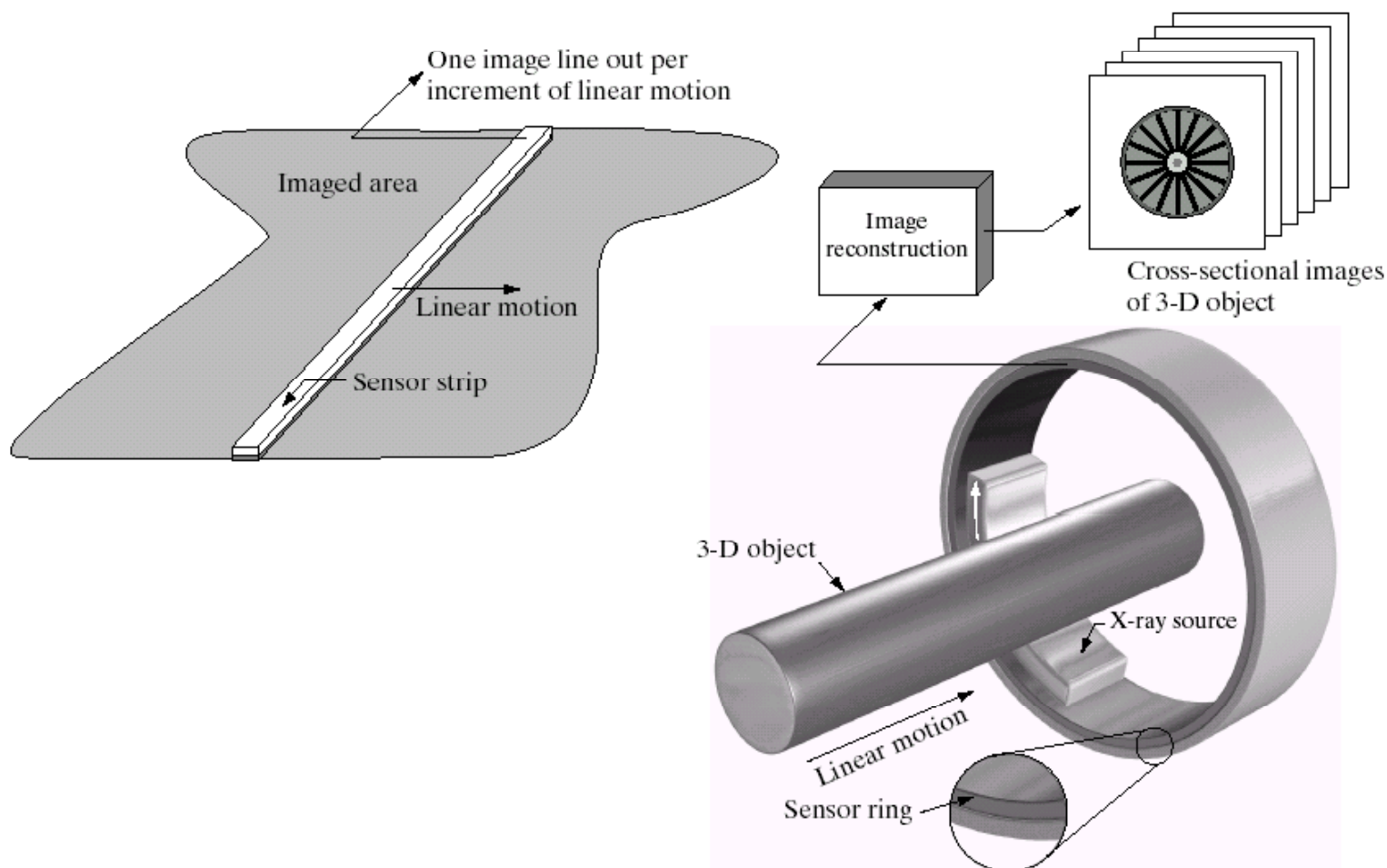


FIGURE 2.13 Combining a single sensor with motion to generate a 2-D image.

用线传感器获取图像



a b

FIGURE 2.14 (a) Image acquisition using a linear sensor strip. (b) Image acquisition using a circular sensor strip.



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



目录

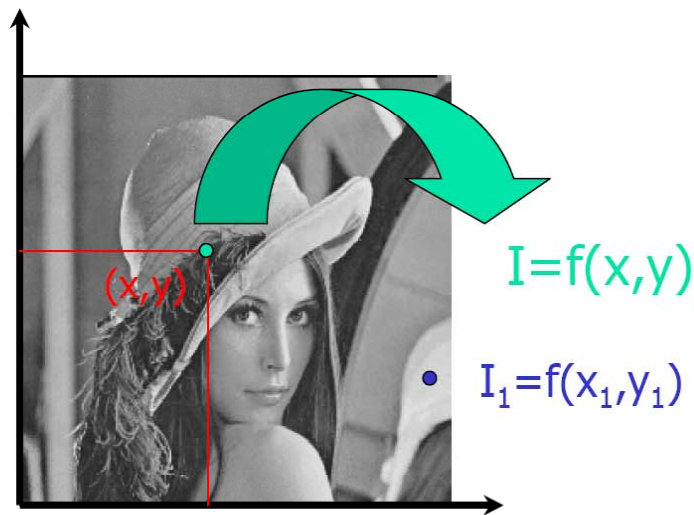
- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像表示
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



什么是图像

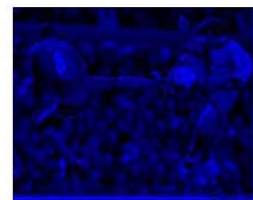
- 图像可以用一个定义在平面坐标上的二维函数 $I=f(x,y)$ 来表示
 - ✓ 定义域 (x,y) 是平面坐标,
 - ✓ 值域 $I=f(x,y)$ 是点 (x,y) 的亮度或彩色值
- 一般地说, 较高的亮度用较大的函数值来表示。

$I > I_1$? or $I_1 < I$?

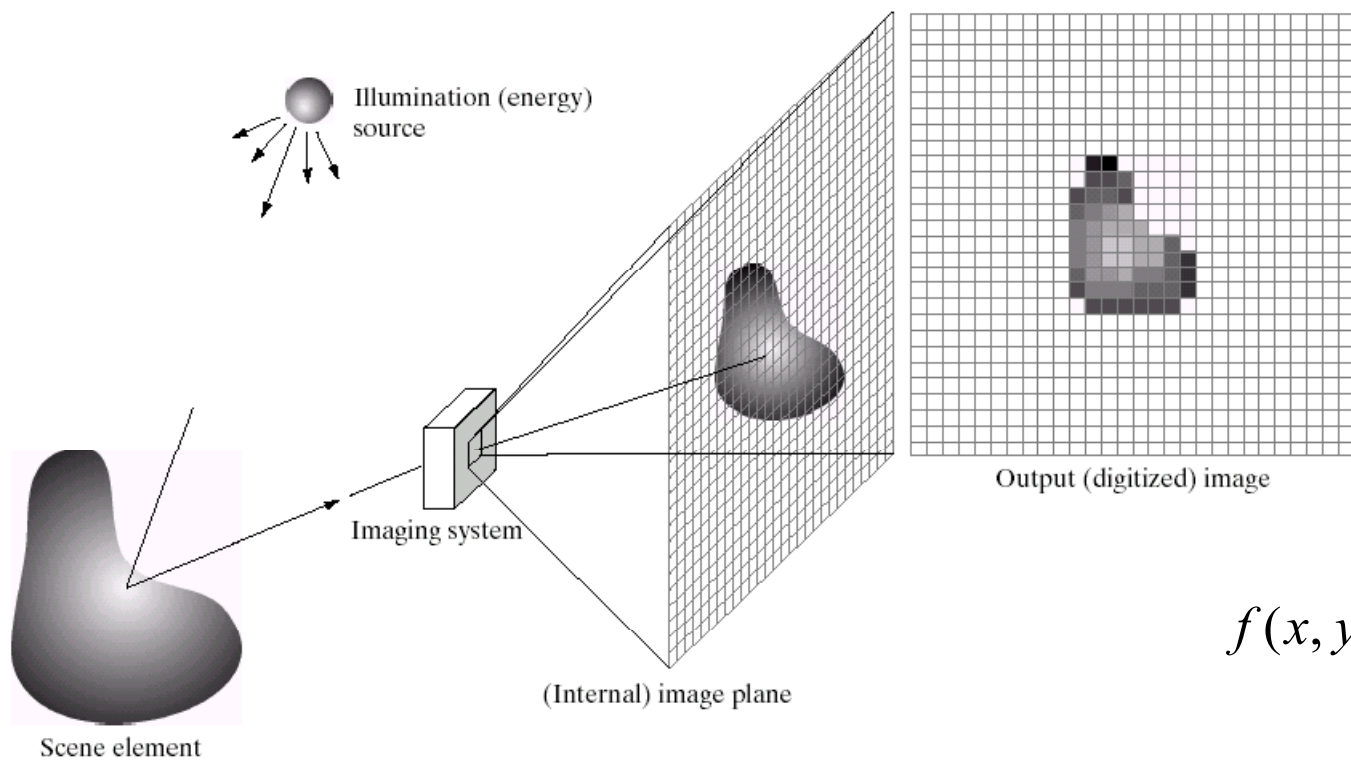


什么是图像

- 灰度图像的值域 I 是一个一元标量: $I=\text{greylevel}$
- 彩色图像的值域 I 是一个多元向量: 如 $I=(r,g,b)$



简单成像模型



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

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

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

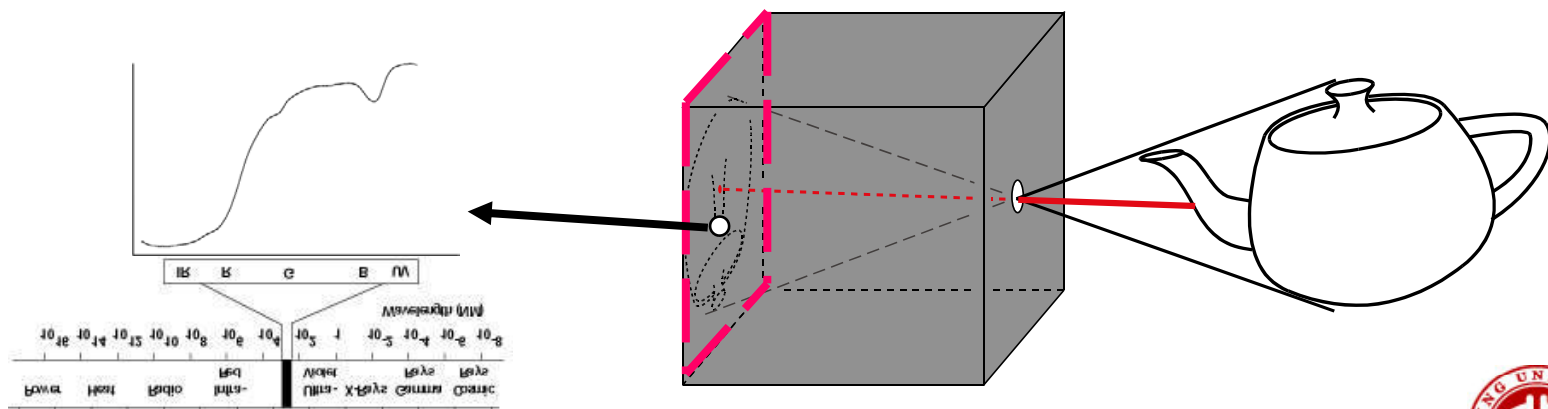
$$0 < r(x, y) < 1$$

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.

图像的连续性

- 理想图像本身是连续的
 - 对于空间上的连续性，例如是二维成像平面上的点，可以用平面坐标 (x, y) 表示
 - 对于时间上的连续性，可以使用时刻值 t 表示
 - 对于颜色值上的连续性，可以使用光的波长 λ 表示



图像的连续性

- 因此图像可以表述为：在 t 时刻，在成像平面上点 (x, y) 所接收到波长为 λ 的光能量的强度
- $I = f(x, y, \lambda, t)$
 - 当 dI/dt 不等于0，即图像随时间发生变化，称图像为运动图像
 - 而如果 dI/dt 恒等于0，则图像不随时间变化，称图像为静止图像



图像的连续性

- $I=f(x, y, \lambda)$ 表示一幅图像，如果对任意的坐标 (x, y) ，都有 $dI/d\lambda=0$ ，则 I 是一幅灰度图像，图像中每点上不同波长的光的能量是一样的



图像数字化

- 图像数字化就是把理想图像中的各连续量按照某种方式转换成为离散的数字量表示
- 图像数字化的过程中往往会造成少量的信息丢失，并且是无法避免的



图像数字化

- 空间坐标离散化（等间隔采样）
- 时间上只取离散时刻（等间隔采样）
- 颜色值上取有限个值（动态范围采样）



采样和量化过程

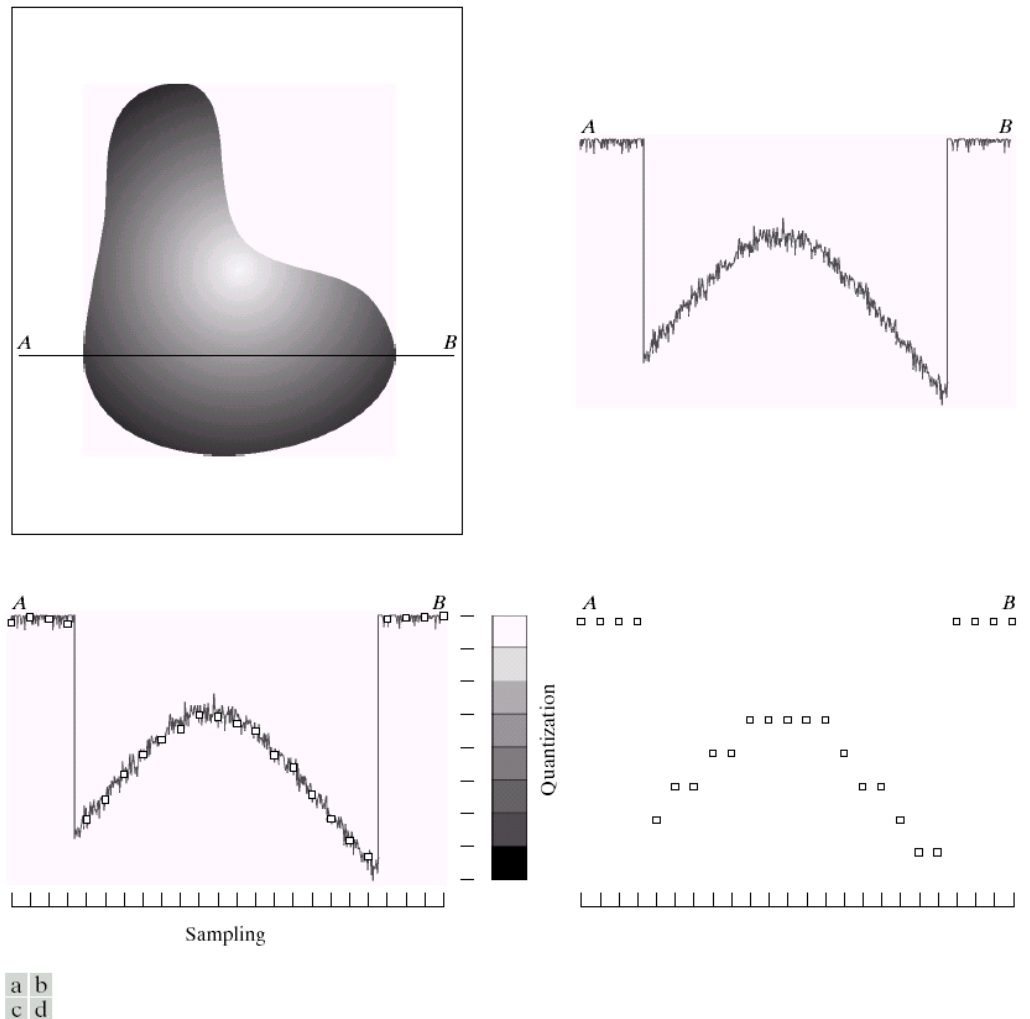
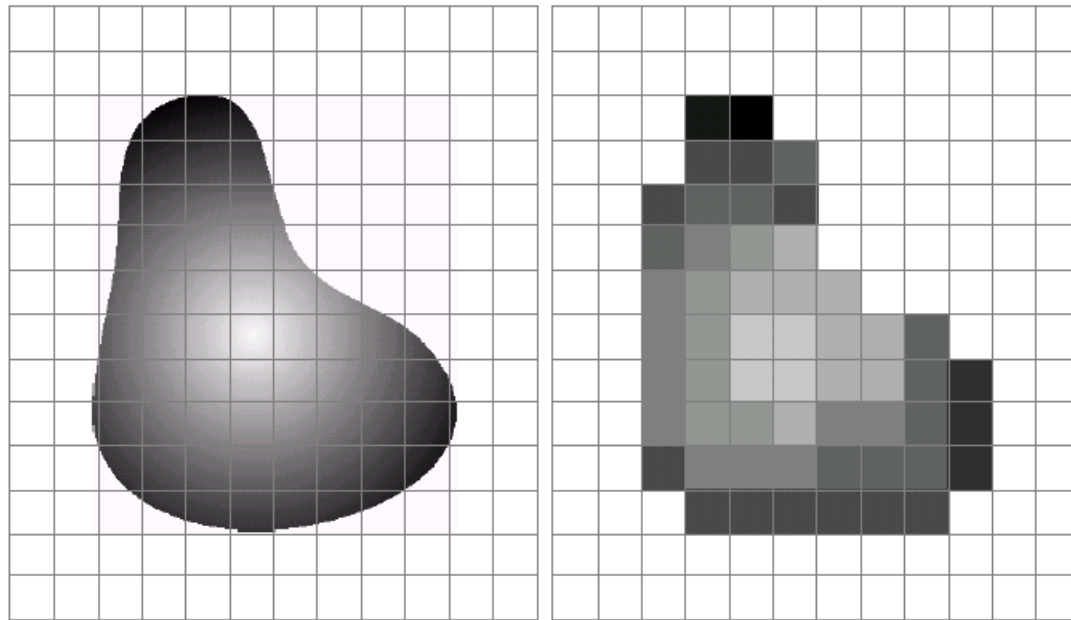


FIGURE 2.16 Generating a digital image. (a) Continuous image. (b) A scan line from *A* to *B* in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line.

采样和量化结果



a b

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

图像数字化

- 一个图像数字化器必须能够把图像划分为若干图像元素（像素），并给出他们的地址，能够度量每一个像素的强度（或灰度），并把连续的度量结果化为整数，并将整数结果存入存储设备



图像数字化

- 采样孔 (Sampling aperture): 使数字化设备能够单独观测特定位置的图像元素而不受图像其他部分的影响
- 图像扫描机构: 使采样孔按照预先确定的方式在图像上移动, 从而按顺序观测每一个像素
- 光传感器: 通过采样孔测量图像的每一个像素的亮度。通常是一个将光强度转换为电压或者电流的变换器



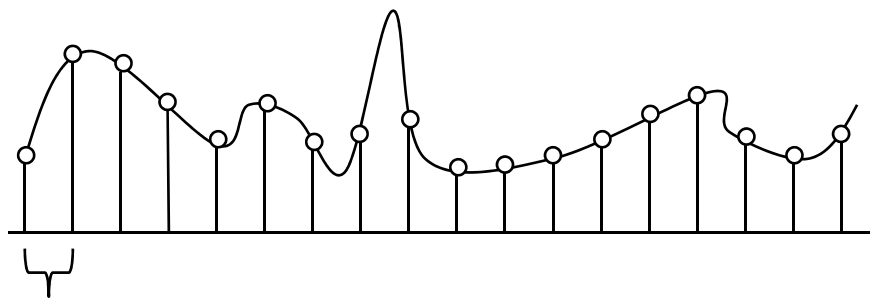
图像数字化

- 量化器：将传感器输出的连续量（电压、电流等）转换成为整数值，例如使用模拟/数字转换电路，量化器产生一个与输入电压或电流相对应的整数值
- 存储：采用适当图像文件格式，适当压缩算法对数字图像进行保存

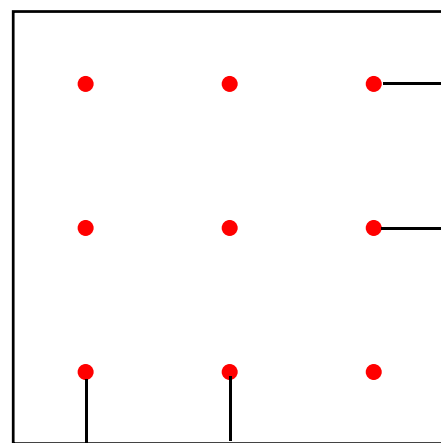


采样

- 采样：以一定频率获取某连续变化的值
- 采样间隔：采样点之间的间隔
- 采样孔径：每个采样点的孔径形状及大小



Δh : 采样间隔

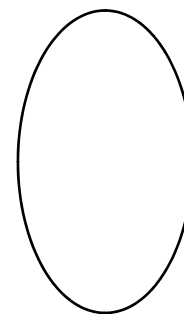
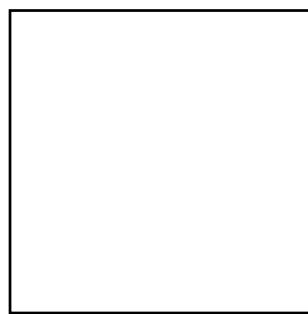
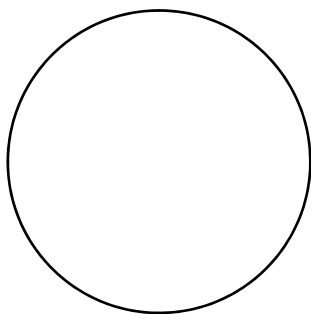


Δy
∴ 垂直采样间隔

Δx : 水平采样间隔

采样

- 采样孔径：每个采样点的孔径形状及大小



采样

- 选择合适的采样频率 f
 - ✓ $f=1/\Delta h$ 其中 Δh 为采样间隔
- 采样定理：只要采样频率大于被采样信号/函数频率的两倍，即可恢复原信号/函数
 - ✓ $f \geq 2v$ ， v 为原信号的频率， f 为采样频率



采样

- 生活中的电风扇高速旋转时，我们会发现扇叶会向后转
 - ✓这是因为我们人眼的视觉停留（0.1秒）所对应的采样频率远低于风扇旋转的频率



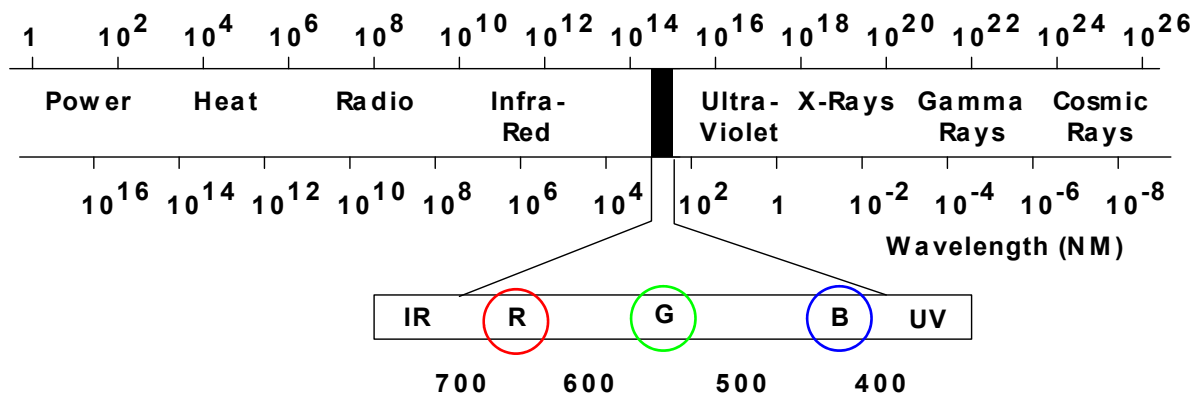
颜色量化

- 将连续能量谱离散化——RGB三基色
- 将连续能量值离散化——灰度级



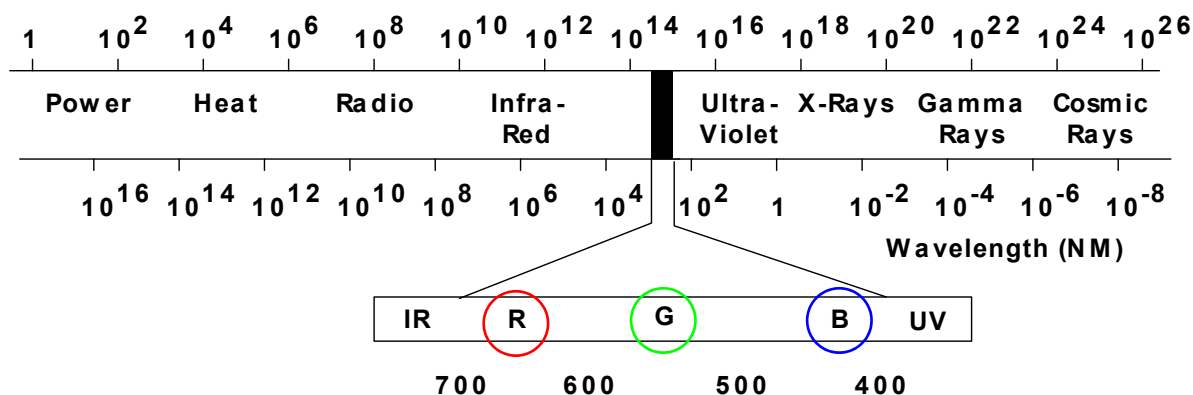
将连续能量谱离散化

- 将颜色表示为R、G、B三基色的混合，混合比例从0~1连续变化，这样就把连续频率谱分解为三个频率的基本色的线性组合



将连续能量谱离散化

- 将颜色表示为R、G、B三基色的混合，混合比例从0~1离散变化，这样就把连续频率谱分解为三个频率的基本色的有限种组合
- 常常使用一个字节，即有256个级别



量化

- 特别的，只考虑一种能量分布，即所有波长的能量相同，并将能量值离散化到有限个级别（例如256个级别）
- 此时仅表示像素的亮度，称为像素的灰度级，图像称为灰度图像



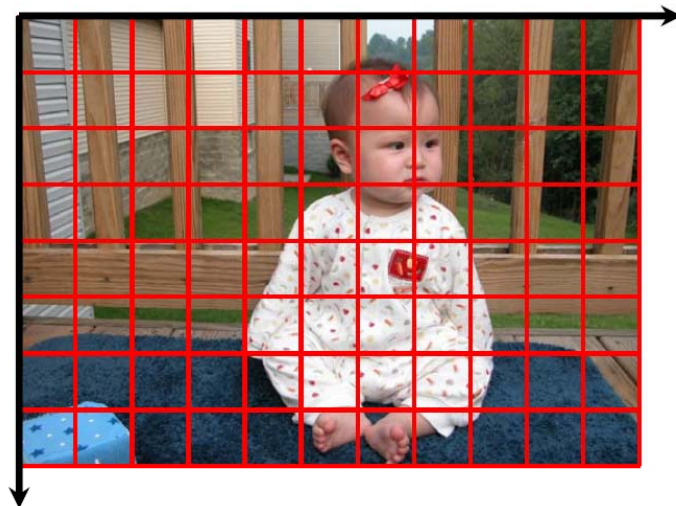
量化

- 一般来说, $G = 2^g$, g就是表示存储图像像素灰度值所需的比特位数
- 若一幅数字图像的量化灰度级数 $G=256=2^8$ 级, 灰度取值范围一般是0~255的整数, 由于用8bit就能表示灰度图像像素的灰度值, 因此常称8bit量化
- 从视觉效果来看, 采用大于或等于6比特位量化的灰度图像, 视觉上就能令人满意



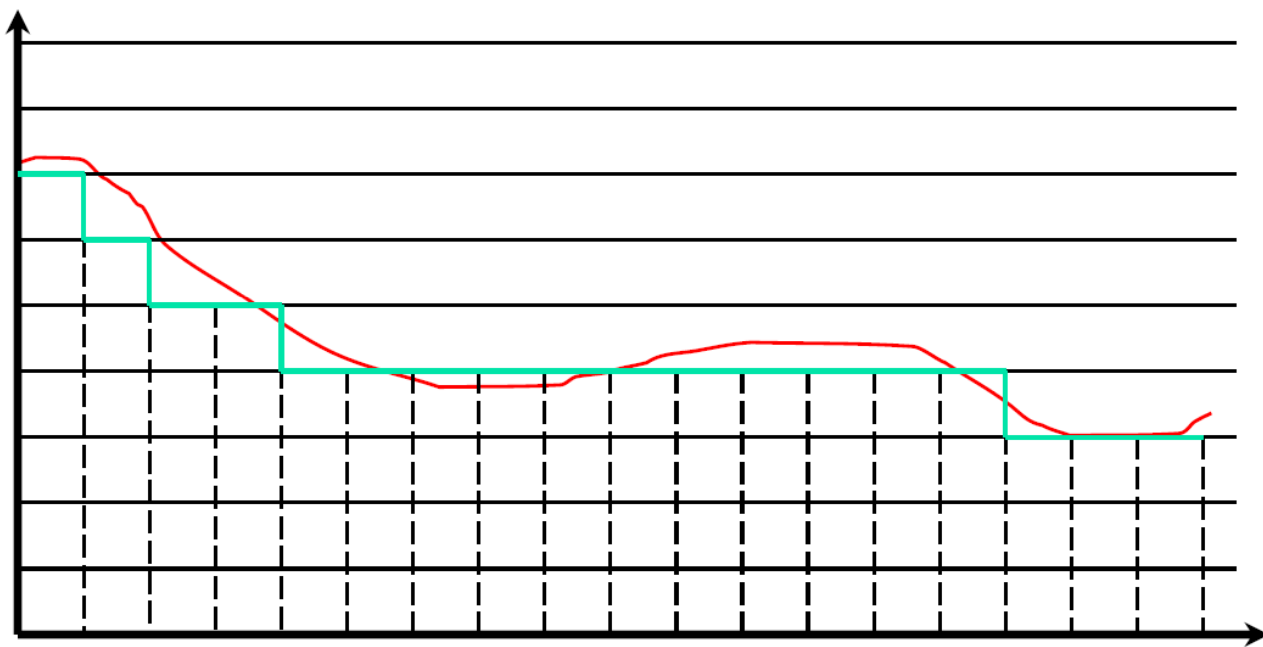
采样和量化

- 数字图像的分辨率：水平方向上的像素个数 N 和垂直方向上的像素个数 M
- 一般而言，以左上角作为数字图像坐标的



采样和量化

- 函数取值 I 的数字化被称为图像的量化
- 量化级别：可调，2，8，256...,256为常见

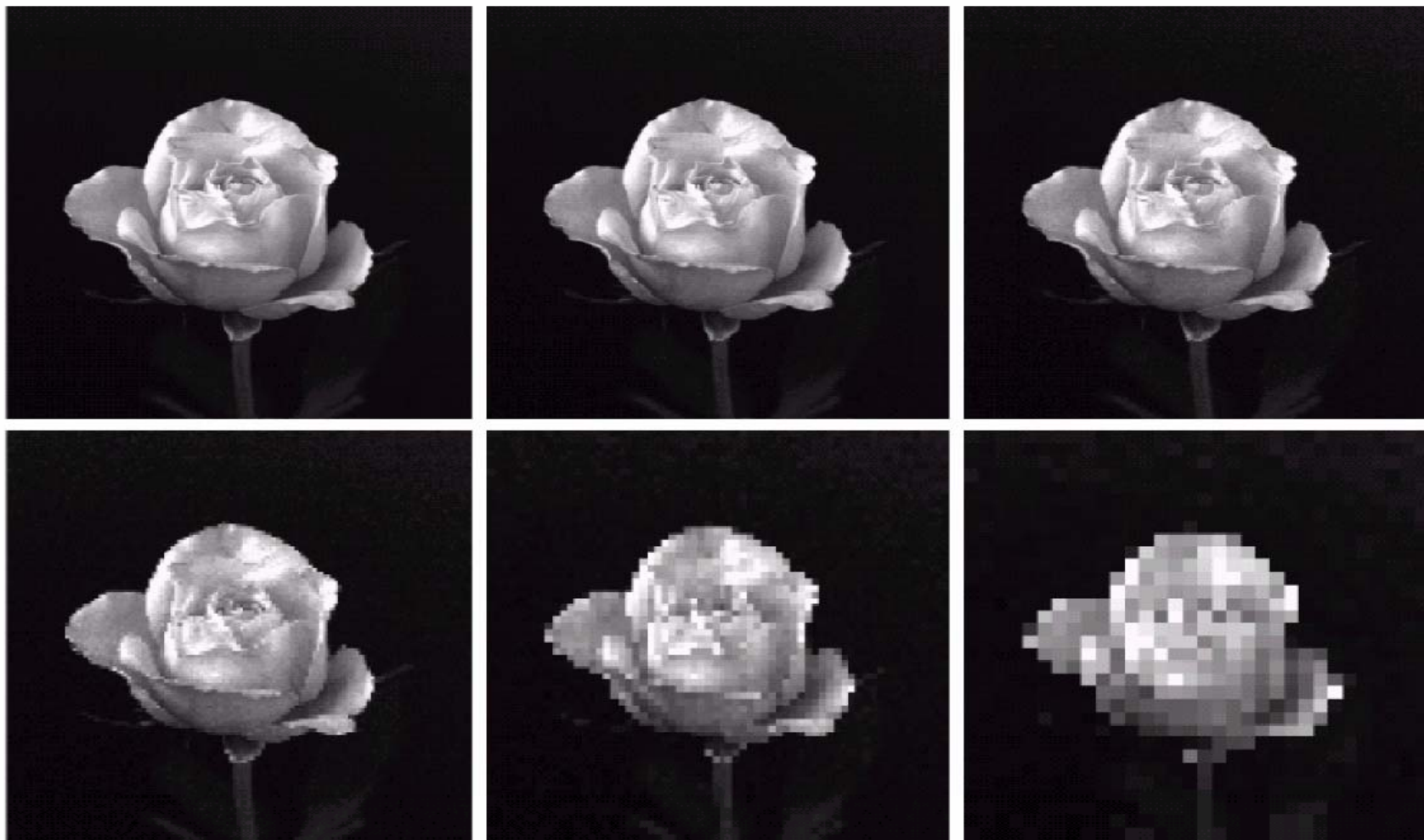


取样与量化

- 取样对图像质量的影响



取样对图像质量的影响



量化对图像质量的影响



256灰度级



16灰度级



8灰度级

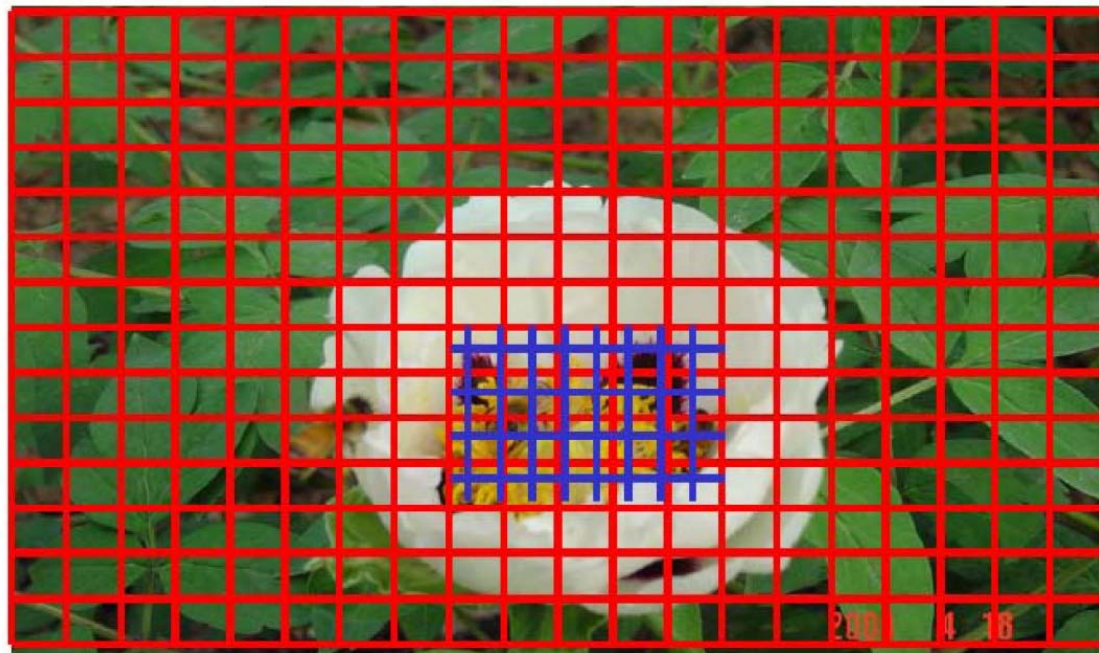


4灰度级

采样与量化

- 非统一的图像的采样

- ✓ 在边界附近使用较少的灰度级。剩余的灰度级可用于灰度级变化比较平滑的区域
- ✓ 避免或减少由于量化的太粗糙，在灰度级变化比较平滑的区域出现假轮廓的现象



空间分辨率

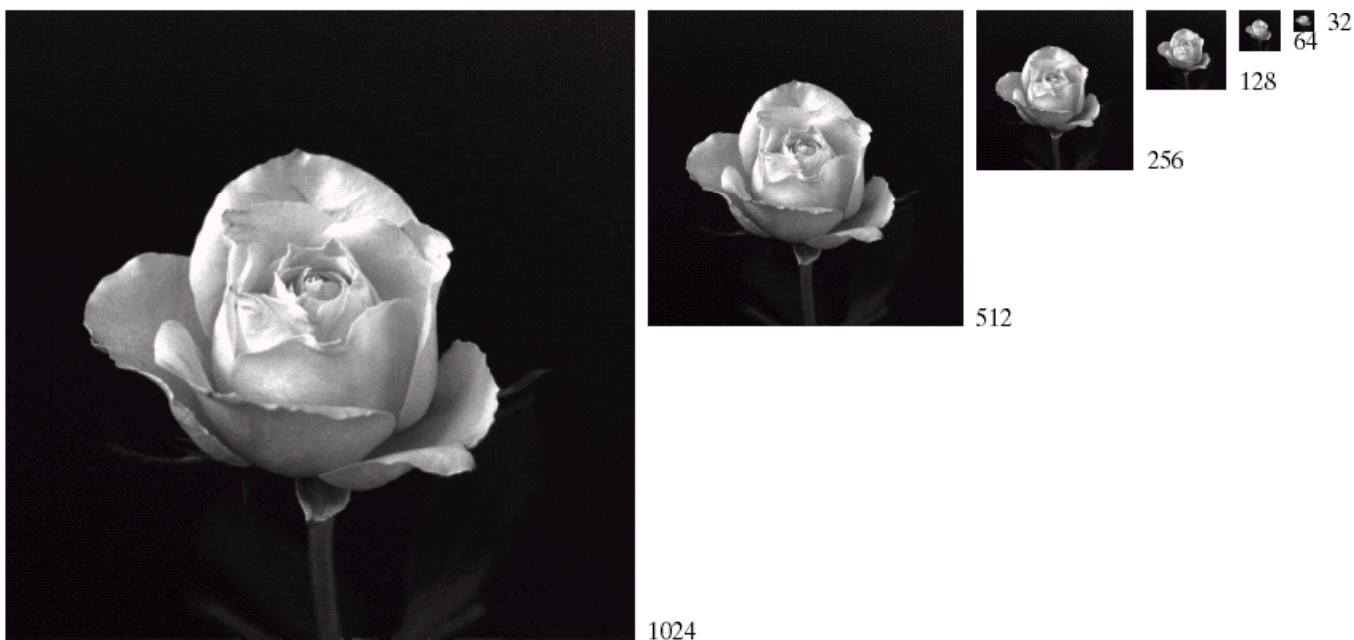
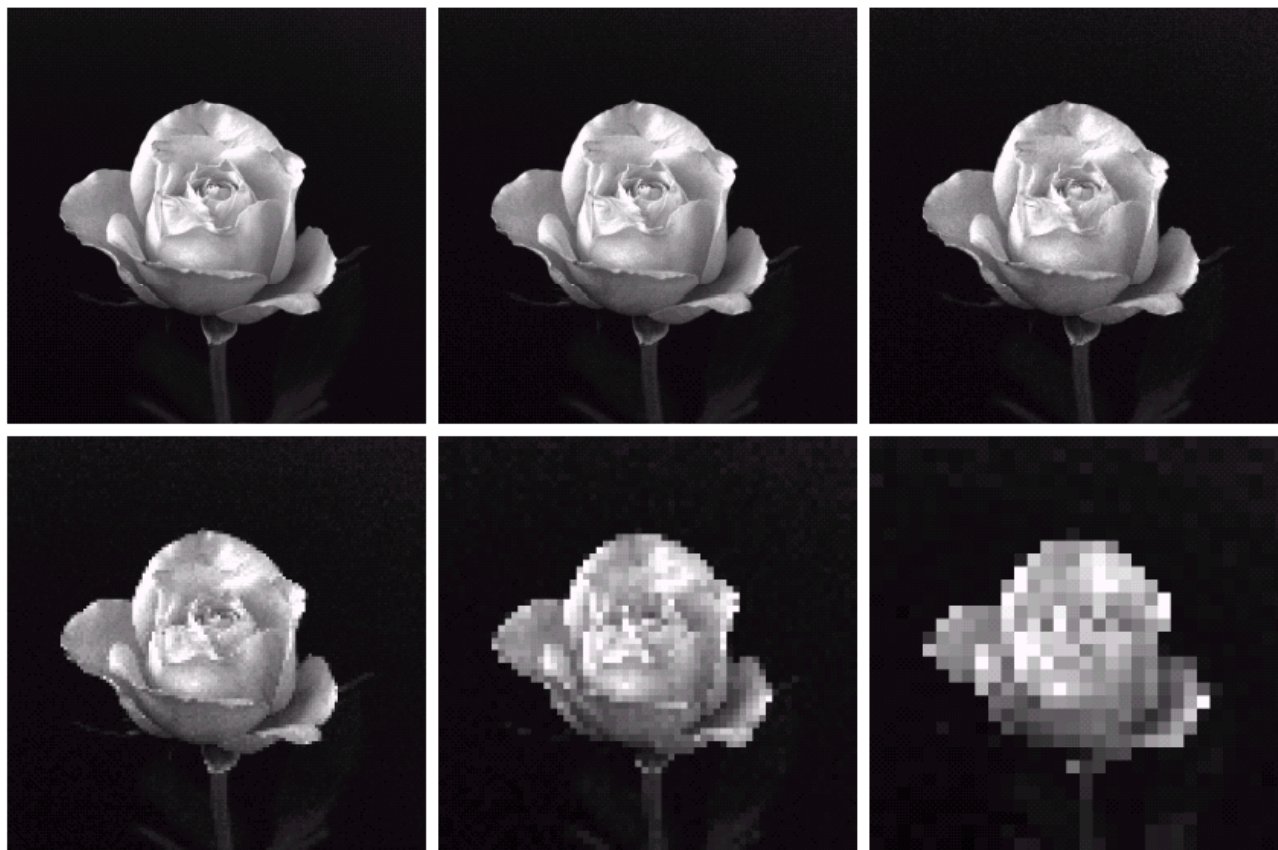


FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

隔行删除，隔列删除的方法把图像缩小

空间分辨率



行复制，列
复制的方法
恢复图像到
1024X1024

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.

空间分辨率



a b c
d e f

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.

行复制，列
复制的方法
恢复图像到
 1024×1024

使用双线性
插值的方法
恢复图像到
 1024×1024

目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



图像

静态图像可分为矢量(Vector)图和位图(Bitmap)，位图也称为栅格图像



矢量图

(1) 矢量图的表示方法

是用一系列绘图指令来表示一幅图。这种方法
的本质是用数学(更准确地说是几何学)公式描述
一幅图像

(2) 矢量图的优点:

A、它的文件数据量很小

B、图像质量与分辨率无关，这意味着无论将
图像放大或缩小了多少次，图像总是以显示设备
允许的最大清晰度显示



矢量图

(3) 矢量图的缺点:

不易制作色调丰富或色彩变化太多的图像，
绘出来的图像不是很逼真，同时也不易在不同的软件间交换文件

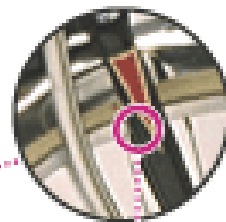


位图

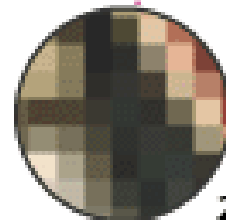
- 是通过许多像素点表示一幅图像，每个像素具有颜色属性和位置属性
- 位图的优缺点：与矢量图正好相反
- 位图又可以分成如下四种：二值图像（binary image）、灰度图像(gray-scale image)、索引颜色图像(index color image)和真彩色图像（true color image）



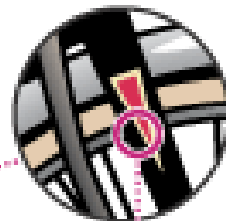
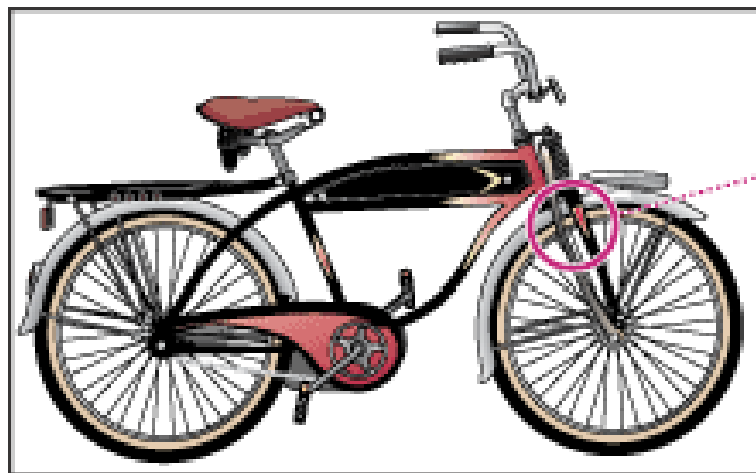
位图和矢量图比较



3:1



24:1



3:1



24:1

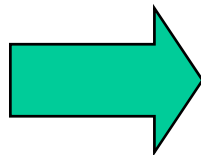
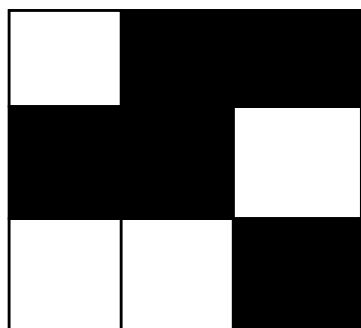
常见数字图像

- 二值
- 灰度
- 彩色



二值图像

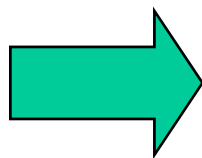
- 只有黑白两种颜色



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

灰度图像

- 在灰度图像中，像素灰度级一般用8 bit表示，所以每个像素都是介于黑色（0）和白色（255）之间的256（ $2^8=256$ ）种灰度中的一种。

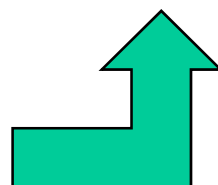


$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$

灰度图像



	0	1	2	3	4	5	6	7
0	130	146	133	95	71	71	62	78
1	130	146	133	92	62	71	62	71
2	139	146	146	120	62	55	55	55
3	139	139	139	146	117	112	117	110
4	139	139	139	139	139	139	139	139
5	146	142	139	139	139	143	125	139
6	156	159	159	159	159	146	159	159
7	168	159	156	159	159	159	139	159



索引图像

- 在RGB真彩色出现之前，由于技术上的原因，计算机在处理时并没有达到每像素24位的真彩色水平，为此人们创造了索引颜色
- 在索引颜色（也称为映射颜色）模式下，颜色都是预先定义的，并且可供选用的一组颜色也很有限



真彩色图像

- 每一个像素由红、绿和蓝三个字节组成，每个字节为8 bit，表示0到255之间的不同的亮度值，这三个字节组合可以产生1670万种不同的颜色



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 表示几何位置数字图像
表示



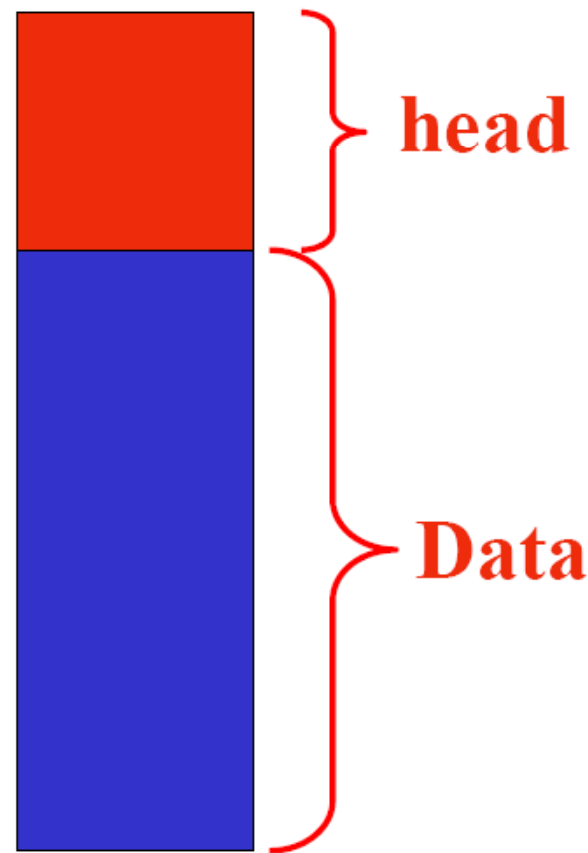
数字图像常用格式

- TIFF
- JPEG
- PGM, PPM
- GIF
- BMP
- PNG
- Video formats...



数字图像表示

- 图像描述信息
 - ✓ 如图像高度和宽度等信息
- 图像数据
 - ✓ 顺序存放的连续数据
- BMP格式
 - ✓ 1. 位图文件头
 - ✓ 2. 位图信息头
 - ✓ 3. 调色板
 - ✓ 4. 图像数据



BMP格式——1、位图文件头

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER{  
    WORD bfType; //文件类型，必须是字符串” BM”  
    DWORD bfSize; //指定文件大小  
    WORD bfReserved1; //保留字，不考虑  
    WORD bfReserved2; //保留字，不考虑  
    DWORD bfOffBits; //从文件头到位图数据的偏移字节数  
} BITMAPFILEHEADER;
```



BMP格式——2、位图信息头

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER {  
    DWORD biSize; //该结构的长度，40个字节  
    LONG biWidth; //图像的宽度，单位是像素  
    LONG biHeight; //图像的高度，单位是像素  
    WORD biPlanes; //必须是1  
    WORD biBitCount //颜色位数，如1，4，8，24  
    DWORD biCompression; //压缩类型，如BI_RGB,BI_RLE4  
    DWORD biSizeImage; //实际位图数据占用的字节数  
    LONG biXPelsPerMeter; //水平分辨率  
    LONG biYPelsPerMeter; //垂直分辨率  
    DWORD biClrUsed; //实际使用的颜色数  
    DWORD biClrImportant; //重要的颜色数  
} BITMAPINFOHEADER;
```



BMP格式——3、调色板

```
typedef struct tagRGBQUAD{  
    BYTE rgbBlue; //该颜色的蓝色分量  
    BYTE rgbGreen; //该颜色的绿色分量  
    BYTE rgbRed; //该颜色的红色分量  
    BYTE rgbReserved; //保留值，不考虑  
} RGBQUAD;
```

注：有些位图不需要调色板，如真彩色图，
它们的BITMAPINFOHEADER后面直接是
位图数据



BMP格式——4、实际的图像数据

- 对于2色位图，1位表示一个像素颜色，所以一个字节表示8个像素
- 对于16色位图，4位表示一个像素颜色，所以一个字节表示2个像素
- 对于256色位图，1个字节表示1个像素
- 对于真彩色图，3个字节表示一个像素



注意

- 每一行的字节数必须是4的整数倍，如果不是，则需要补齐
- BMP文件的数据存放是从下到上，从左到右的。也就是说，从文件中最先读到的是图像最下面一行的左边第一个像素，然后是左边第二个像素，接下来是倒数第二行左边第一个像素，左边第二个像素。依次类推，最后得到的是最上面一行的最右边的一个像素
- DIB（Device Independent Bitmap）图像格式是设备无关位图文件，描述图像的能力基本与BMP相同，并且能运行于多种硬件平台，只是文件较大



其他图像格式

2. TIF图像文件格式

标记图像文件格式TIF (Tag Image File Format)，它是现存图像文件格式中最复杂的一种，它提供存储各种信息的完备的手段，是目前流行的图像文件交换标准之一

3. GIF图像文件格式

CompuServe 开发的图形交换文件格式 GIF (Graphics Interchange Format)，目的是在不同的系统平台上交流和传输图像。它是在Web及其他联机服务上常用的一种文件格式，用于超文本标记语言(HTML)文档中的索引颜色图像



其他图像格式

4. JPEG图像格式

JPEG(Joint Photographer's Experts Group)格式即联合图像专家组,是由ISO和CCITT为静态图像所建立的第一个国际数字图像压缩标准,主要是为了解决专业摄影师所遇到的图像信息过于庞大的问题。由于JPEG的高压缩比和良好的图像质量,使得它广泛应用于多媒体和网络程序中



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



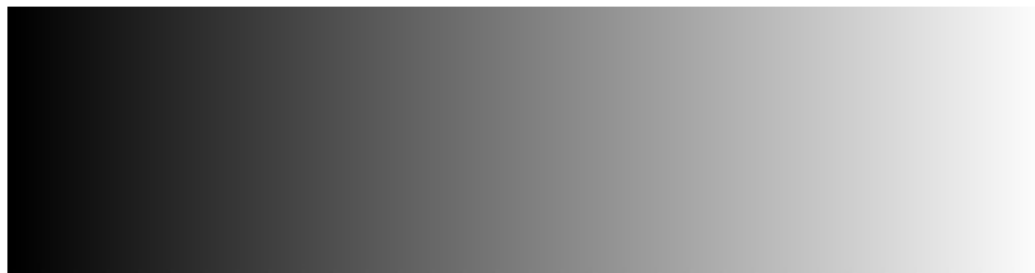
图像的质量：1、层次

- 灰度级：表示像素明暗程度的整数量
例如：像素的取值范围为0-255，就称该图像为256个灰度级的图像
- 层次：表示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



图像的质量：1、层次

256个层次的图像



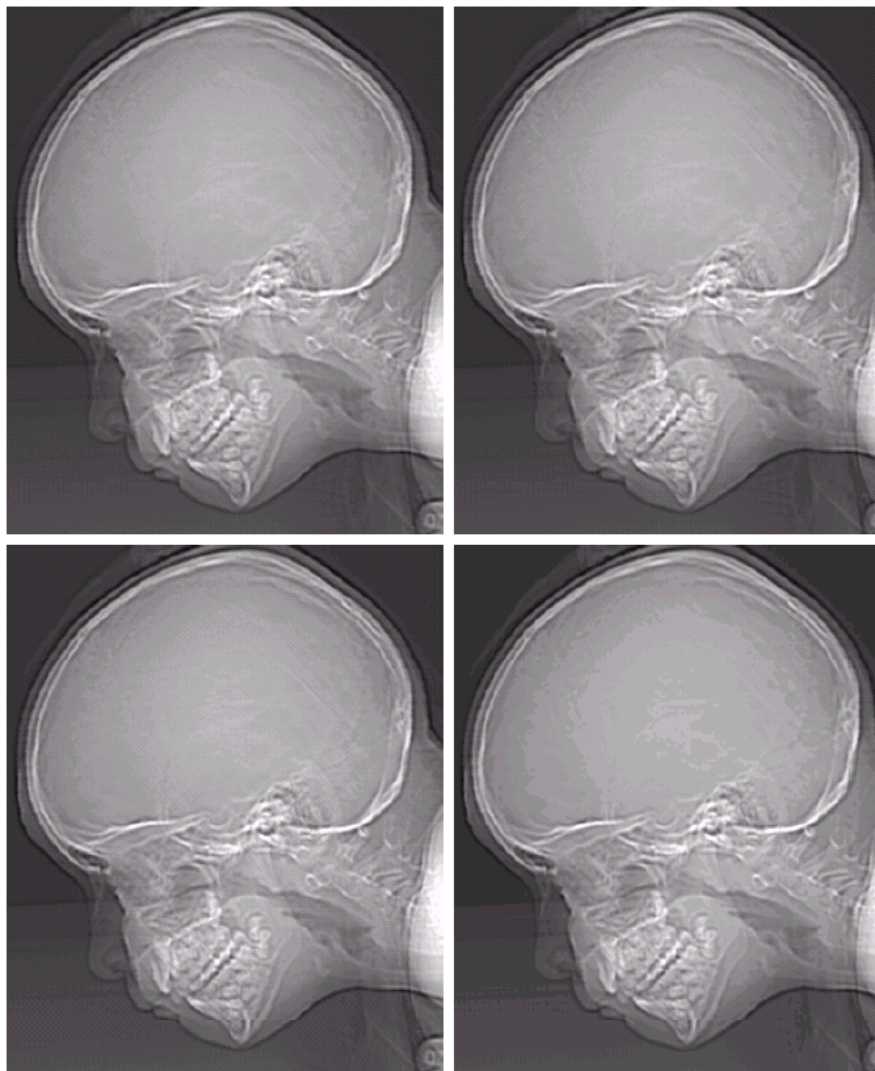
16个层次的图像



64个层次的图像



灰度级分辨率



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.

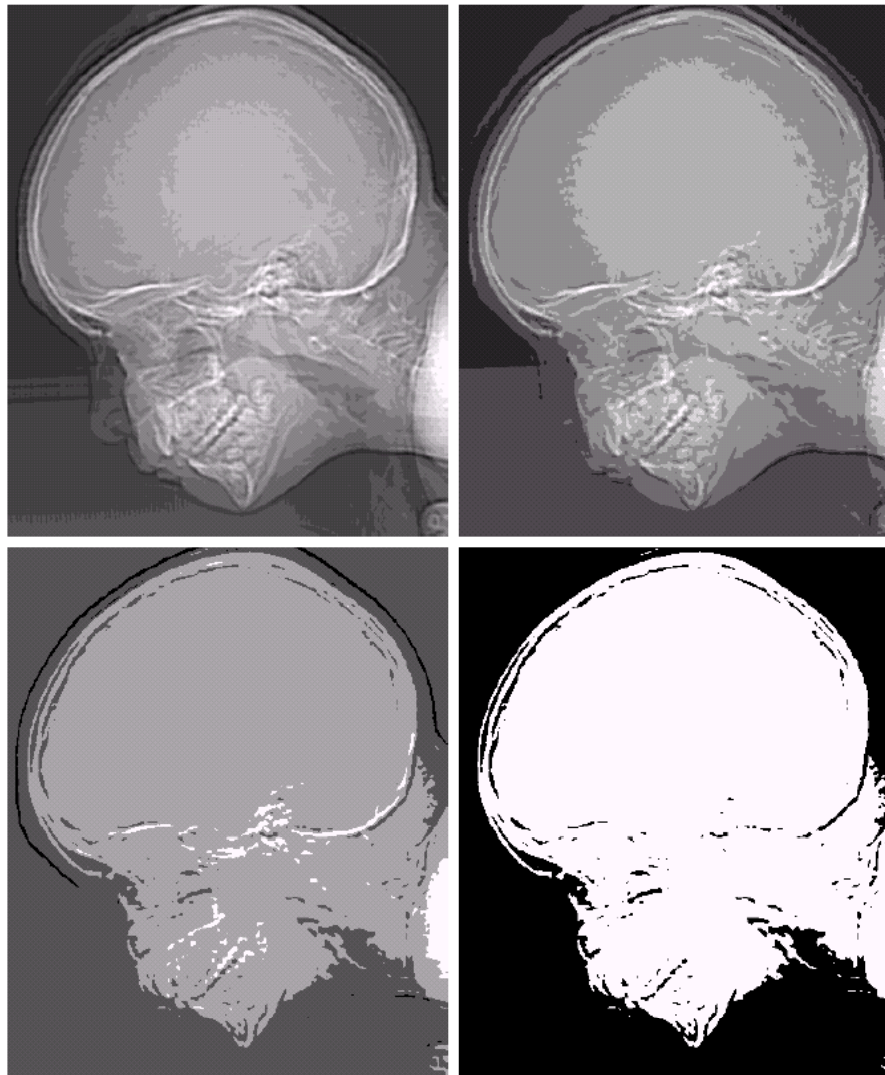
灰度级分辨率

e f
g h

FIGURE 2.21

(Continued)

(e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



图像的质量： 2、对比度

- 对比度： 是指一幅图像中灰度反差的大小
$$\text{对比度} = \frac{\text{最大亮度}}{\text{最小亮度}}$$



图像的质量：3、清晰度

- 与清晰度相关的主要因素
 - 亮度
 - 对比度
 - 尺寸大小
 - 细微层次
 - 颜色饱和度



影响清晰度因素—1、亮度



影响清晰度因素—2、对比度



影响清晰度因素—3、尺寸大小



影响清晰度因素—4、细微层次



影响清晰度因素—5、颜色饱和度



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



目录

- 视觉感知
- 图像获取
- 图像采样和量化
- 数字图像的表达
- 数字图像的视觉效果
- 像素间的一些基本关系



像素间的一些基本关系

- 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

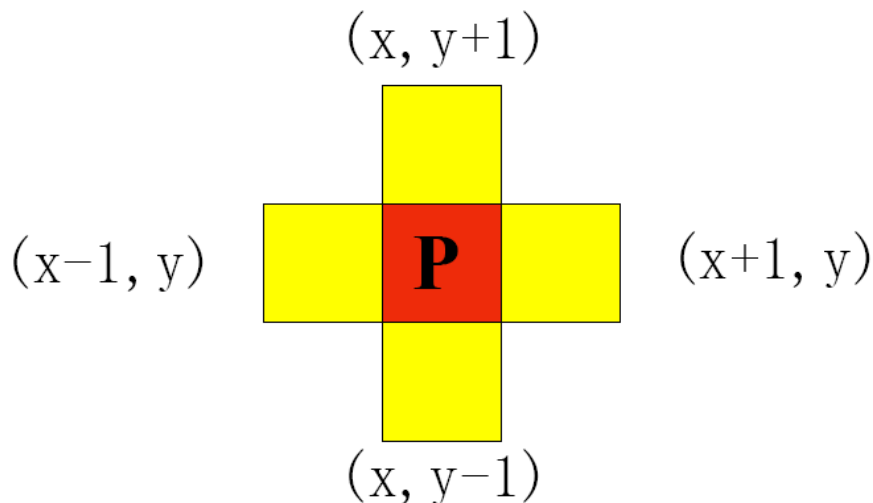


相邻像素 — 4邻域

- 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

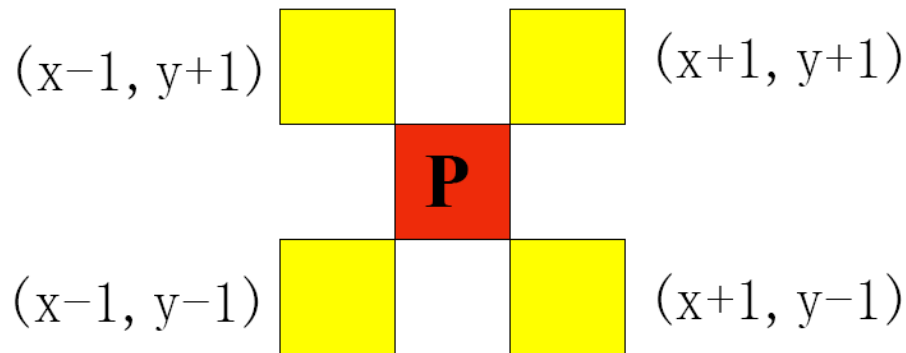


相邻像素 — D邻域

- 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



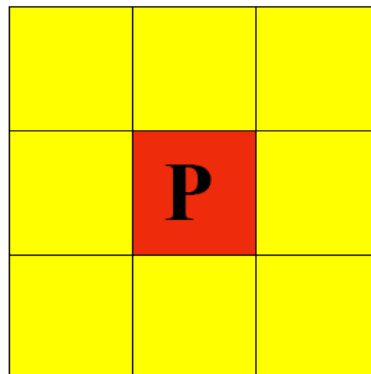
相邻像素 — 8邻域

- 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

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



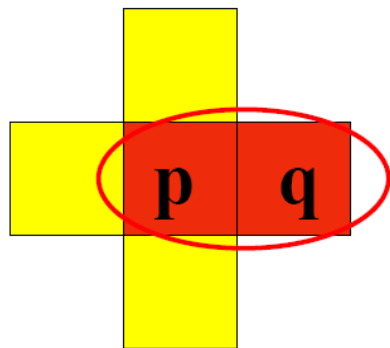
像素间的连通性

- 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）



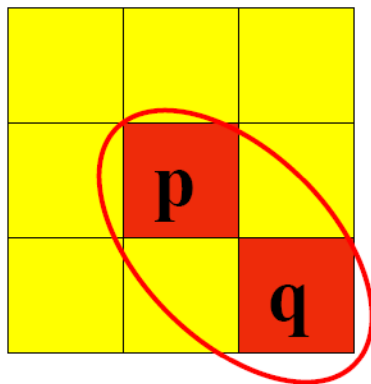
像素的连通性 — 4连通

- 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



像素的连通性 — 8连通

- 对于具有值V的像素p和q，如果q在集合 $N_8(p)$ 中，则称这两个像素是8连通的



像素的连通性—m连通

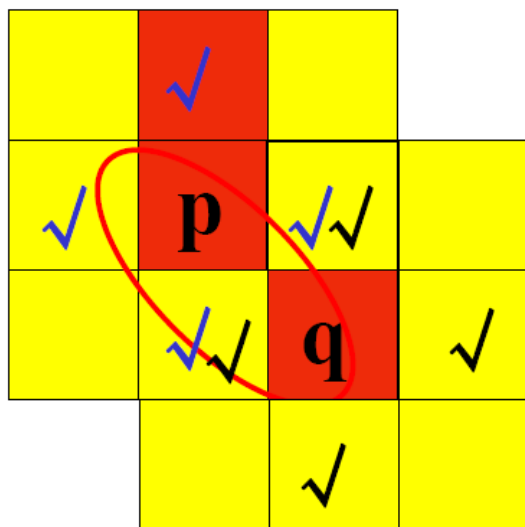
- 对于具有值 V 的像素 p 和 q ，如果：
 - I. q 在集合 $N_4(p)$ 中，或
 - II. q 在集合 $N_D(p)$ 中，并且 $N_4(p)$ 与 $N_4(q)$ 的交集为空（没有值 V 的像素）

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。

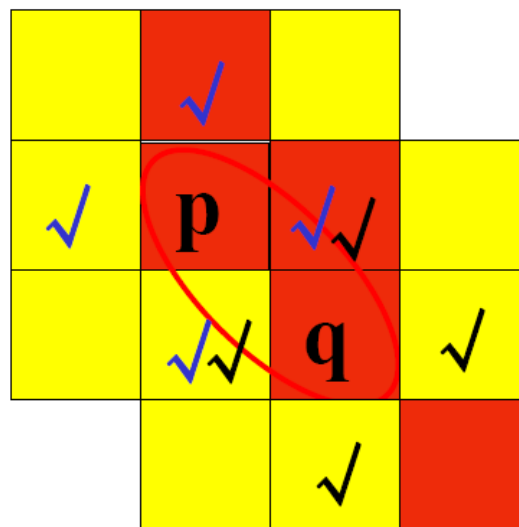


像素的连通性— m连通

是m连通



不是m连通



像素的连通性 — 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



像素之间距离的定义

- 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 是距离函数或度量像素之间距离的定义



欧式距离定义

- 像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 间的欧式距离定义如下：

$$D_e(p,q) = ((x - s)^2 + (y - t)^2)^{1/2}$$

- 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）

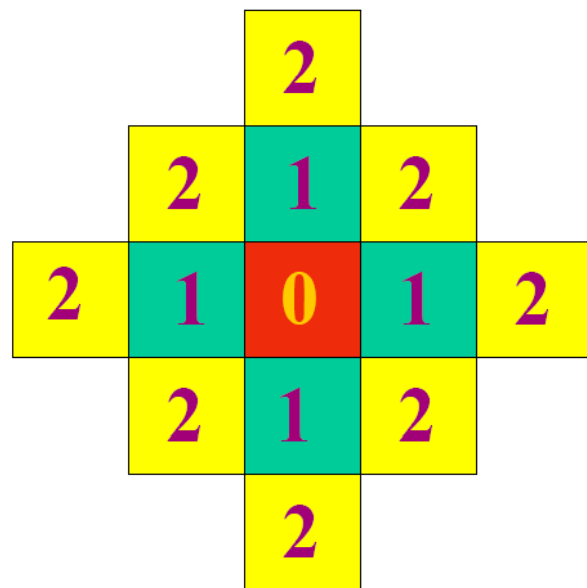
- 像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 之间的 D_4 距离定义为：

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



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
- 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
- 具有 $D_4 = 1$ 的像素是 (x,y) 的4邻域



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 的那些像素形成一个正方形
- 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
- 具有 $D_8 = 1$ 的像素是 (x,y) 的8邻域

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

课后

- 阅读第二章

