

数字图像处理

指导教师： 胡晓雁

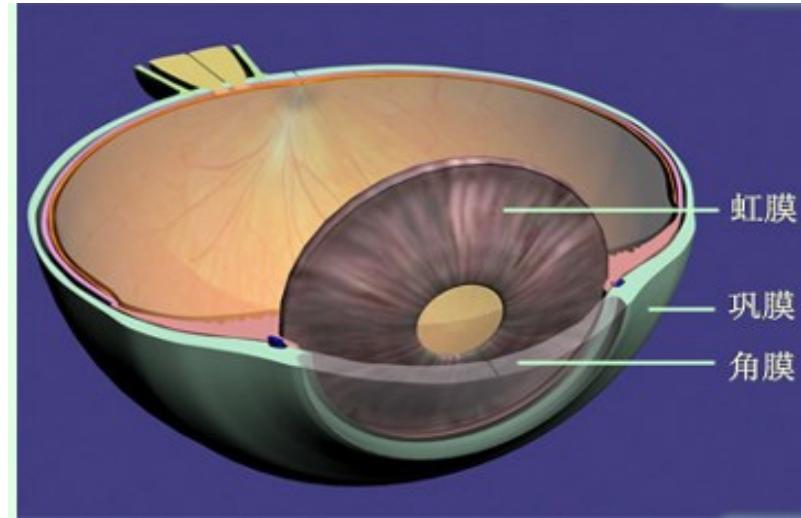
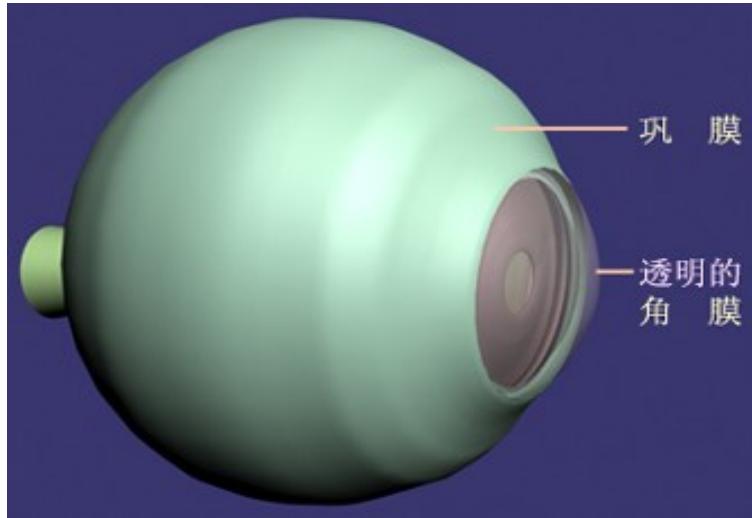
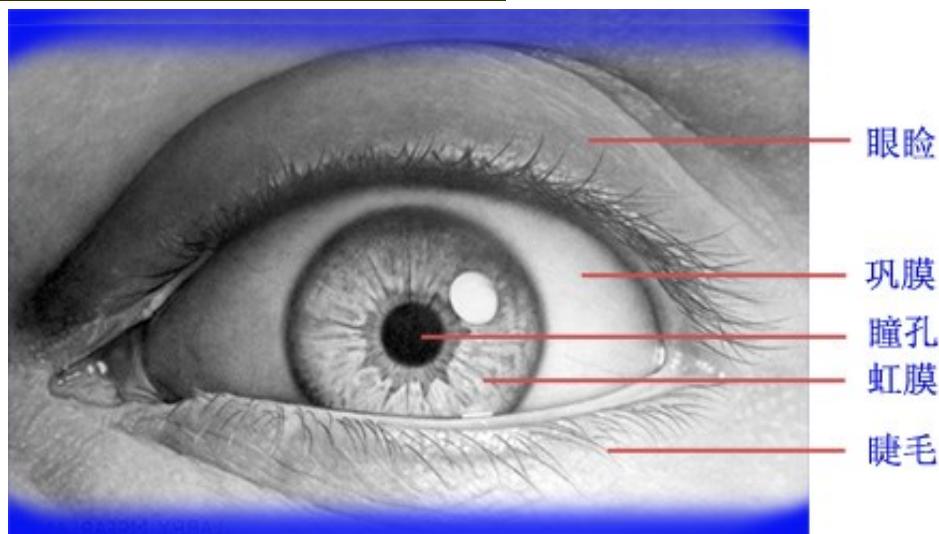
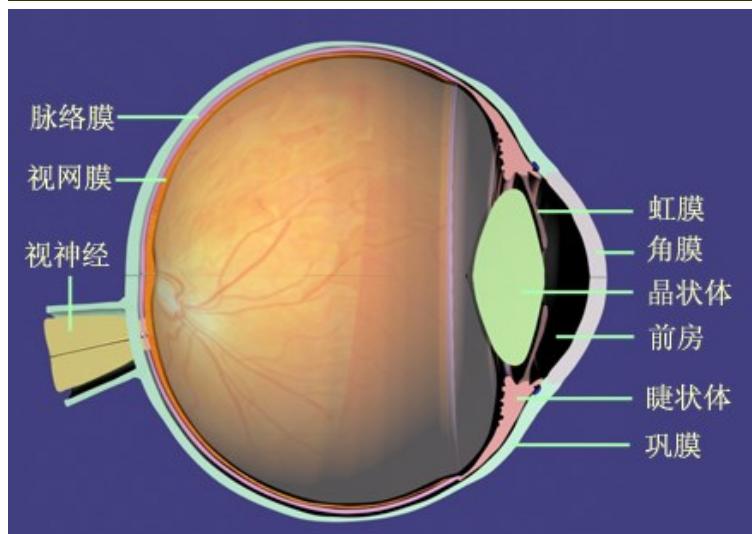
电子邮件： huxy@bnu.edu.cn

北京师范大学信息科学与技术学院

课程要求

- ✓ 学习数字图像处理
 - ✓ 基本理论
 - ✓ 数学基础
 - ✓ 算法
- ✓ 编写实现数字图像处理算法
 - ✓ 4~5个平时作业 50%
 - ✓ 期末大作业 50%
 - ✓ C/C++, Python, Matlab

人眼的构造与视觉



人眼的构造与视觉

➤ 眼睛中图像的形成

- ✓ 外界光线通过透明的角膜射进眼球；
- ✓ 角膜对入射光具有聚光作用；
- ✓ 瞳孔起了照相机的光圈作用；
- ✓ 在虹膜的后面是晶状体，晶状体悬挂在睫状体上，睫状体的收缩和松弛使晶状体改变凸度，起着光学变焦透镜的作用；
- ✓ 晶状体的后面是玻璃体，它充满在晶状体和视网膜所包围的内部空间；
- ✓ 光线最后落在眼底的视网膜上

人眼的构造与视觉

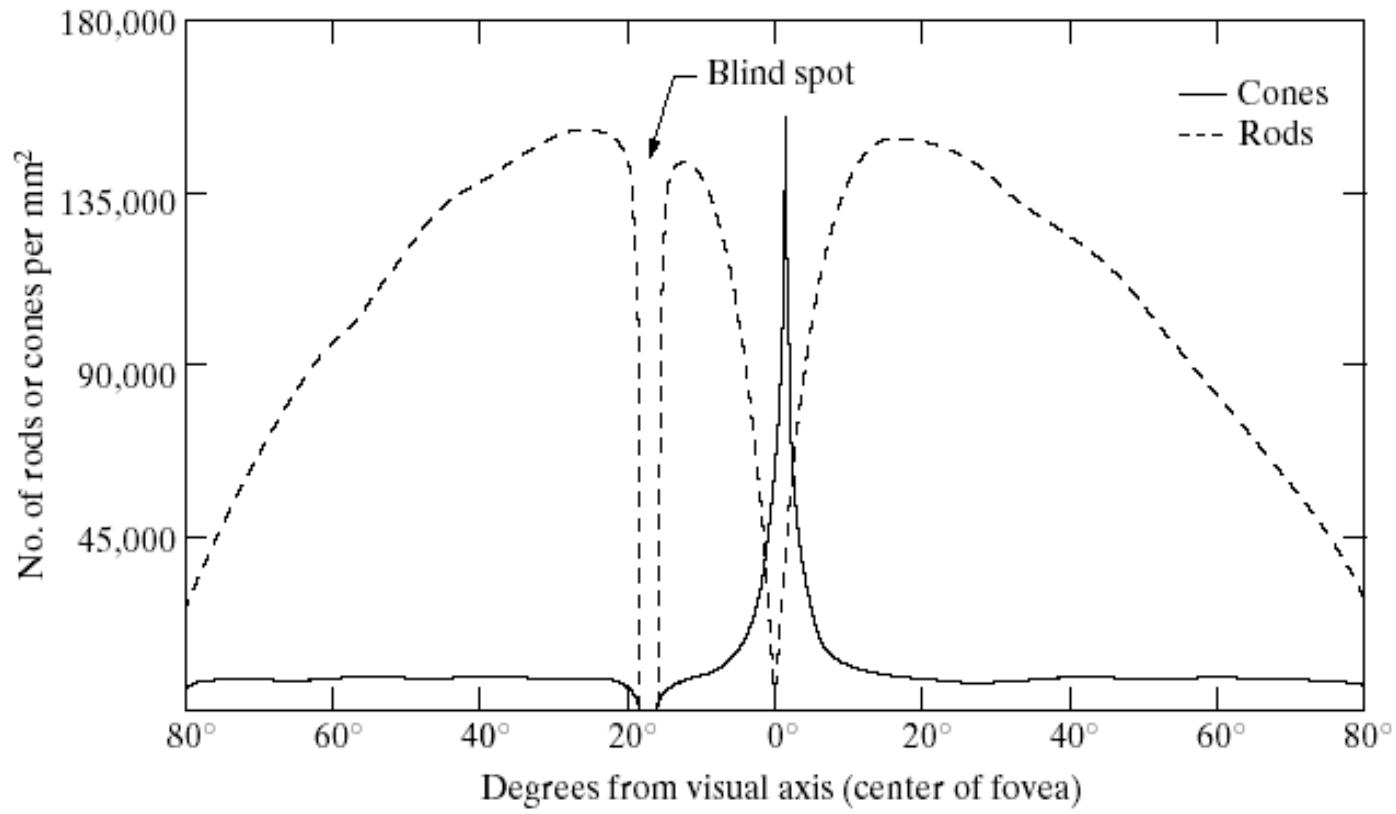
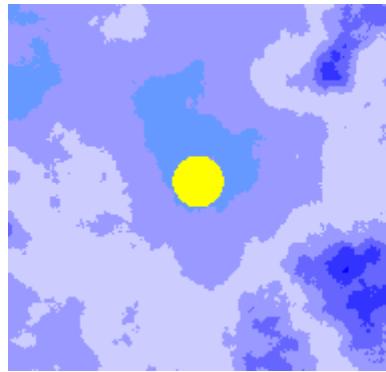


FIGURE 2.2
Distribution of rods and cones in the retina.

盲点侧视图

- ` 眼睛距离屏幕1尺半左右，闭上右眼，使用左眼看数字3，然后眼睛看着数字3，并逐渐靠近屏幕，在某一个距离，你会发现黄色圆圈不见了！
- ` 然后可以试一试其他数字，看看有什么不同



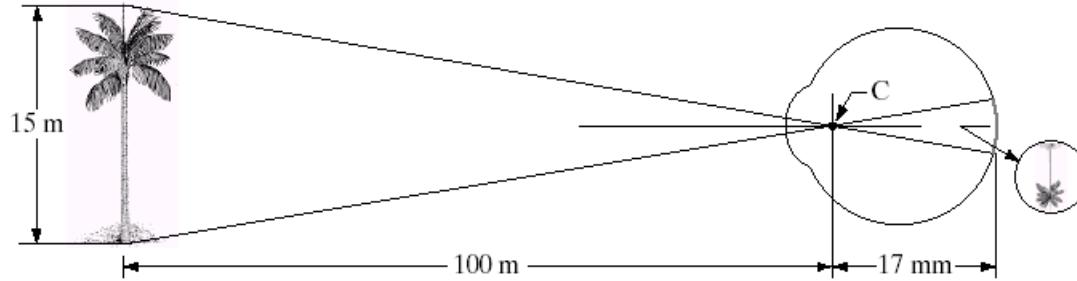
1 2 3 4 5 6

<http://www.yorku.ca/eye/funthing.htm>

人眼的构造与视觉

FIGURE 2.3

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



- ✓ 眼睛观察树的光学表示方法
- ✓ 晶状体的聚焦点与视网膜(14mm-17mm)
- ✓ 由睫状体的韧带张力控制晶状体的屈张程度

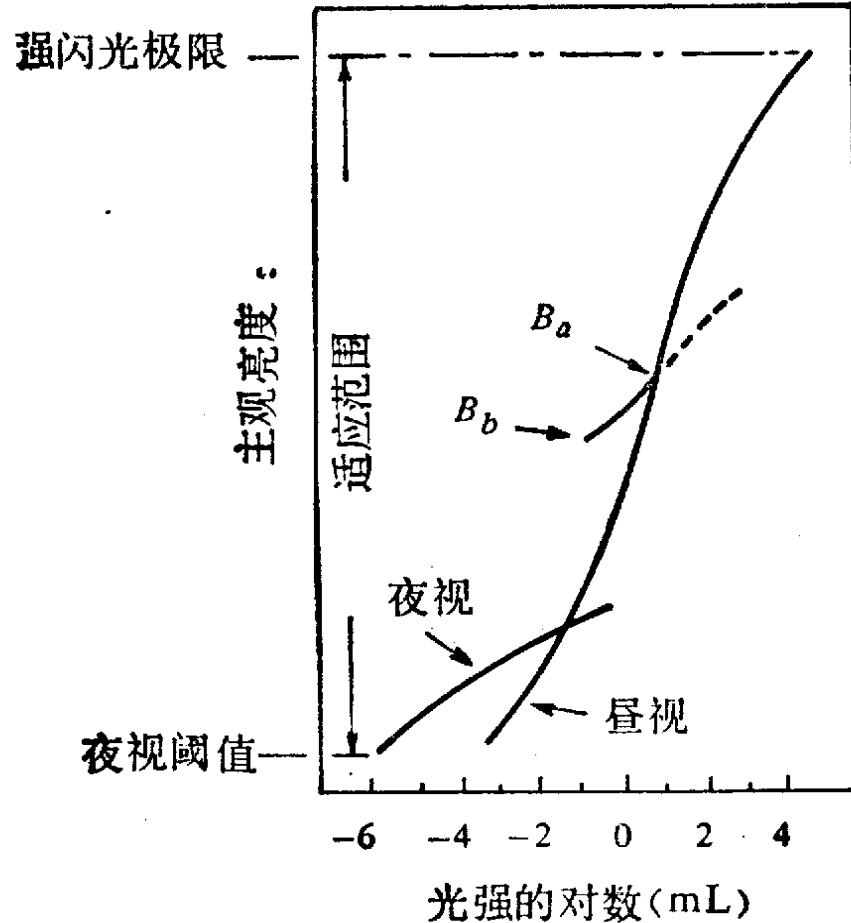
亮度适应能力

- ✓ 现象：
 - ✓ 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)

亮度适应能力

- ✓ 昏暗视觉和白昼视觉：人能适应亮度的范围是很宽的，从暗视阈值到强闪光之间的光强度差别约为 10^{10} 级。人的眼睛并不能同时适应这样宽的光强范围。下图中说明了在交点以上，主观感觉亮度是更亮，而在交点以下，主观感觉是更暗

亮度适应能力



实验证明，主观亮度是眼内光强度的对数函数。

韦伯比

✓ 亮度对比

背景亮度不同，人眼所感受的主观亮度值也不一样。这种效应就叫同时对比度。同时对比效应随着背景面积增大而显著

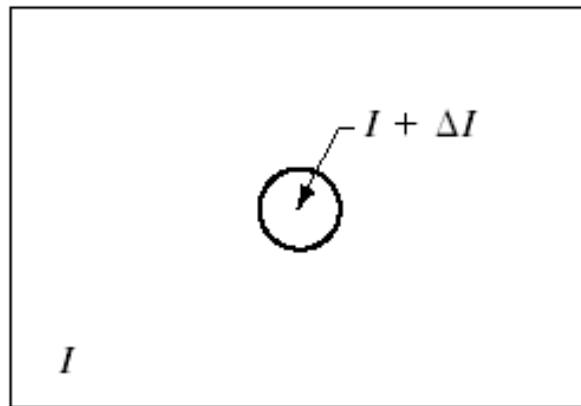


FIGURE 2.5 Basic experimental setup used to characterize brightness discrimination.

韦伯比

- ✓ 一个占据整个视野的背景：亮度为 I
 - ✓ 一个注视对象（圆形）：亮度为 $I + \Delta I$
 - ✓ ΔI 由弱变强，从不能被察觉到总能被察觉
-
- ✓ 韦伯比：表示某亮度背景下的亮度辨别能力：

$$\Delta I_c / I$$

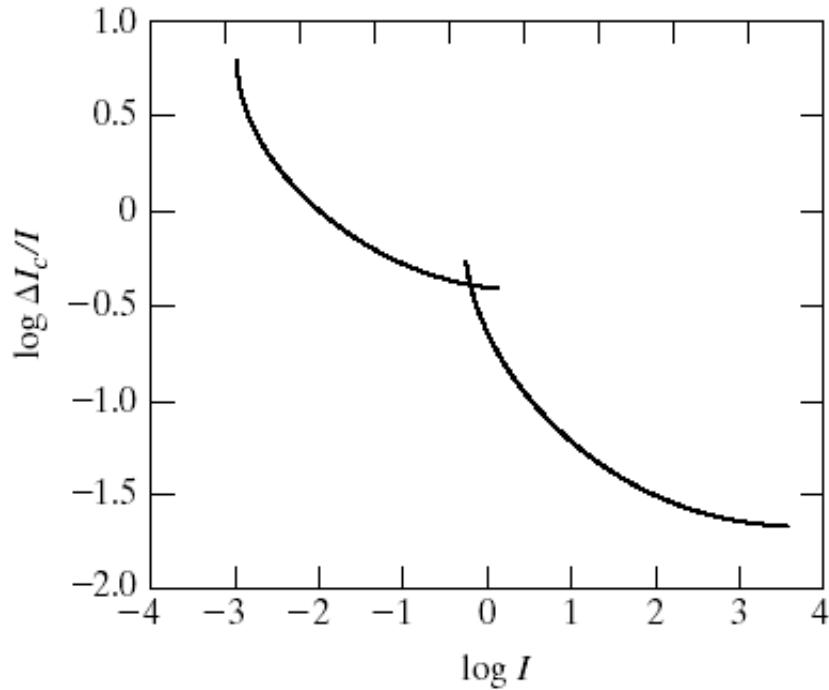
ΔI_c 是试验中 50% 能察觉的一个 ΔI 值

对比灵敏度

FIGURE 2.6

Typical Weber ratio as a function of intensity.

随着背景亮度的增强，
对比灵敏度增强，亮
度辨别所需的 ΔI_c 与背
景亮度的比值变小

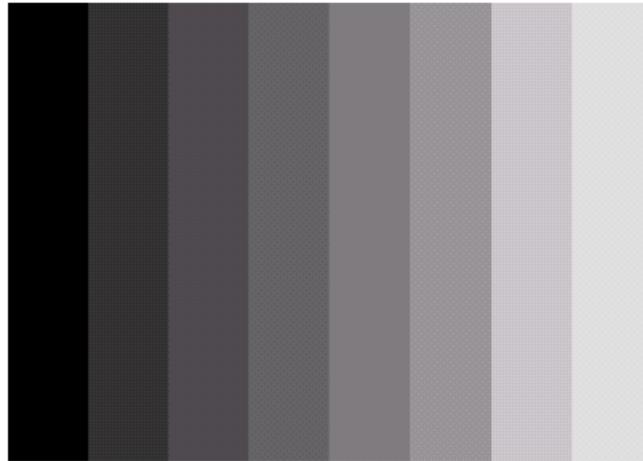


交叉线表明低照明级别下，视觉由杆状体执行，
在高照明级别下，视觉由锥状体起作用，并且有
较好的亮度辨别能力

Mach带

- 人们在观察一条有均匀黑的区域和均匀白的区域形成的边界时，人们感觉到的是在亮度变化部位附近的暗区和亮区中分别存在一条更黑和更亮的条带，这就是所谓的“Mach带”。
- Mach在1865年观察并讨论了这种现象。输入图像是阶梯边缘模式，并且每级阶跃的灰度差相同、在同级条带内灰度均匀的情形下，人们在观察时却感到每个条带内灰度是不均匀的，每级阶梯的右边比左边更暗，这是因为对阶跃边界处主观的反差显著地增强了

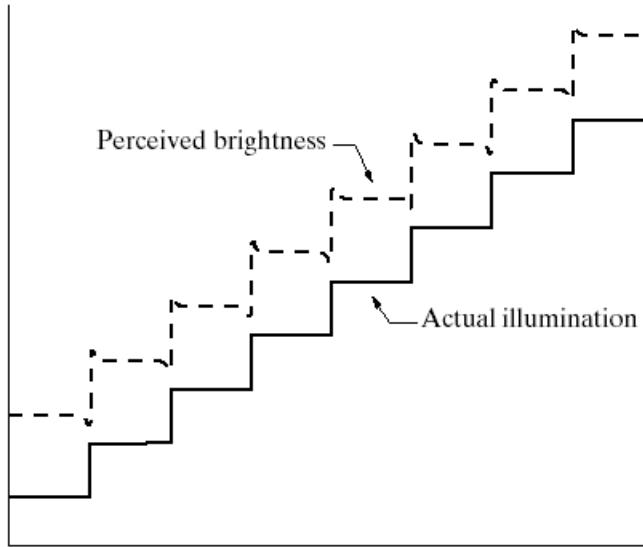
Mach 带

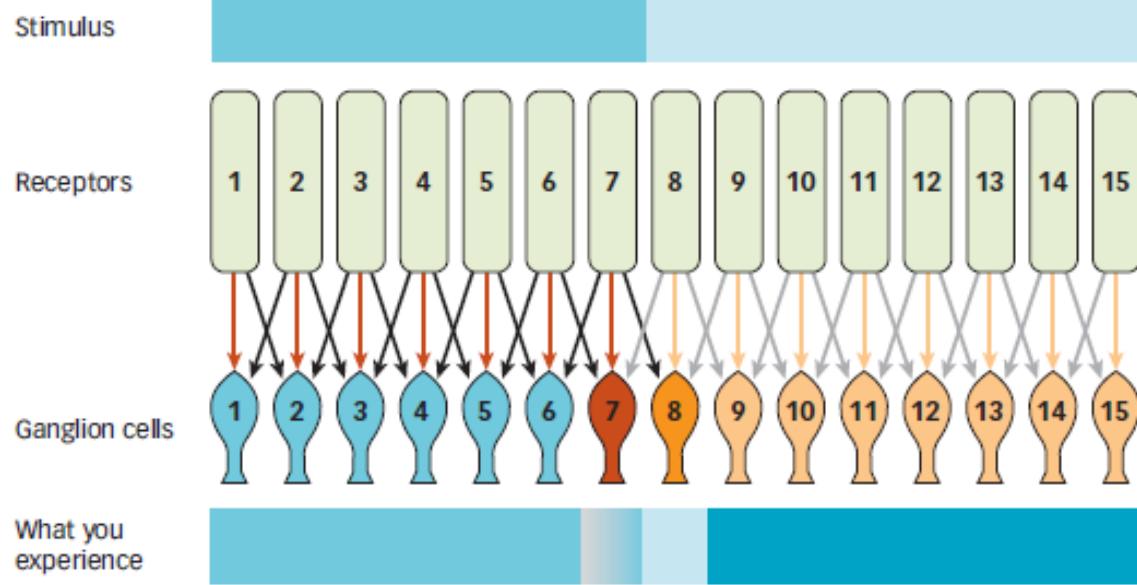


a
b

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.

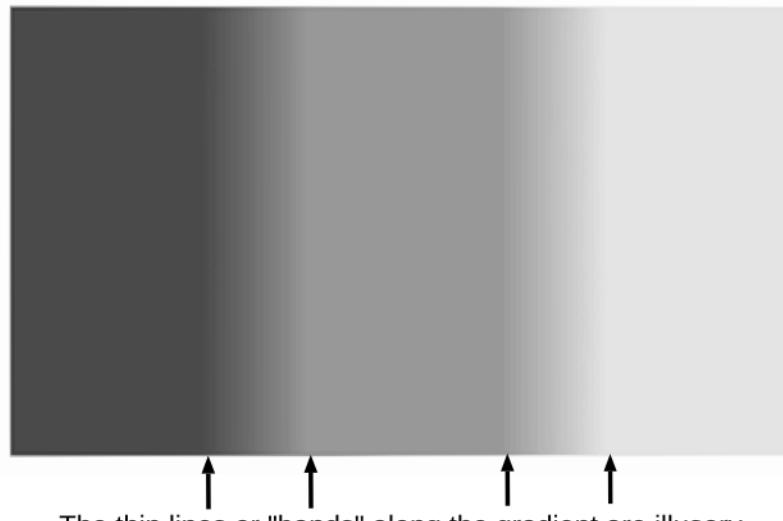




■ FIGURE 3.23 Mach bands.

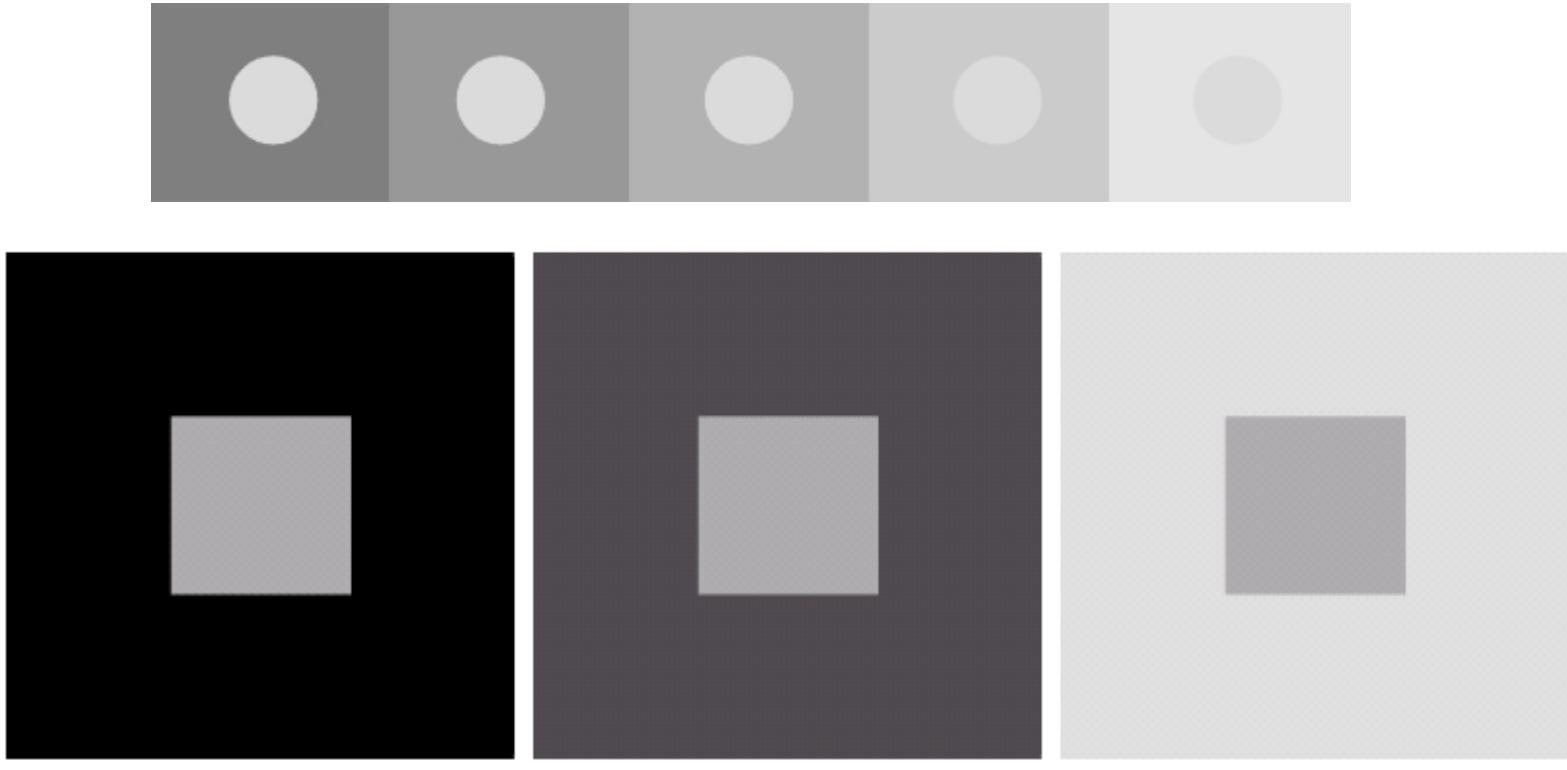
Each bar in this picture is uniform in lightness. However, we see a different level of lightness in each bar from left to right. For each bar, the left edge looks more black than the right edge, which looks lighter or whiter. This illusion is the result of processes of edge detection, such as lateral inhibition. When cells with receptive fields that straddle the bars detect the lightness contrast, they act to enhance the edges.

Mach Bands



The thin lines or "bands" along the gradient are illusory.

同时对比度



a b c

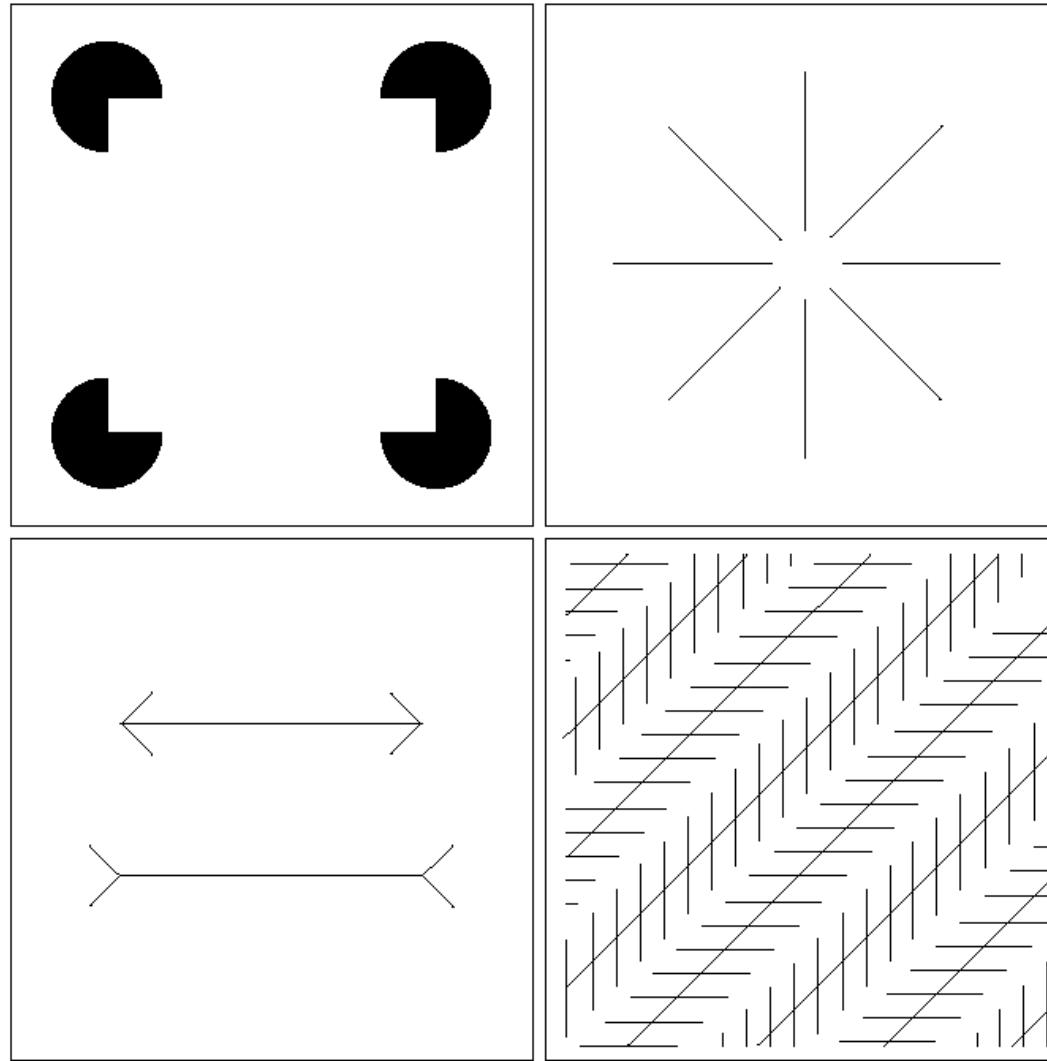
FIGURE 2.8 Examples of simultaneous contrast. All the inner squares have the same intensity, but they appear progressively darker as the background becomes lighter.



主观轮廓

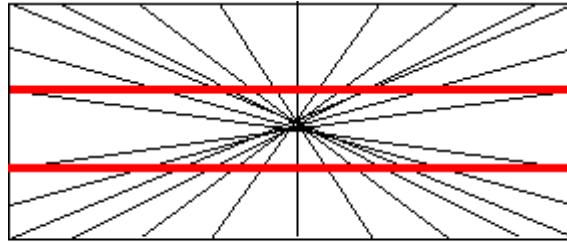
a
b
c
d

FIGURE 2.9 Some well-known optical illusions.

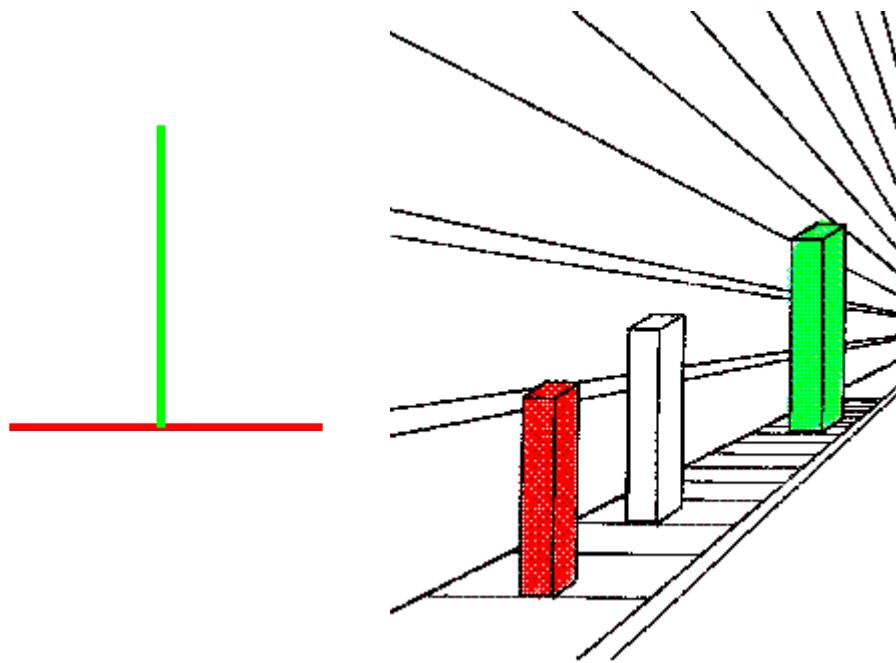


主观轮廓，这是主观上感知的轮廓，实际上这个边界并不存在

空间错觉



Hering Illusion



古代希腊艺术家在建筑艺术中引入了空间错觉，将物体对称性保持以保持视觉上的平衡。尽管只有通过解释才能得到满意的解释，但只能通过进一步的观察和理解来解决。

图像的连续性

- ✓ 空间连续性
- ✓ 时间连续性
- ✓ 颜色值（能量）的连续性

简单成像模型

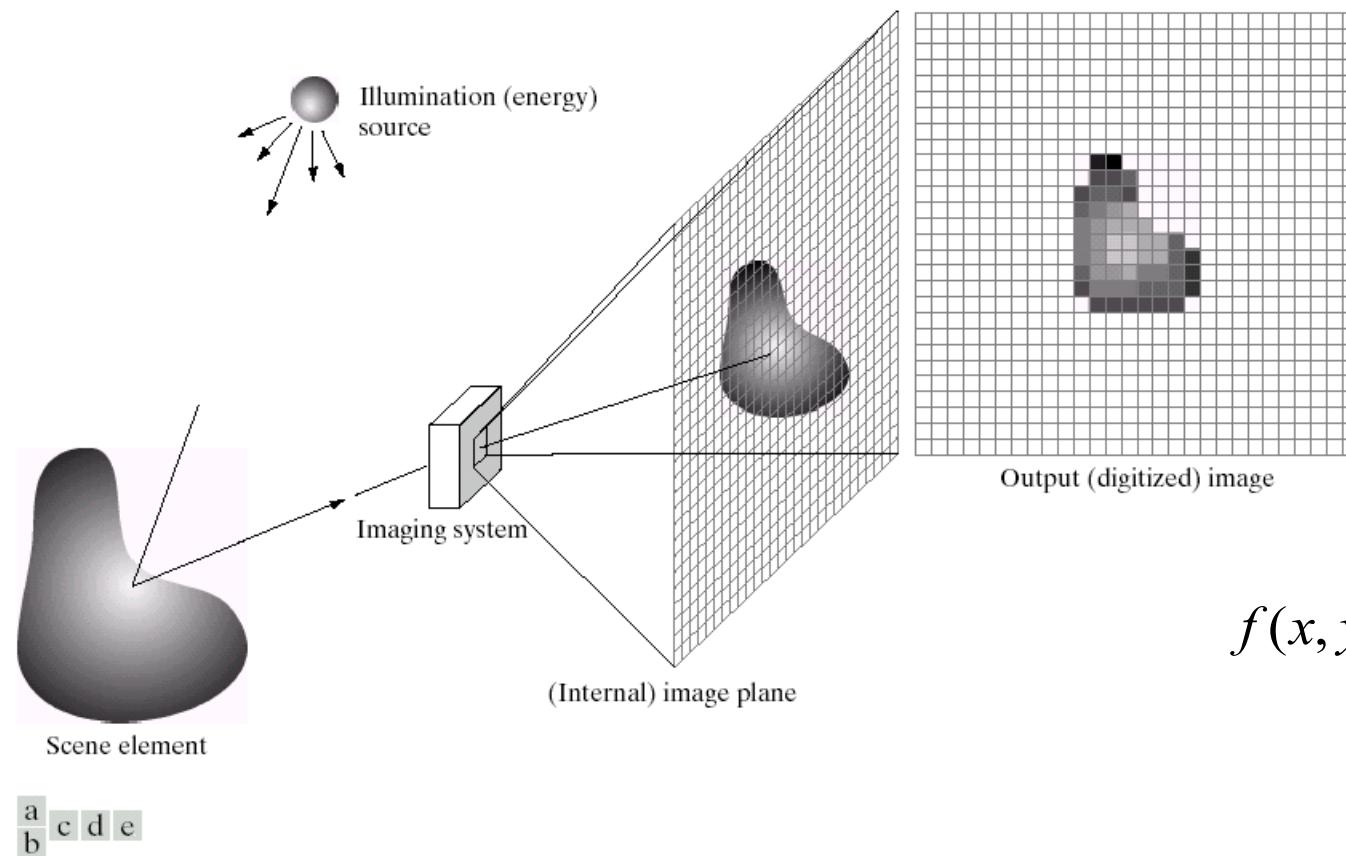


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

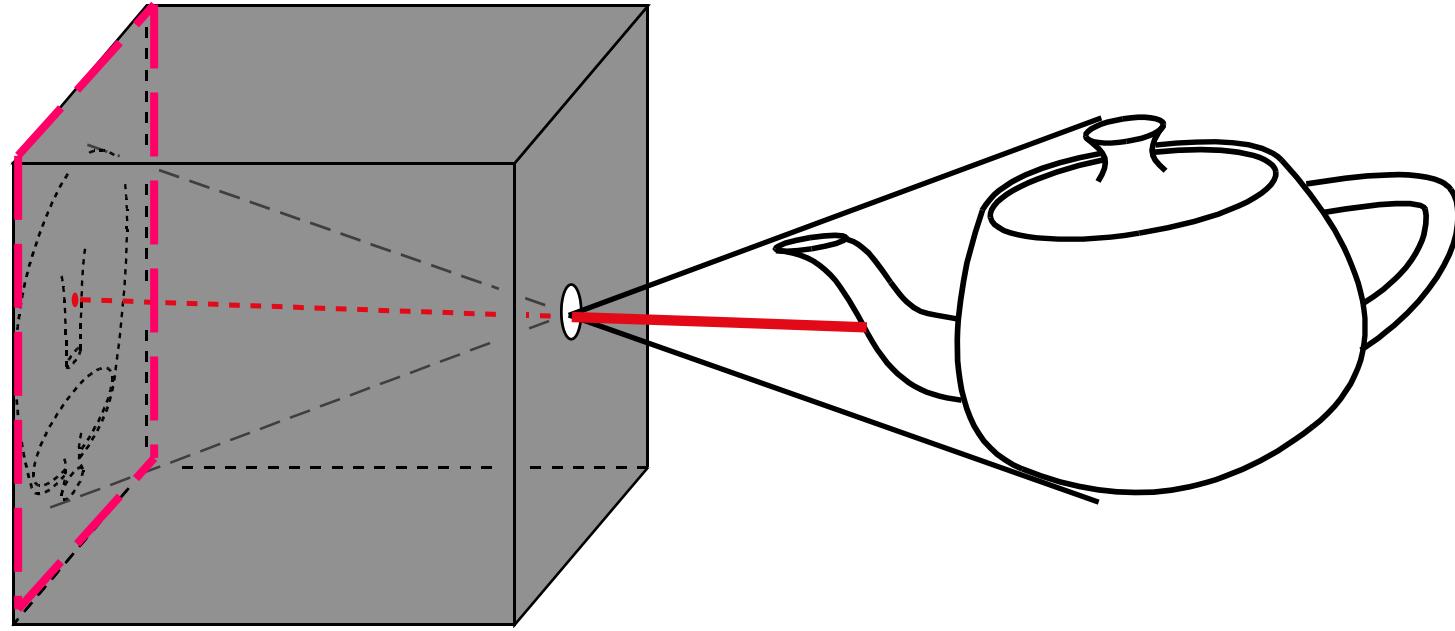
$$0 < f(x, y) < \infty$$

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

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

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

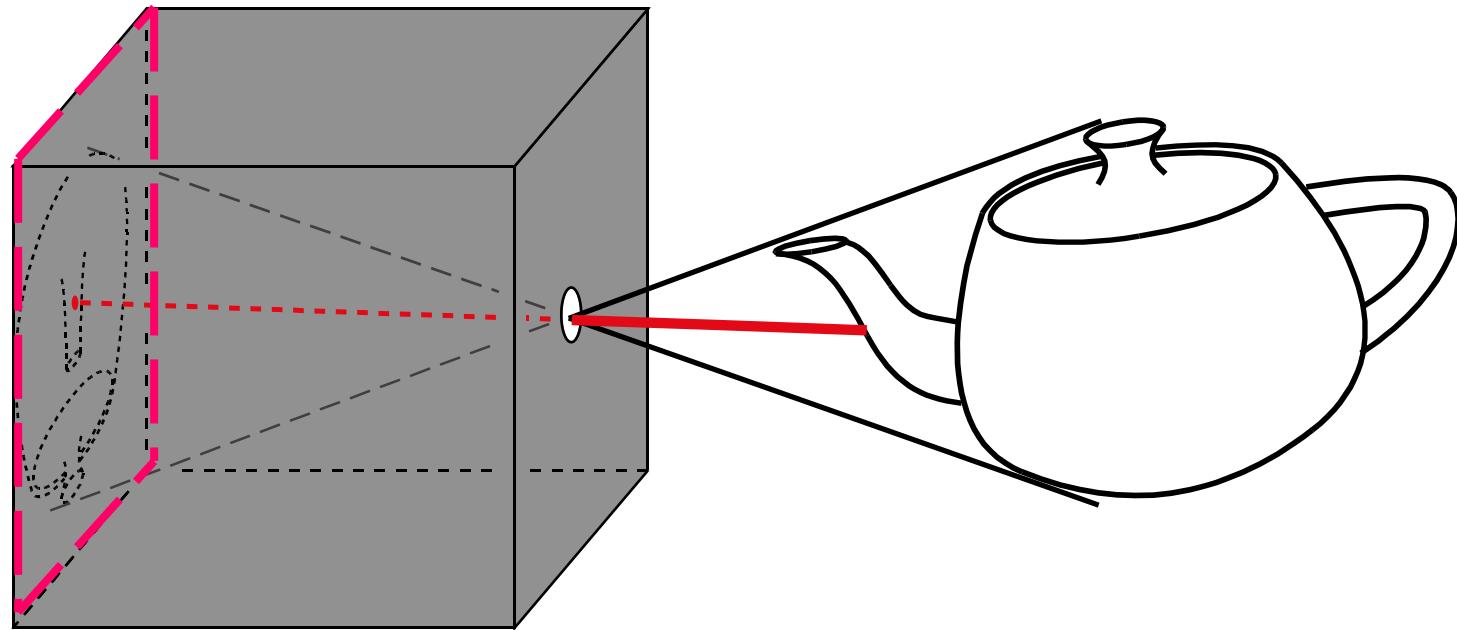
空间连续性



空间连续性：成像平面中的每一个点都接受到了光线，都是图像的组成部分

时间连续性

- 每时每刻，成像平面上都会形成一个像

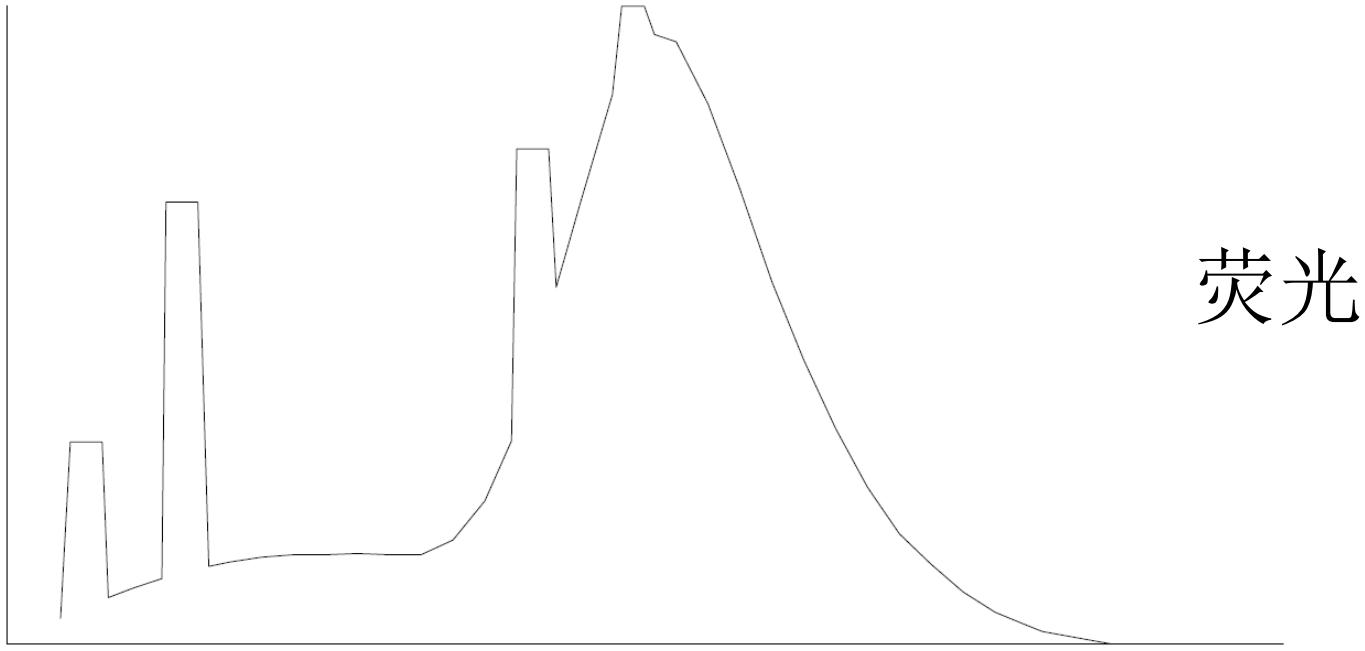


颜色值连续性

- ✓ 对成像平面中的每一个点，所接收到的光线中含有连续的能量分布
- ✓ 包含所有波长的光，是一条能量分布曲线
- ✓ 每个波长的光能量连续取值

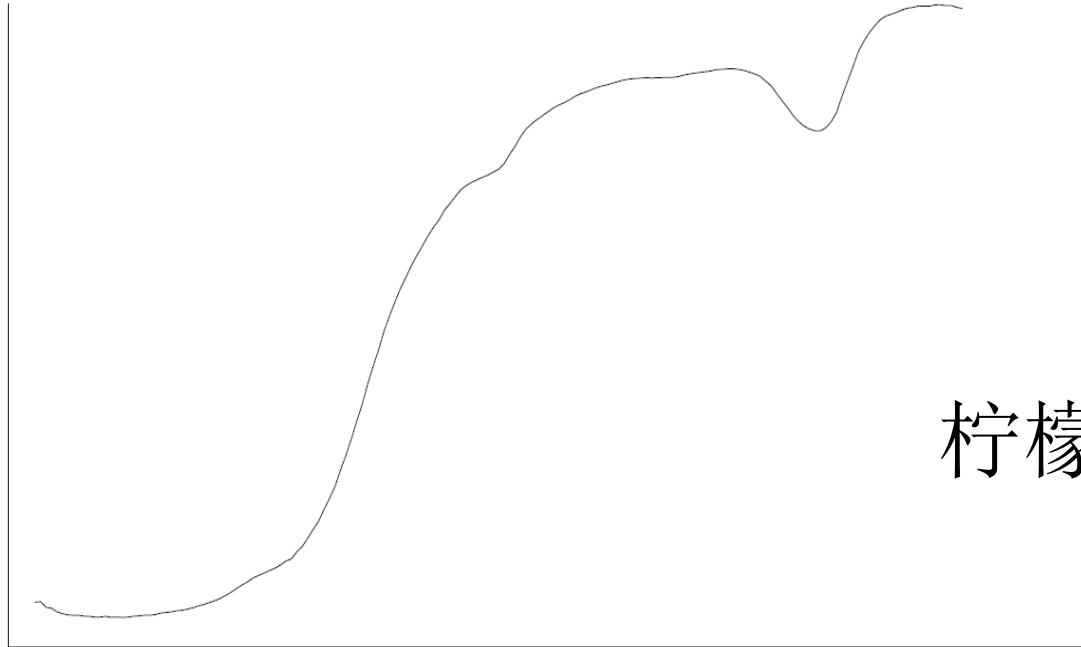
颜色值连续性

- ☒ 谱能量分布
- ☒ spectral power distribution(SPD)



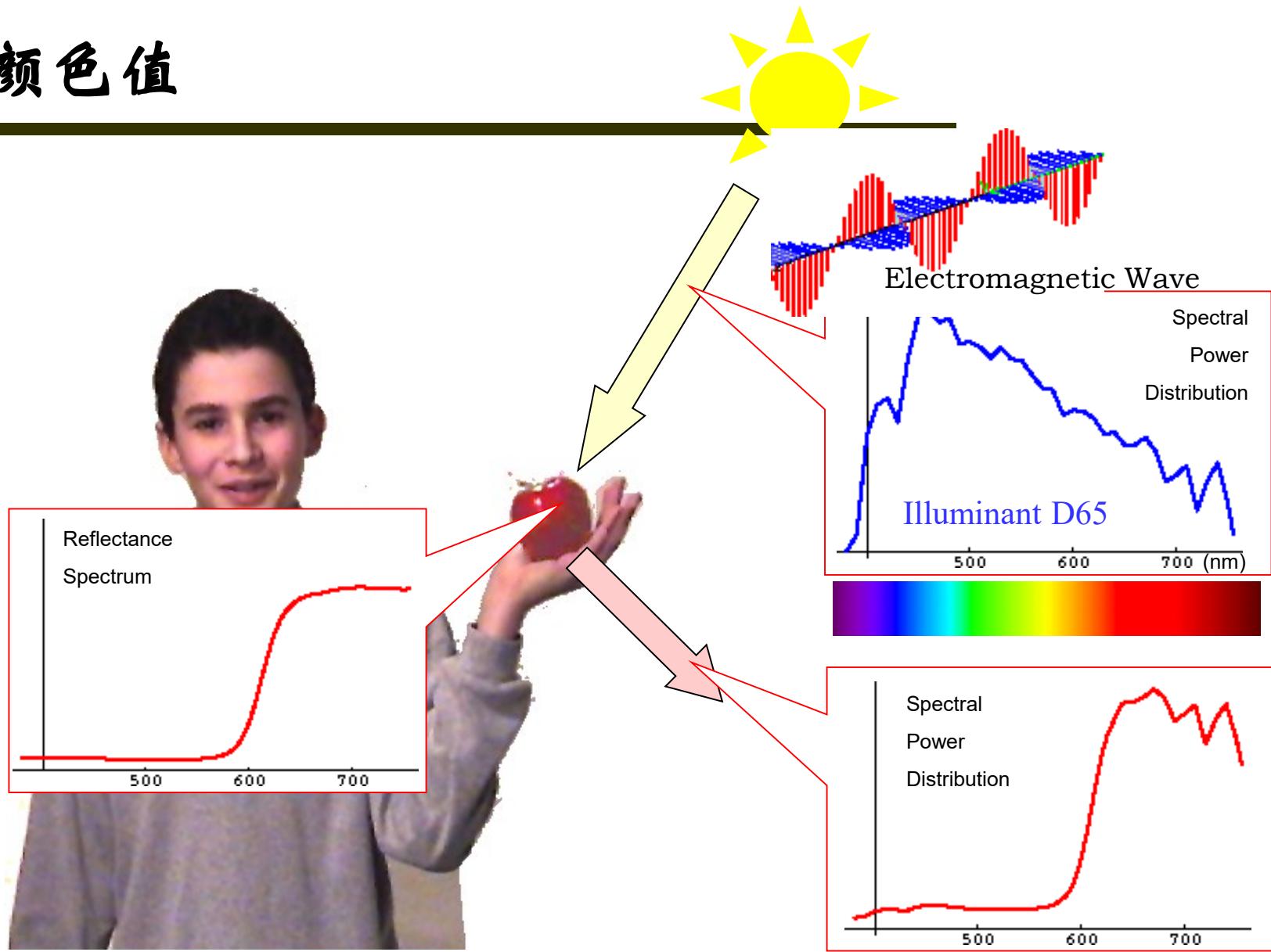
颜色值连续性

谱能量分布

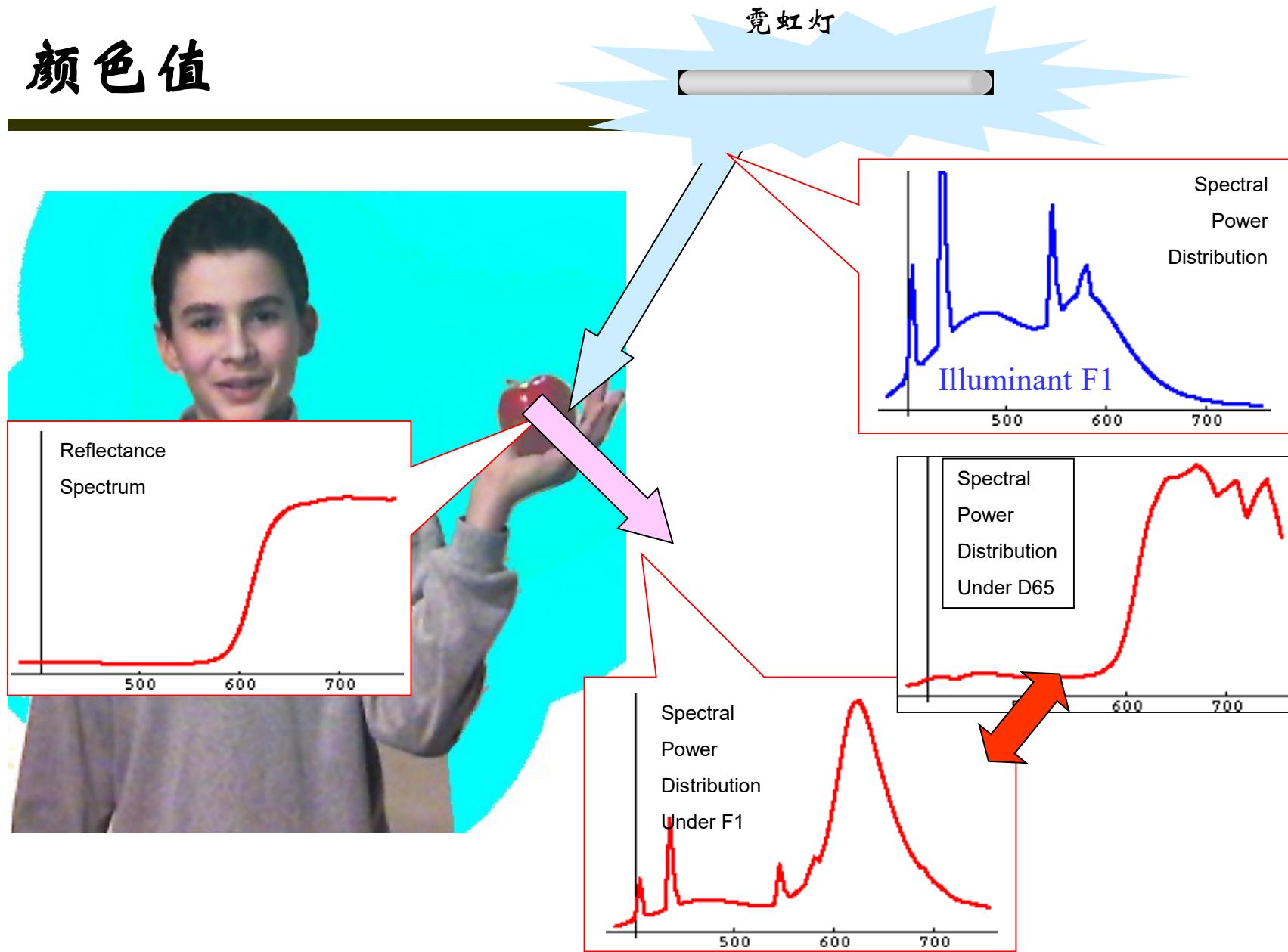


柠檬表皮

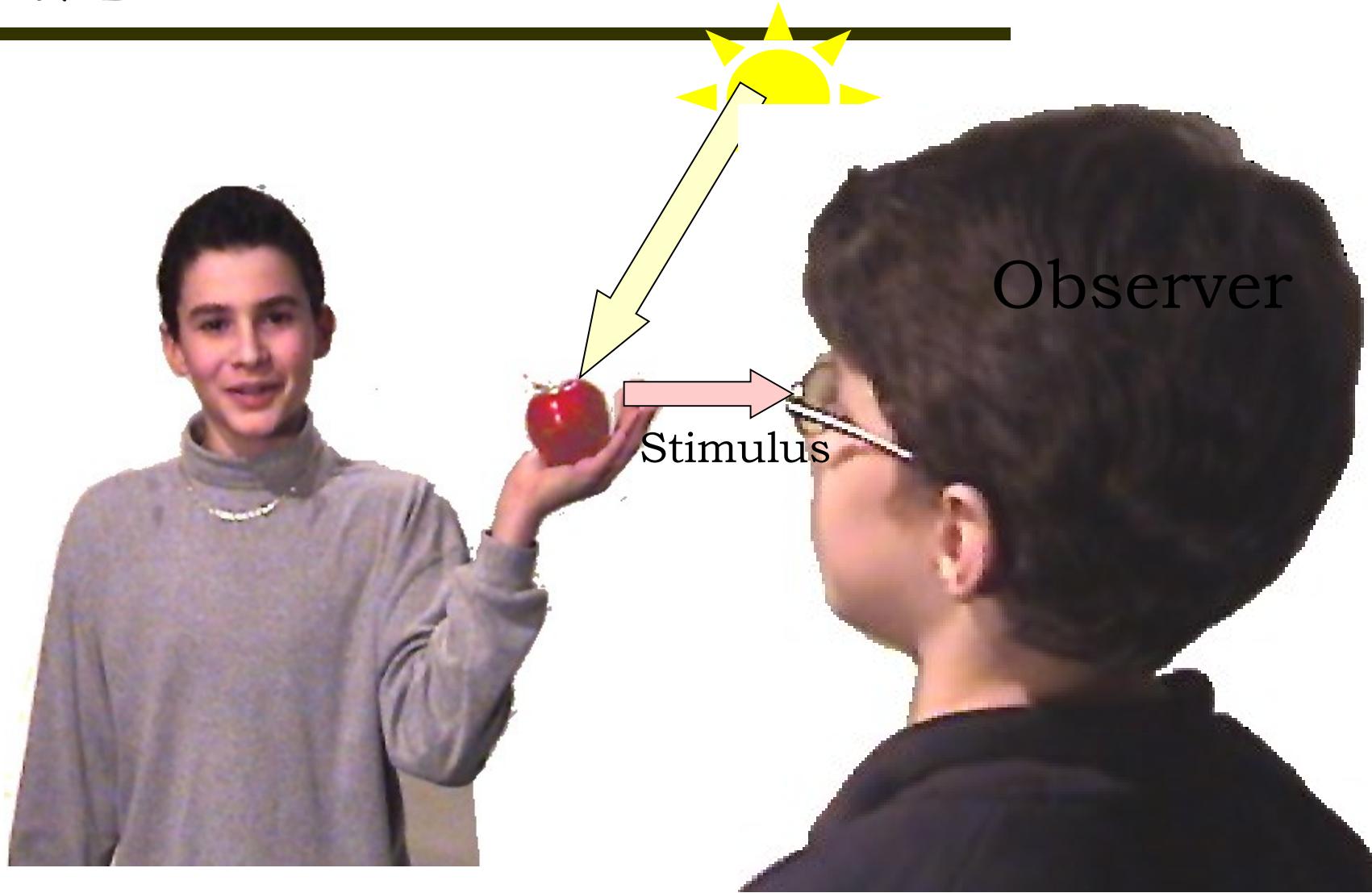
颜色值



颜色值

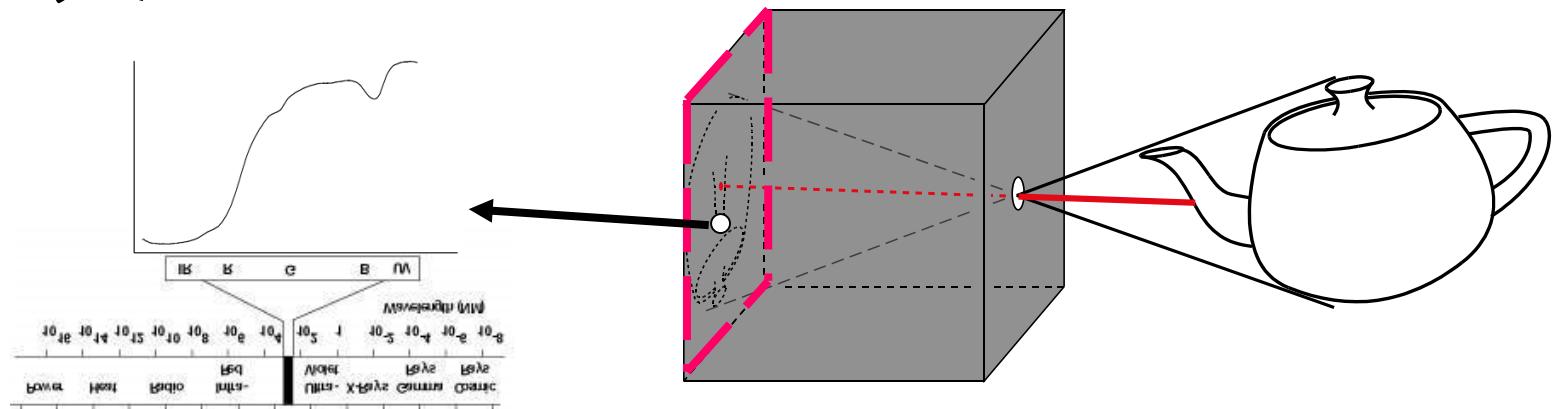


颜色值



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
 - ✓ 当 dt 恒等于0，即时间不变，表明图像是某时间点的快照(snapshot)，即一幅图像

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）

图像数字化

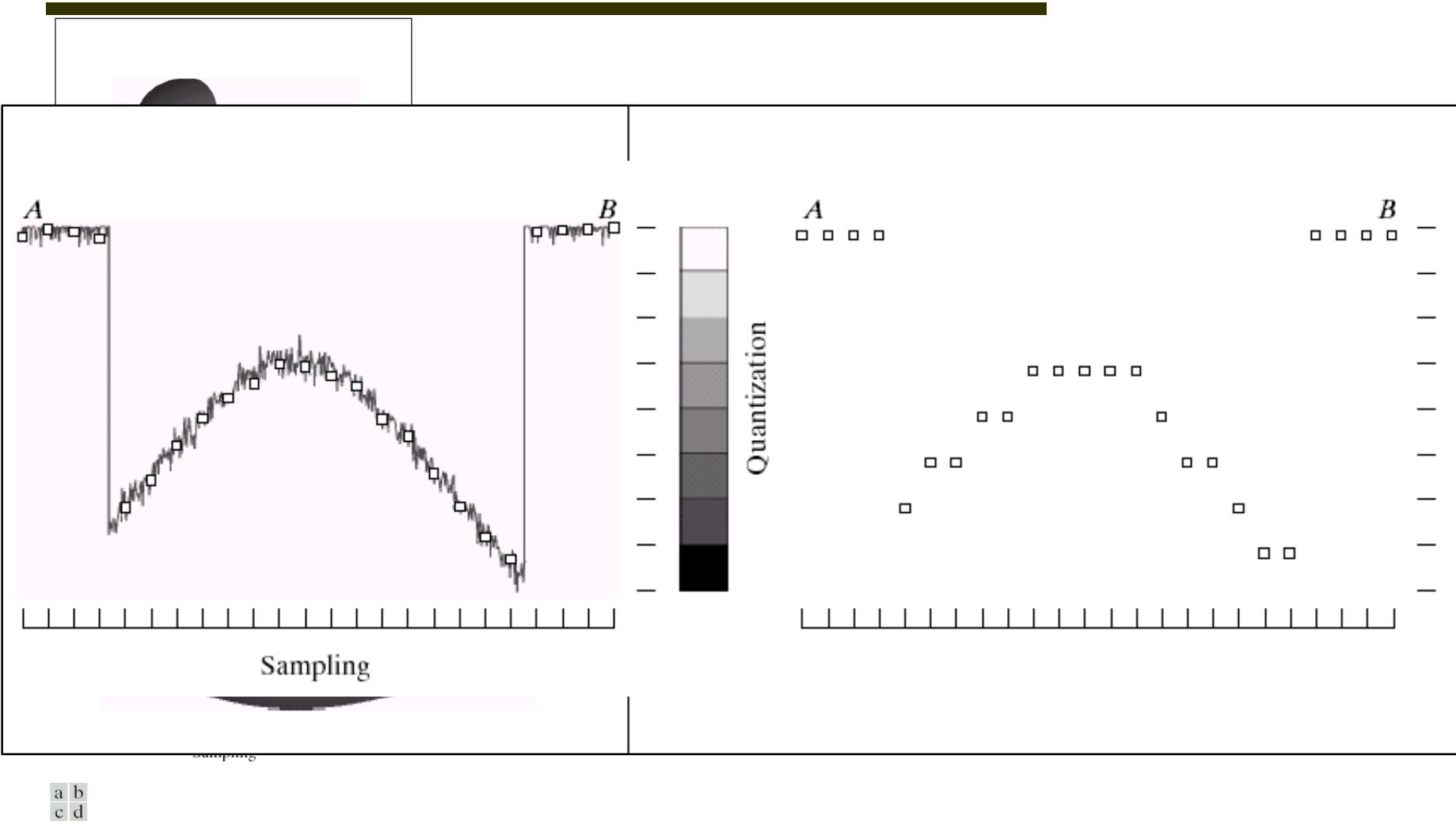
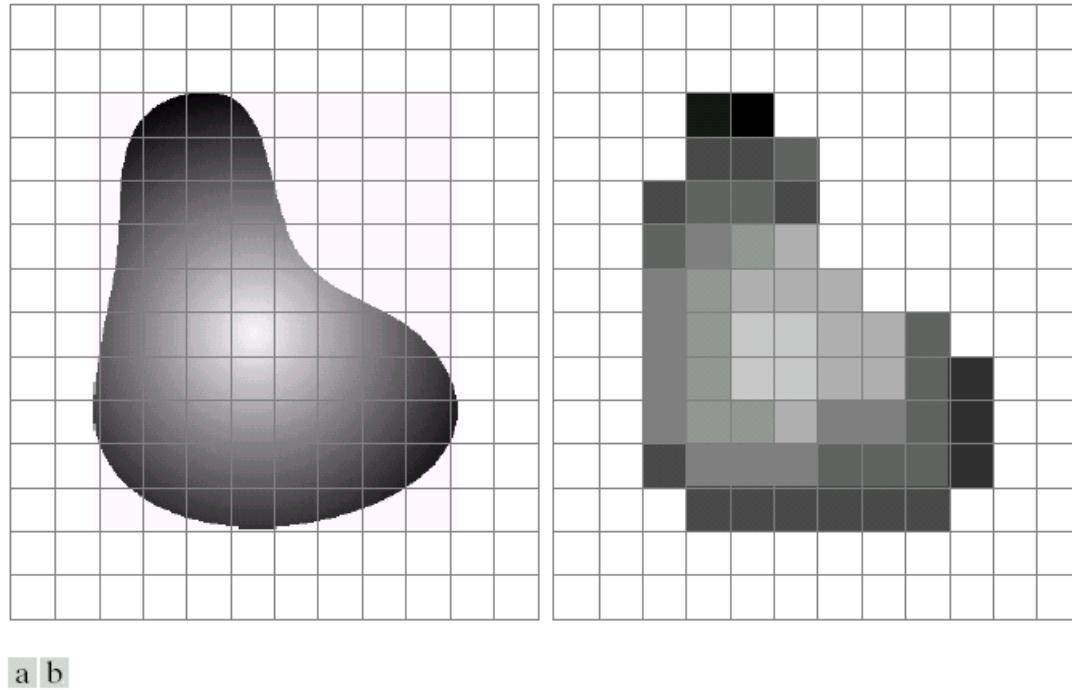


FIGURE 2.16 Generating a digital image. (a) Continuous image. (b) A scan line from A to B in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line.

图像数字化



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuos 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，最后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

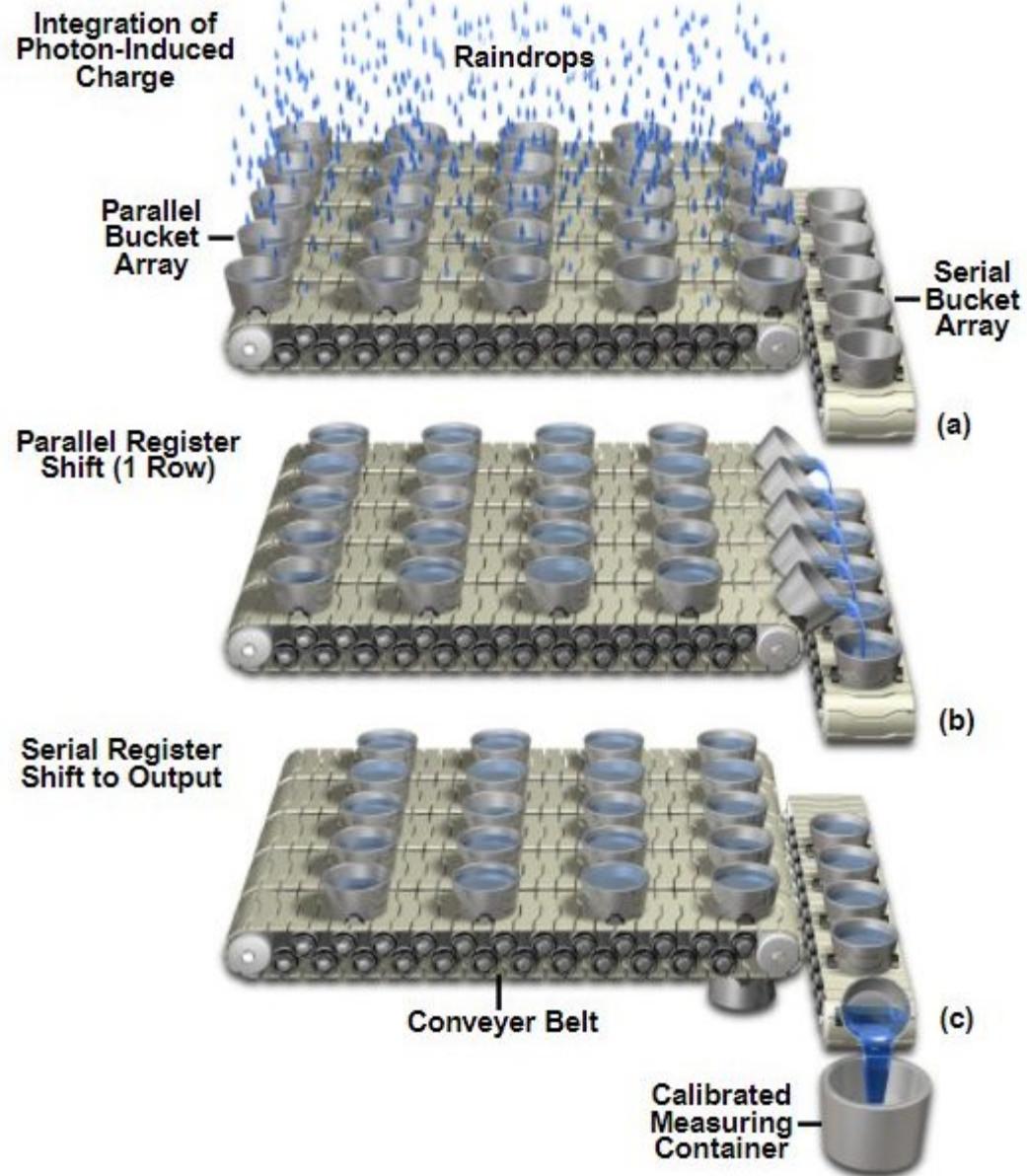
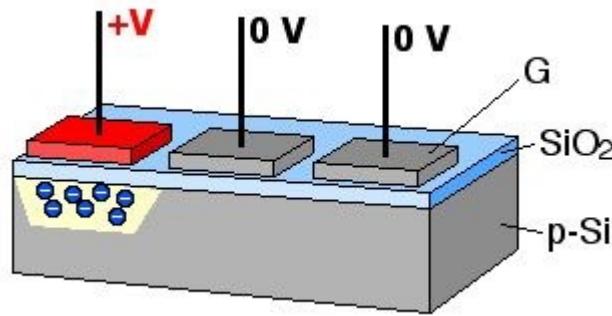
- ✓ 量化器：将传感器输出的连续量（电压、电流等）转换成为整数值，例如使用模拟/数字转换电路，量化器产生一个与输入电压或电流相对应的整数值
- ✓ 存储：采用适当图像文件格式，适当压缩算法对数字图像进行保存

数码相机

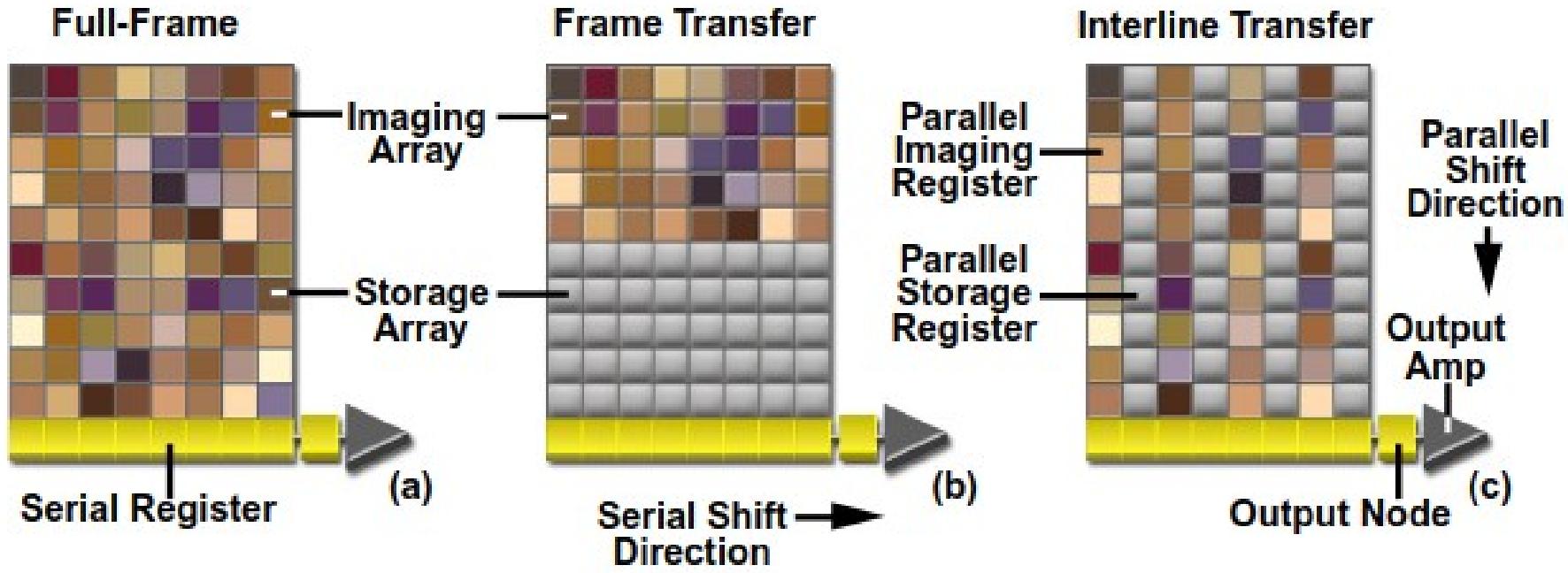
✓ CCD电荷耦合器件

- ✓ 全帧CCD：关闭快门，逐一像素输出，双镜头
- ✓ 行间CCD：在偶数列被掩膜遮挡，为读取服务
- ✓ 帧传送CCD：整帧传递

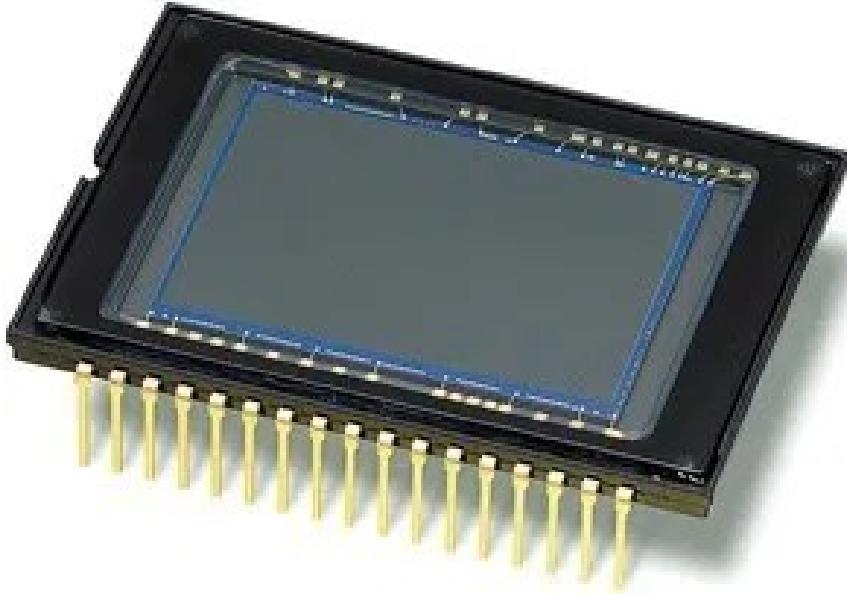
CCD 工作原理



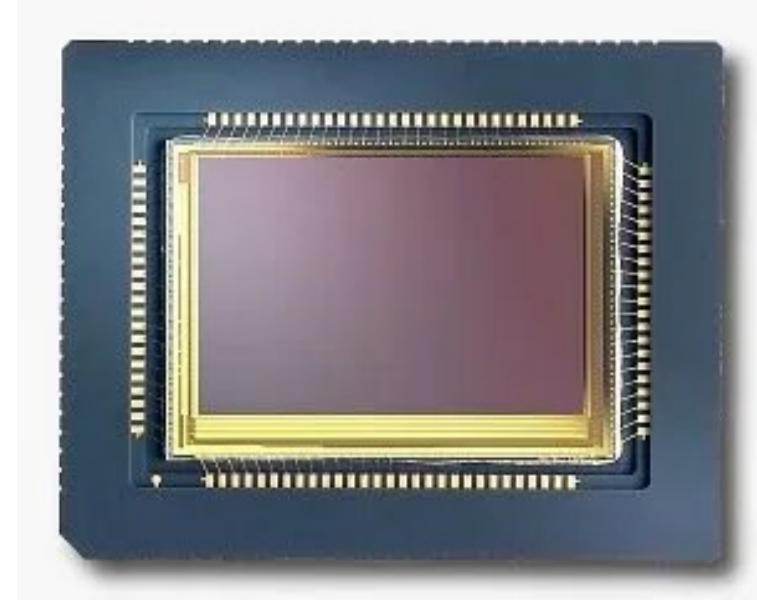
CCD 工作原理



CCD和CMOS



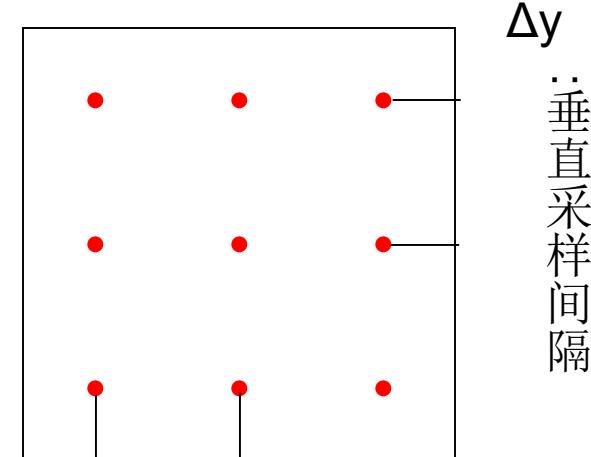
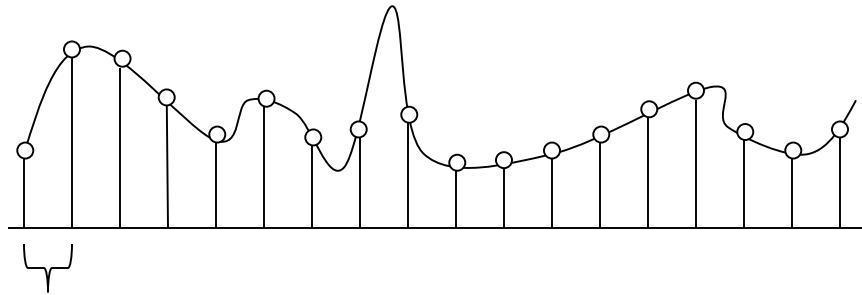
CCD



CMOS

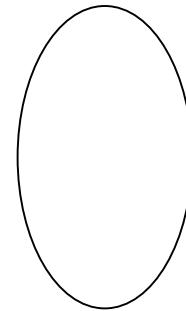
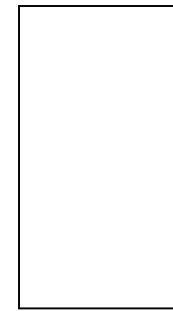
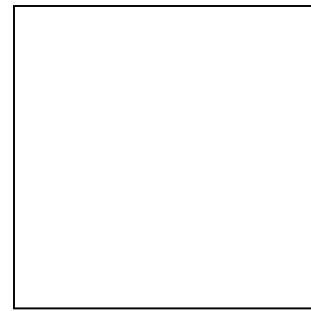
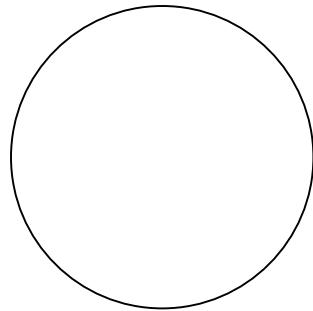
采样

- ✓ 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



采样

- 采样孔径：每个采样点的孔径形状及大小



采样

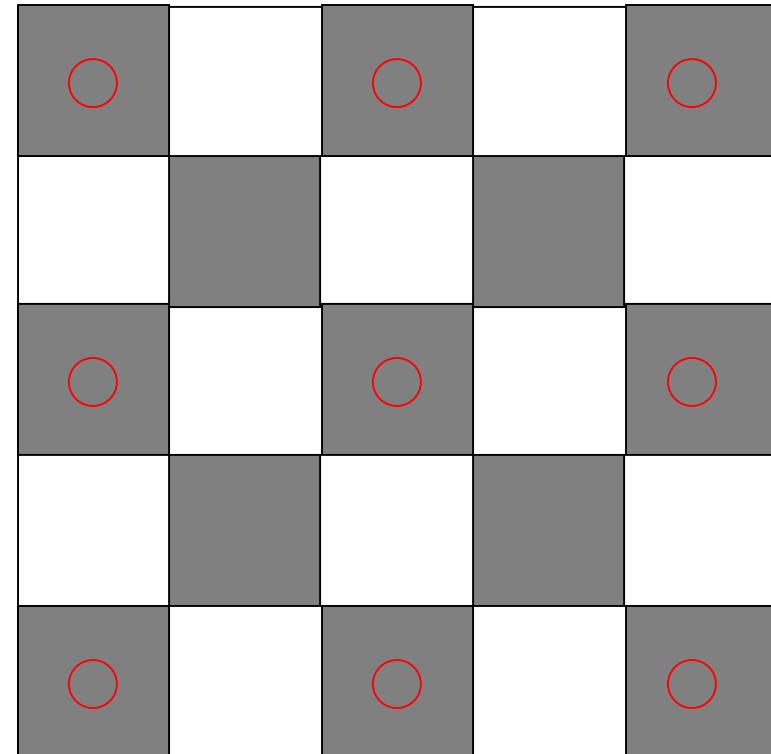
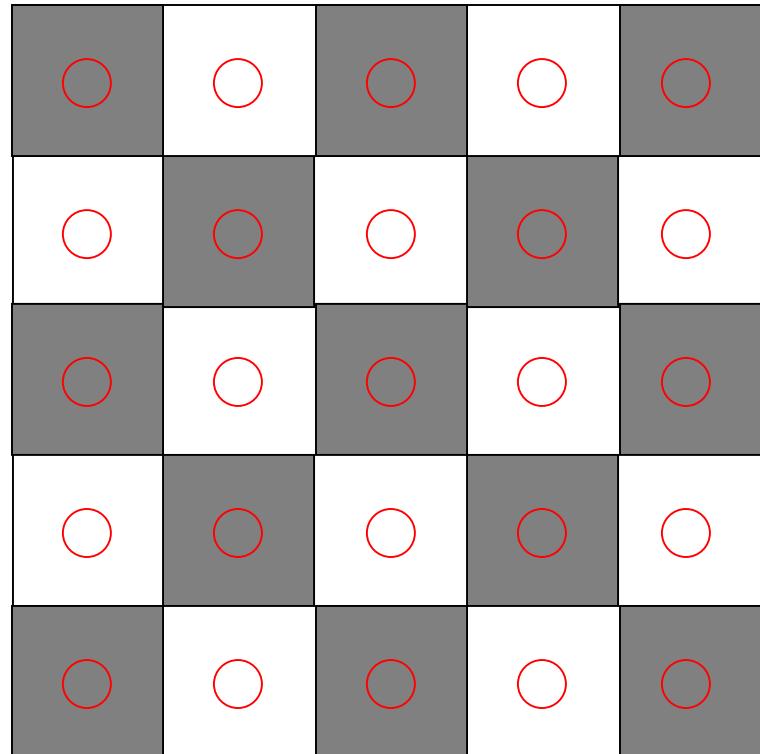
- ✓ 选择合适的采样频率 f
 - ✓ $f=1/\Delta h$ 其中 Δh 为采样间隔
- ✓ 采样定理：只要采样频率大于被采样信号/函数频率的两倍，即可恢复原信号/函数
 - ✓ $f \geq 2v$, v 为原信号的频率, f 为采样频率

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



采样

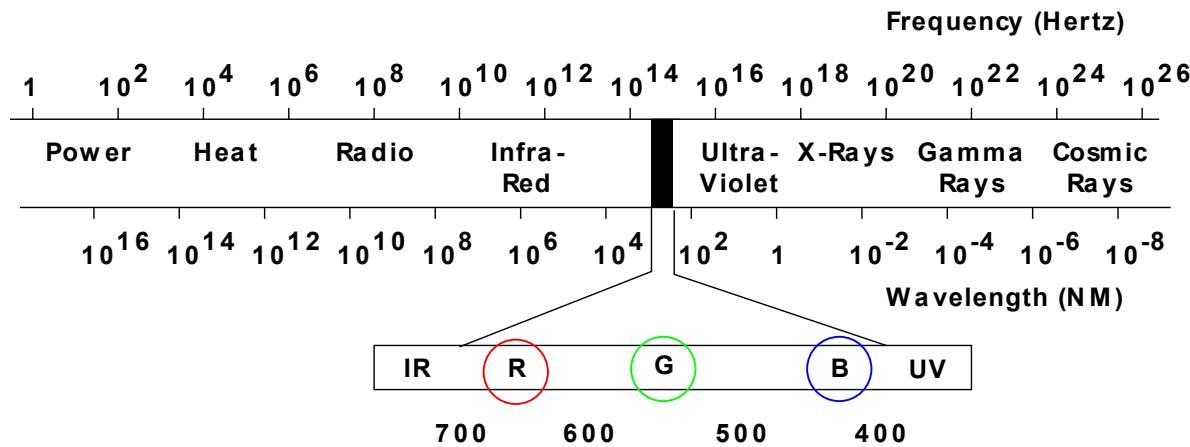


量化

- ✓ 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

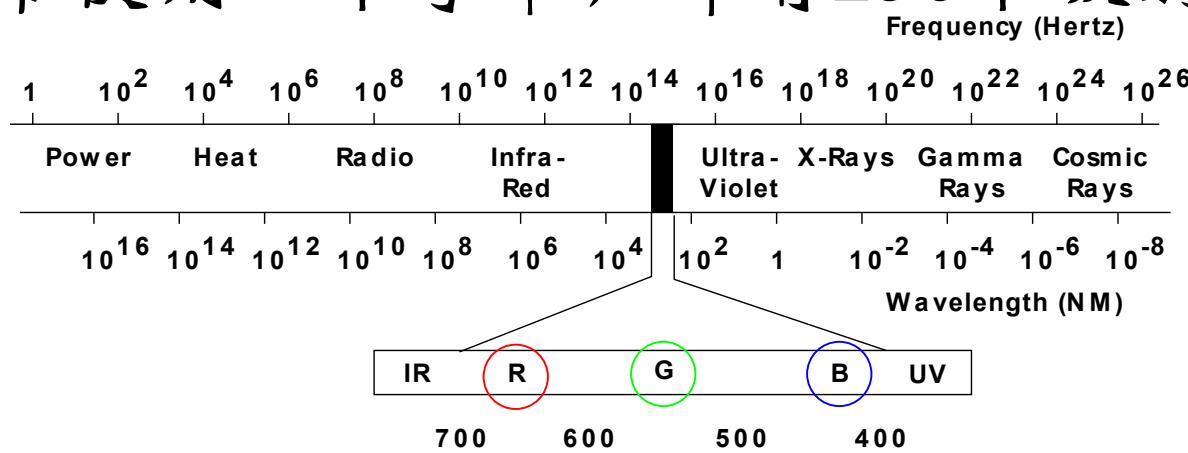
将连续能量谱离散化

- 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

256个灰度级

How many gray levels are required?

- Contouring is most visible for a ramp

32 levels



64 levels



128 levels



256 levels



- Digital images typically are quantized to 256 gray levels.



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

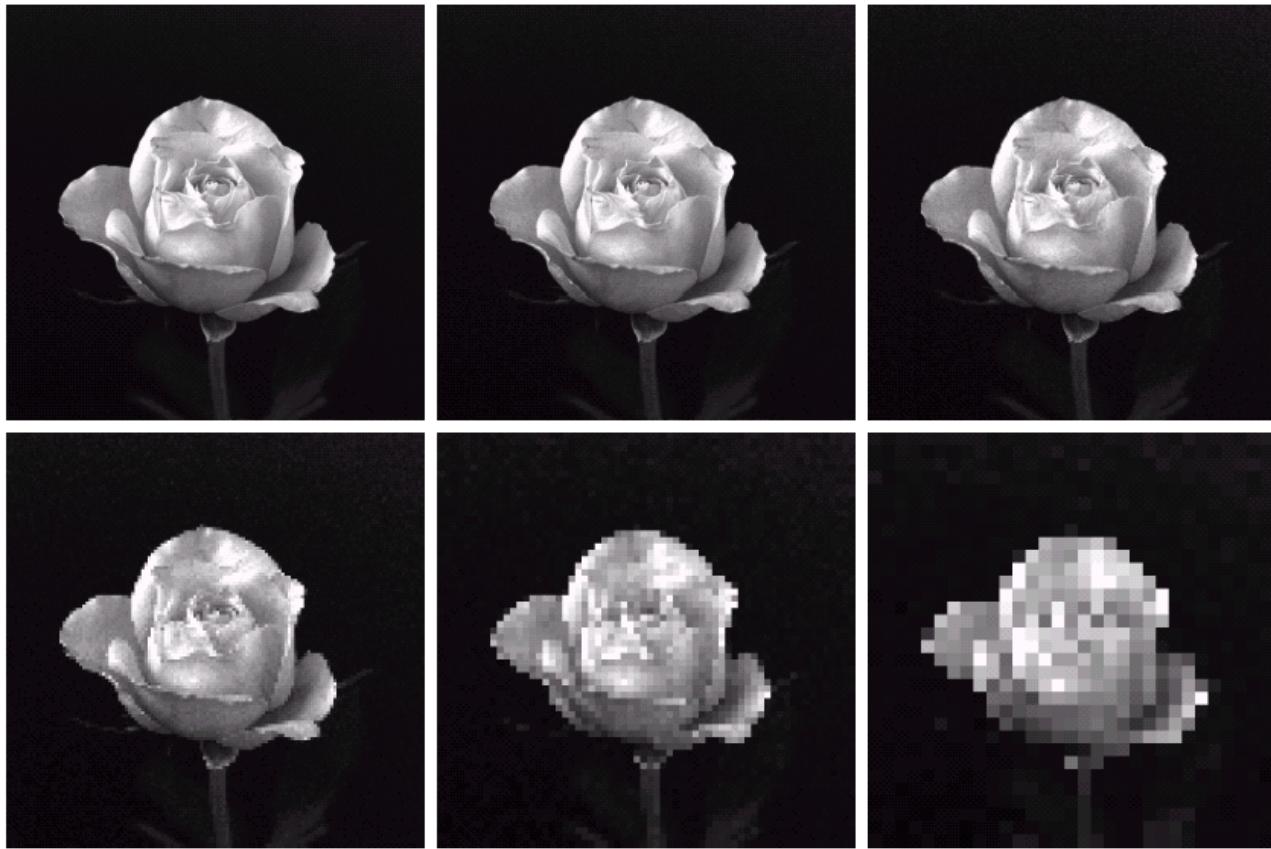
空间分辨率



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

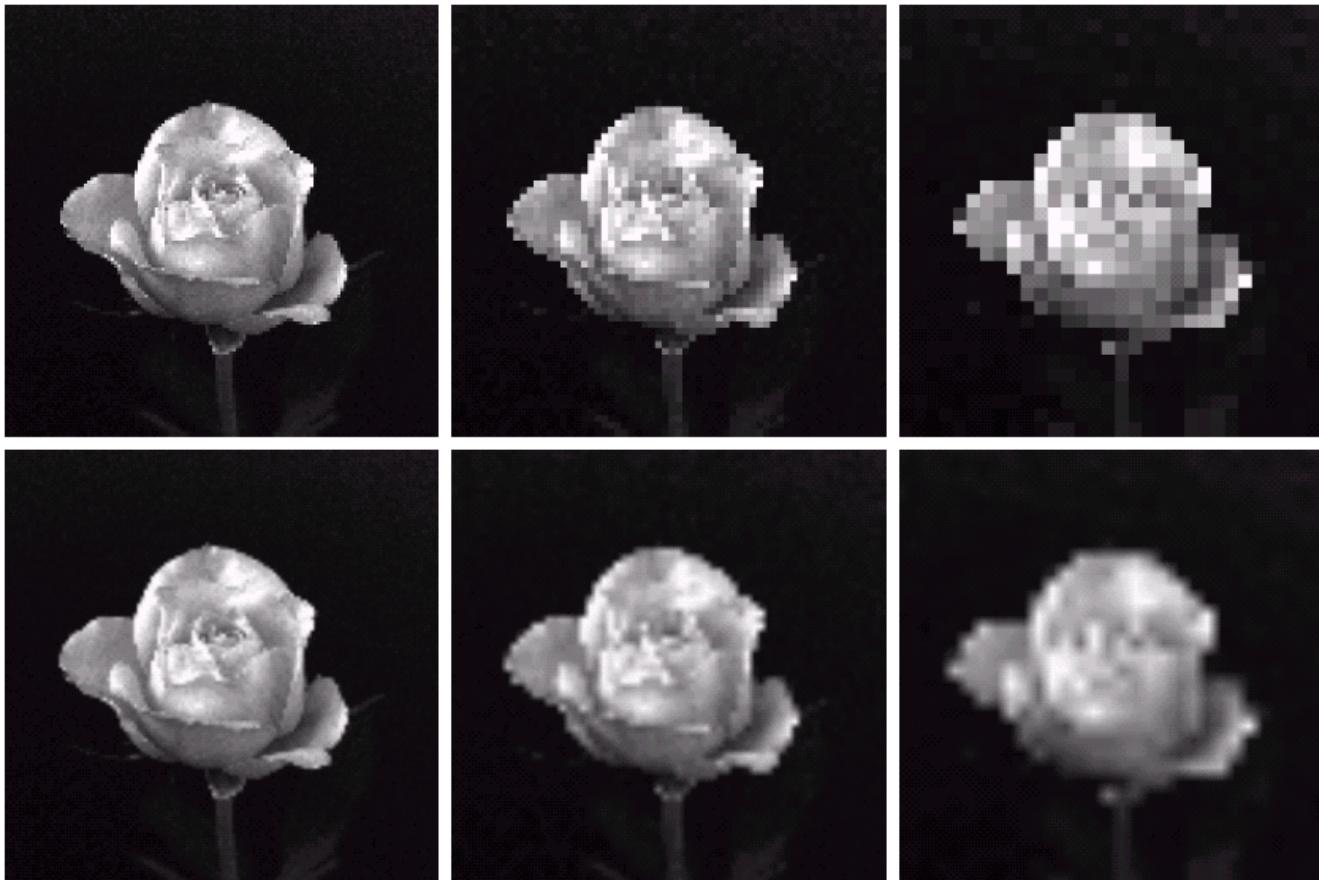


a b c
d e f

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.

行复制，列
复制的方法
恢复图像到
 1024×1024

空间分辨率



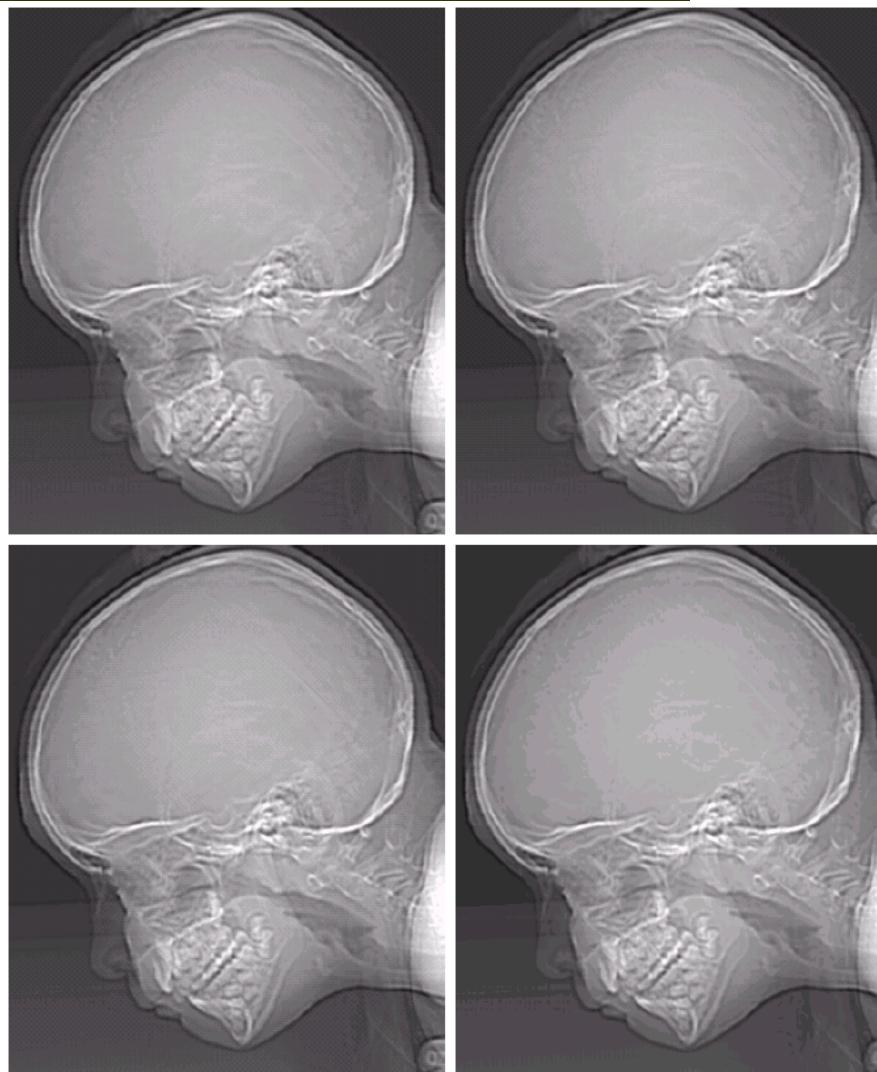
a b c
d e f

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

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.)

