



数字图像处理

第 2 章

数字图像基础

本章主要内容



- 视觉基础
- 光、电磁波谱
- 采样和量化
- 像素间的一些基本关系
- 数字图像的质量与影响清晰度的因素
- 有关图像分辨率的概念

本章基本要求

➤ 基本要求

- 掌握人眼的视觉特性及与图像处理的关系
- 掌握图像质量度量的基本方法

➤ 实验技能：

- 从模拟图像到图像数字化
- 读取数字图像（图像的输入及输出）

➤ 计划学时 2-3 学时

§ 2.1 视觉基础



➤ 视觉研究:

- 光的物理特性(光波、光谱);
- 光刺激视觉感受器官的程度(视觉适应、光度学色度学);
- 光作用于视网膜后产生的亮度和颜色的感觉;

§ 2.1视觉基础



- 人类视觉是人眼对场景可见光能量在视网膜上形成的一种刺激，通过人脑对刺激信号的处理，获取场景的描述和感知。
- 长期进化，眼睛和神经系统组成人类视觉的功能已非常完善，尽管视觉机理不十分清楚，但它所表现出的特征和能力，给计算机视觉研究提供了良好的启示和无限的研究课题。
- 人类视觉存在一些弱点：
- 人类进化过程中，总是把重点放在与生存活动密切相关的方面，视觉功能也不例外。另外，场景图像的复杂性有时也会使人类视觉无能为力。

§ 2.1视觉基础

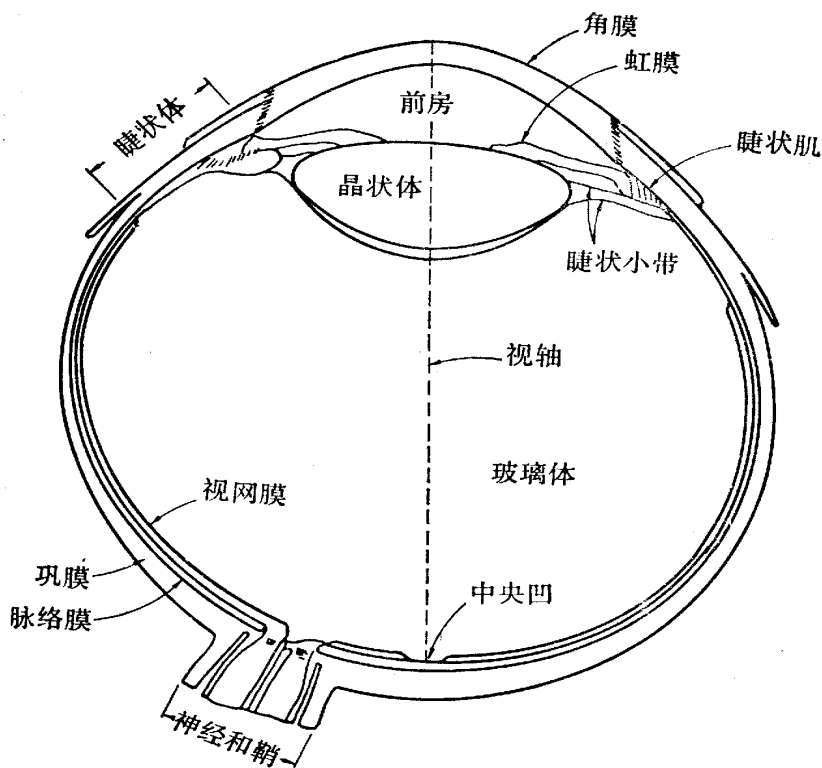
1. 人只能感觉可见光波段能量，对其它波段不敏感；
 2. 人眼视场角固定，空间分辨率和灰度分辨率有限；
 3. 人眼有积分效应，对单次图像瞬间变化，快速运动图像分析、存储困难；
 4. 准确测量图像参数能力较差；
 5. 受知识水平差异的影响，人对同一图像的响应不同；
 6. 人是有思想的生物体，视觉受情绪和疲劳程度的影响。
- 因此必须了解人的视觉系统、研究视觉模型；
- 思路：视觉模型->图像感知->图像采样

§ 2.1视觉基础

➤1、人眼构造

- 物体图像是可见光刺激人的视网膜引起的视觉感受；即视觉与人眼密切相关，研究视觉必须对人眼生理结构有所了解。
- 人眼结构：视网膜表面分布着许多光接受细胞；
- 光接受细胞具体分为两类：
锥细胞、柱细胞；

§ 2.1 视觉基础



- 眼球结构

- 平均直径：20mm
- 虹膜：2mm~8mm控制入光量
- 视网膜：图像视觉
- 锥细胞：亮度
颜色和细节识别
600万~700万
- 柱细胞：
7500万~15000万
- 夜视和微光视觉
- 中央凹：传感矩阵

§ 2.1视觉基础

(1) 锥细胞：约700万个，对细节和颜色很敏感；

锥细胞视觉称为明视觉或亮光视觉；

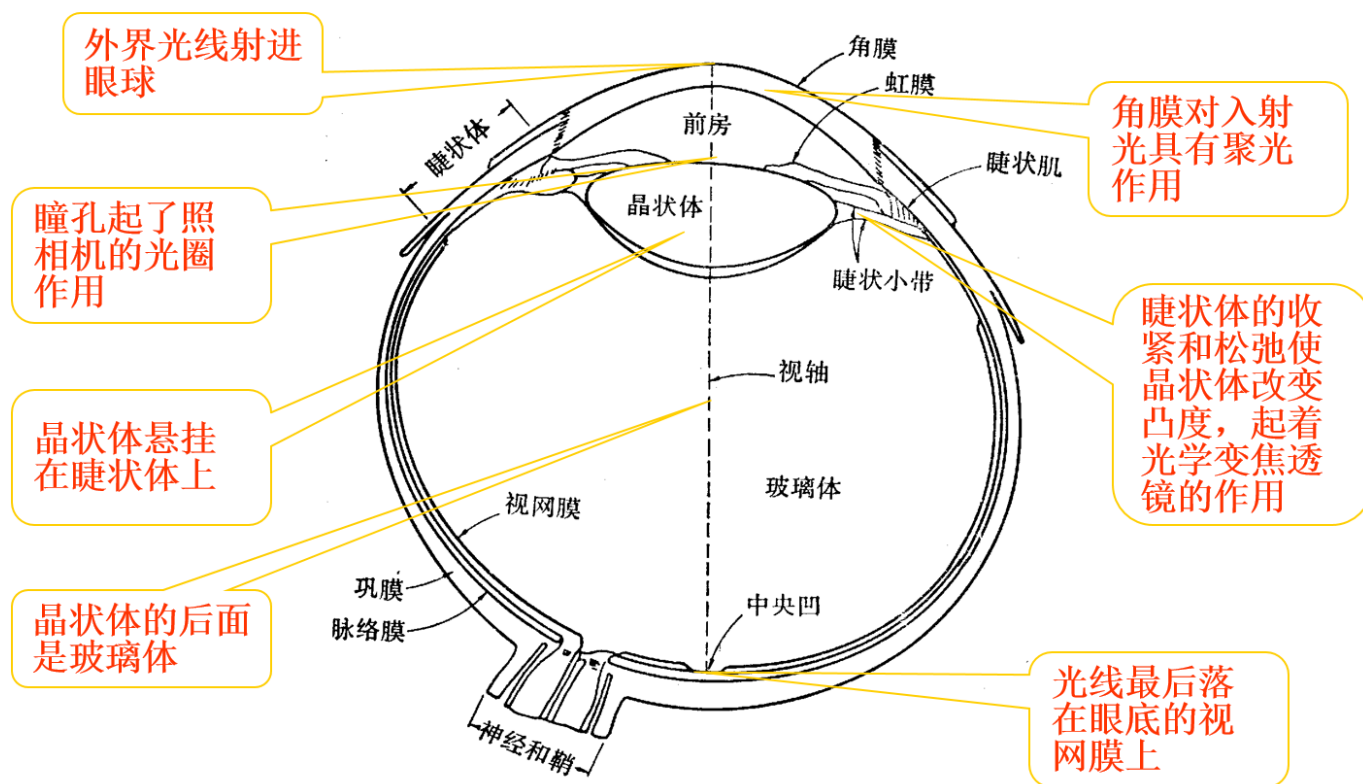
(2) 柱细胞：约1亿4000万个，分辨率比较低，对低照度较敏感，它们不感受颜色，主要提供视野的整体视像；

柱细胞视觉称为暗视觉或微光视觉；

(3) 视网膜中心可看作 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 的方形传感器矩阵 (机器人用传感器模拟人眼)；

§ 2.1 视觉基础

➤ 2、人眼中图像的形成



§ 2.1视觉基础

➤ 3、视觉现象

➤ 一、同时对比度

➤ 在相同亮度的刺激下,由于背景亮度不同,人眼所感受到的主观亮度不同,这种效应称为同时对比度。

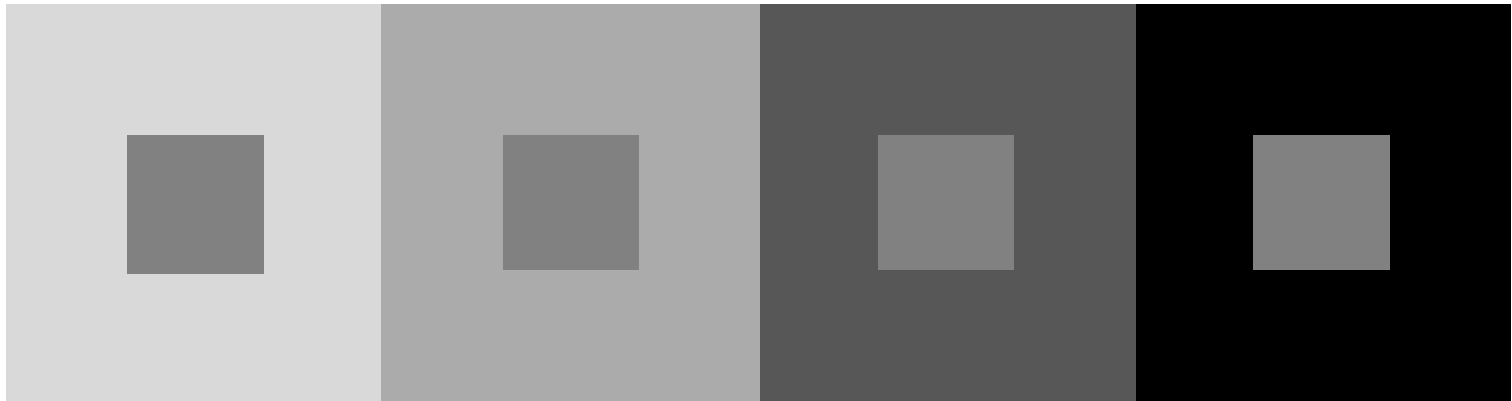
➤ 同时对比度分为:

➤ 亮度对比: 由亮度差别引起的, 故称为亮度对比;

➤ 色度对比: 由背景颜色不同引起的;

§ 2.1视觉基础

亮度对比：

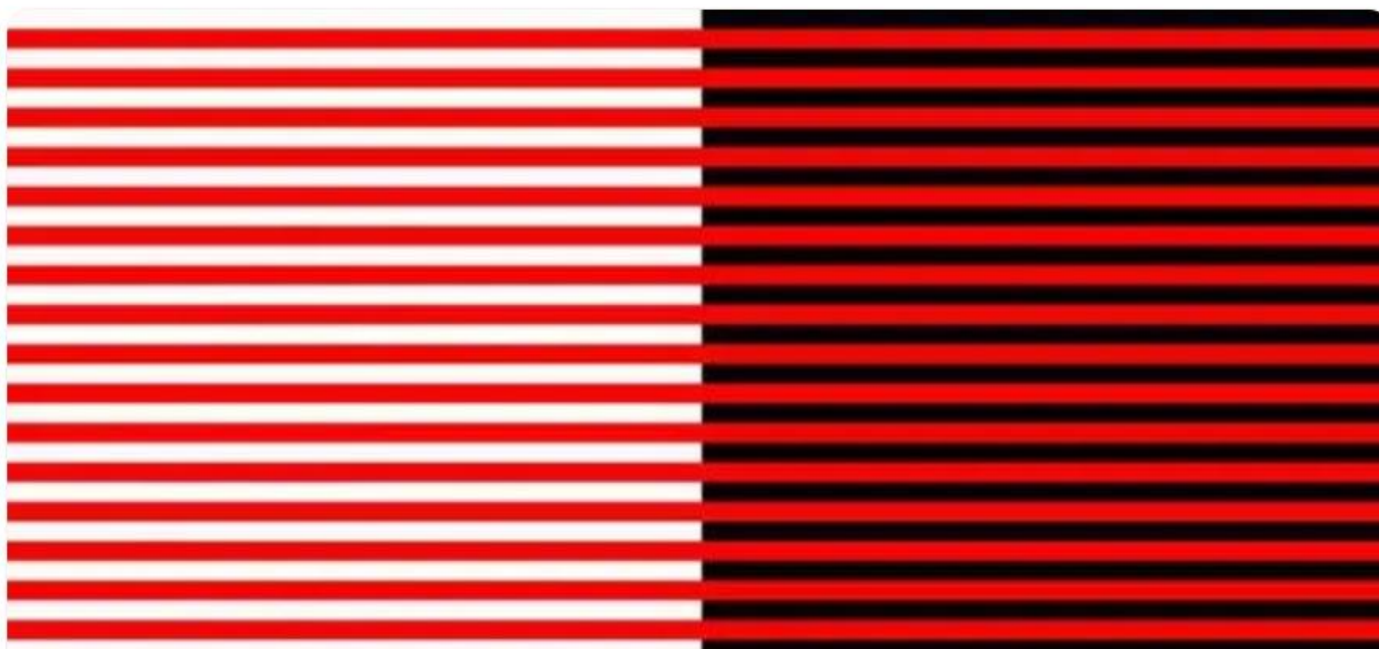


- 背景亮度：从明亮到黑暗
 - 目标小方块：灰度相同
- 四个图像中那个目标显得亮？？？
- 亮度对比提示我们：
 - 背景亮度不同，人眼所感受的主观亮度值也不一样。
 - 同时对比效应随着背景面积增大而显著；

§ 2.1 视觉基础

➤ 色度对比：

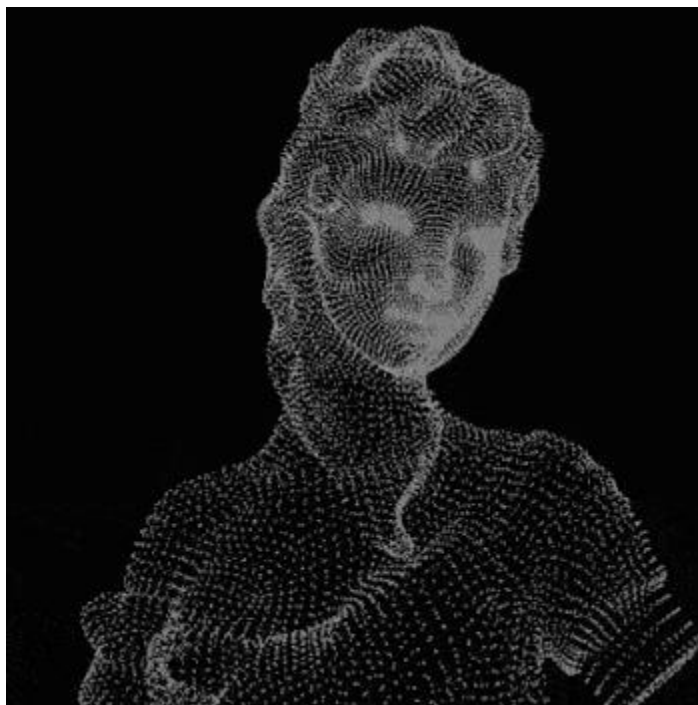
物体 → 背景 → 视觉



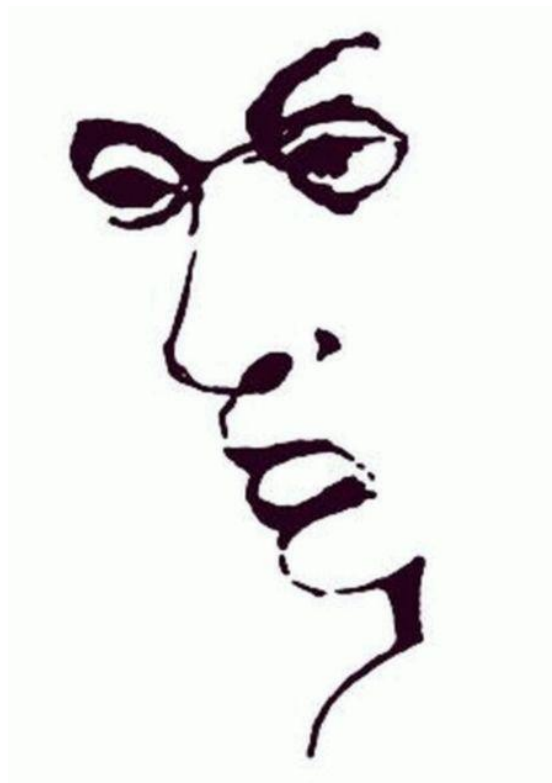
两边的红色其实是一模一样



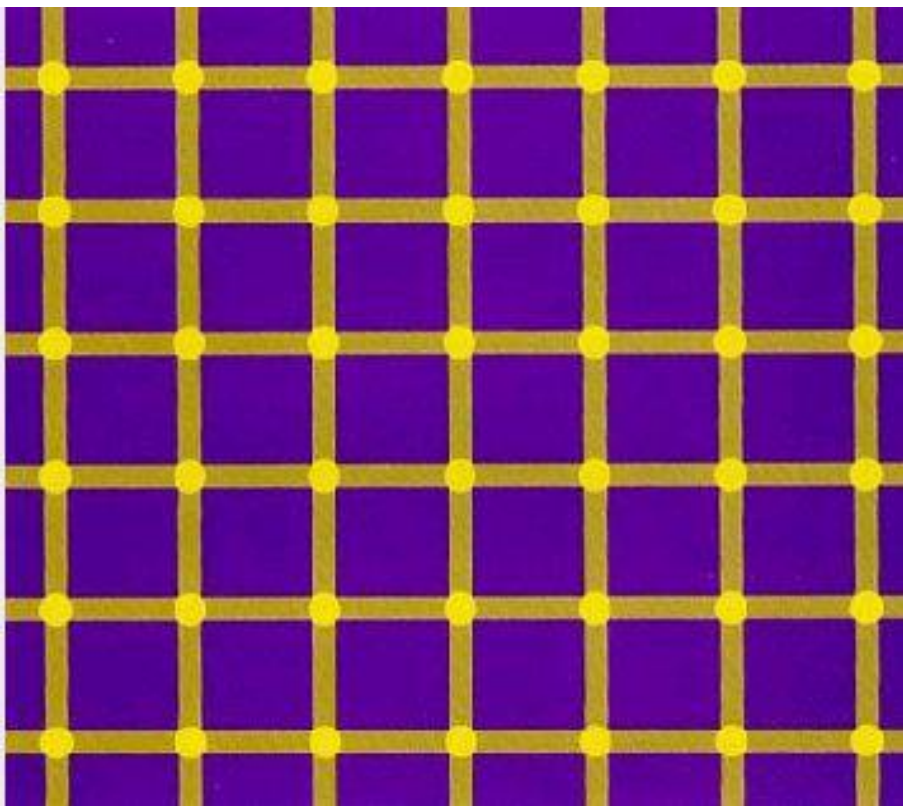
杯子没有凹陷



左旋/右旋？



你能读懂画的字吗？如果你把头向右偏45度看看这张照片，愤怒的脸消失部件了，你会看到一个单词“liar”



跳动的黑点



一个高脚杯，还是两张脸部？

§ 2.1 视觉基础

➤ 亮度对比计算公式： $C_r = \text{abs}(B - B_0) / B_0 * 100\%$;

➤ 式中， B 为物体亮度， B_0 为背景亮度。

- 举例：两幅完全相同的图像，背景亮度不同，哪一幅图像人眼观察时觉得更亮呢（目标的亮度均为50）？

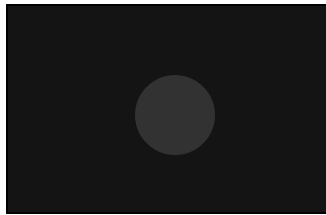


图1

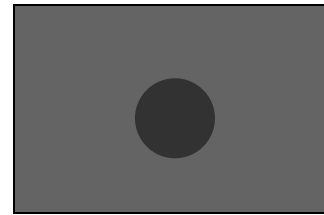


图2

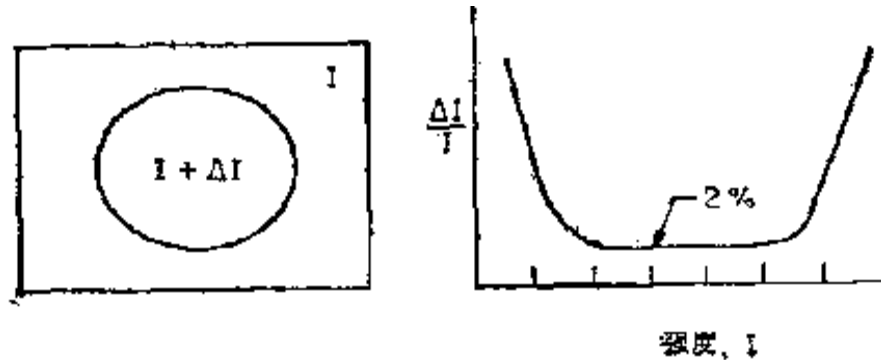
- 图1中背景亮度为20，图2中背景亮度为100。
- 图1的 $C_r = \text{abs}(50 - 20) / 20 * 100\% = 150\%$ ；
- 图2的 $C_r = \text{abs}(50 - 100) / 100 * 100\% = 50\%$ ；
- 所以，图1中的目标比图2中的显得亮一些。

§ 2.1视觉基础

➤二、对比灵敏度

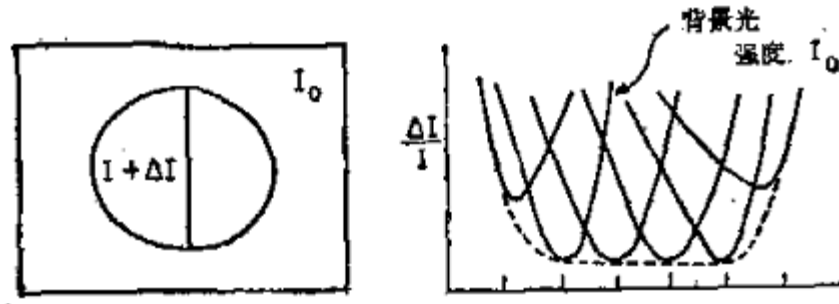
- 在均匀照度背景 I 上，有一照度为 $I+\Delta I$ 的光斑，称眼睛刚好能分辨出的照度差 ΔI 与 I 的比($\Delta I/I$)为对比灵敏度；
- 由于背景亮度 I 增大， ΔI 也需要增大，因此在相当宽的强度范围内，对比灵敏度是一个常数，约等于0.02，这个比值称为韦伯比(Weber比)。
- 亮度很强(弱)时不为常数。

§ 2.1 视觉基础



- 无环境照度时：
 - 背景均匀照度 I
 - 光斑照度为 $I + \Delta I$, 眼睛刚能分辨出的照度差是 I 的函数;
 - 当背景照度 I 增大时, 分辨出的光斑 ΔI 也增大;
 - 韦伯比为 0.02;
 - 在中间强度范围内, $\Delta I / I$ 的数值为一常数 2%。
 - 在亮度很强或很弱时, 这个数值不保持为常数。

§ 2.1 视觉基础



➤ 有环境照度时：

- 眼睛的对比灵敏度还与周围环境有关。
- 周围环境的照明强度为 I_0
- 设有两个相邻的光斑，一个强度为 I ，另一强度为 $I + \Delta I$ 。
- $\Delta I / I$ 比值为常数的范围要大大减小，而且是环境照明强度 I_0 的函数
- 上图中曲线谷点的包络线与无环境照度曲线相同。

§ 2.1视觉基础



➤ 举例：背景亮度为100英尺朗伯时，人眼刚能分辨某一生物发光物体的亮度是多少？

➤ 根据对比灵敏度计算，得

$$I + \Delta I = 100 + 100 * 0.02 = 102$$

$$\text{或 } I - \Delta I = 100 - 100 * 0.02 = 98$$

§ 2.1视觉基础

三、视觉系统的分辨率(不同领域有着不同的含义)

人眼刚好能够鉴别空间上或时间上二相邻视觉信号存在的能力称为系统的分辨率。

用刚能分辨黑白线对数(1mm内)来定义分辨率。(与视网膜单位面积内分布的视细胞数有关，测量整体功能。)分辨率可用视觉锐度(空间域)、调制传递函数(频率域)来测度。

§ 2.1视觉基础

➤视觉锐度：

- 能够鉴别最小空间模式的一种测度
- 用试验模式的视角 α 的倒数来定义锐度， α 以分为单位。

➤调制传递函数(MTF)：

- 定义为频域中输出频谱函数的绝对值与输入频谱函数的绝对值之比。
 - 方法是输入沿水平方向按正弦方式变化的线栅，一张正弦光栅作为参考图，对比度和空间频率固定，另一张可变，作为测试图，让观察者在一定距离处看这两张正弦光栅。更换不同频率的测试图反复测试，得到视觉的MTF。
- MTF具有带通滤波特性。

§ 2.1视觉基础

四、Mach带(Mach马赫1865年观察并讨论而得名)

马赫带效应（**Mach band effect**）指的是一种主观的边缘对比效应。当观察两块亮度不同的区域时，边界处亮度对比加强。

侧抑制效应：视觉信号并不是单纯由一个视觉细胞感觉产生的，而是由相邻视觉细胞信号加权和形成的。



§ 2.1视觉基础



因此，Mach带可用侧抑制机理来解释。

可认为是局部空间域内神经细胞之间相互作用的结果。（主观感觉的图像强度比实际的图像强度增加了一个分量，相当于对原图进行了二阶导数的操作。）

同时对比度和马赫带效应表明，人所感觉到的亮度并不是强度的简单函数。

结论：人的视觉系统是非线性和各向异性的。

§ 2.1视觉基础

五、亮度适应级

- 亮光适应：暗处到亮处的亮度适应能力，约1-2秒。
- 暗光适应：亮处到暗处的亮度适应能力，约20-30秒。

§ 2.1视觉基础

六、主观轮廓和空间错觉

□错觉是由多个视觉细胞复杂的全局相互联系所引起；

□主观轮廓：

□例如边界并不存在，主观上感知存在。如直线围成的圆；

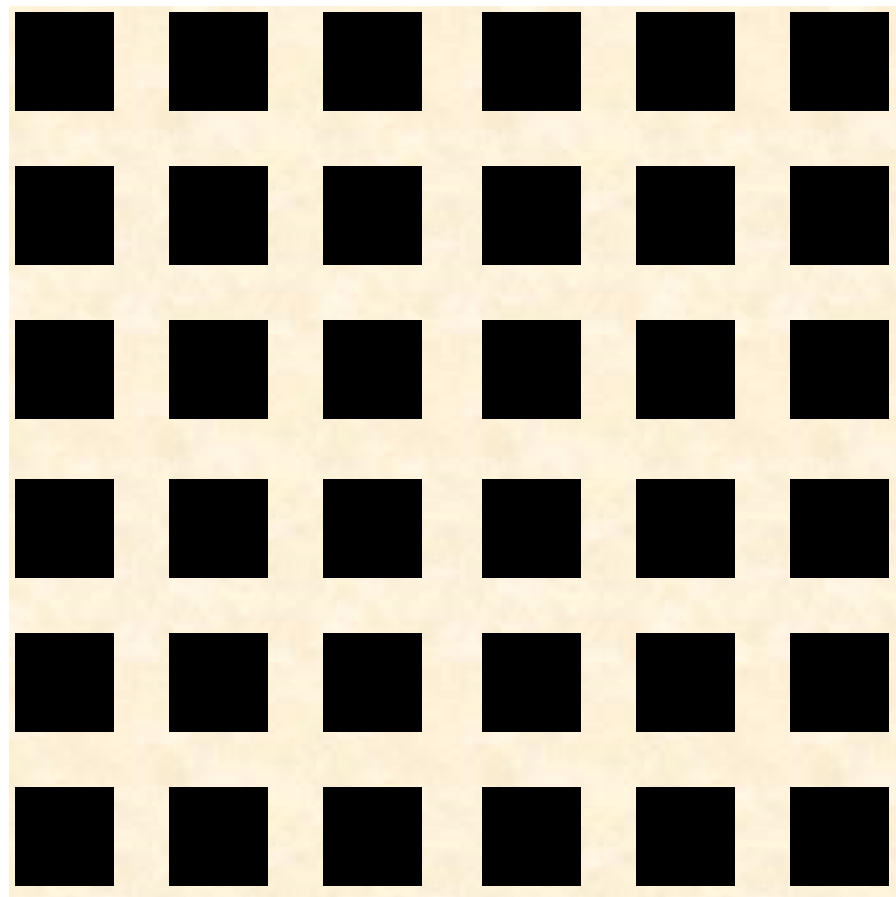
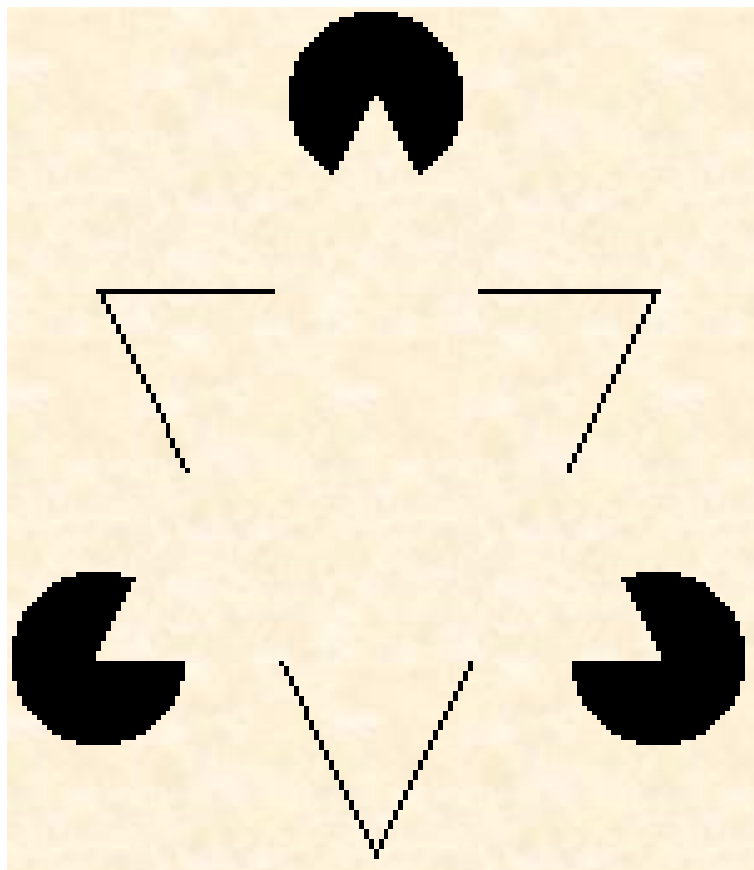
□空间错觉：

□物体的整体面貌和结构影响人对它的感知，与大脑功能有关；

一类是基于形状和方向的错觉；

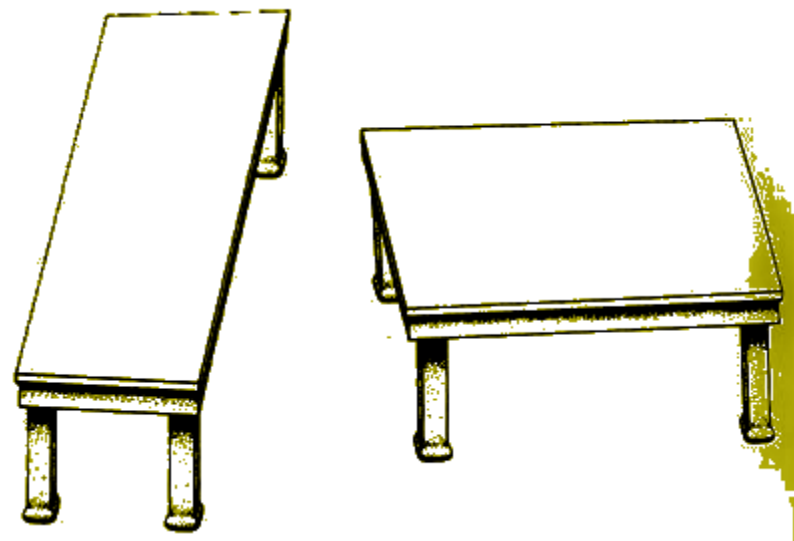
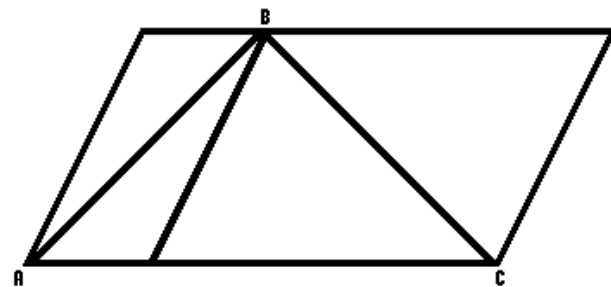
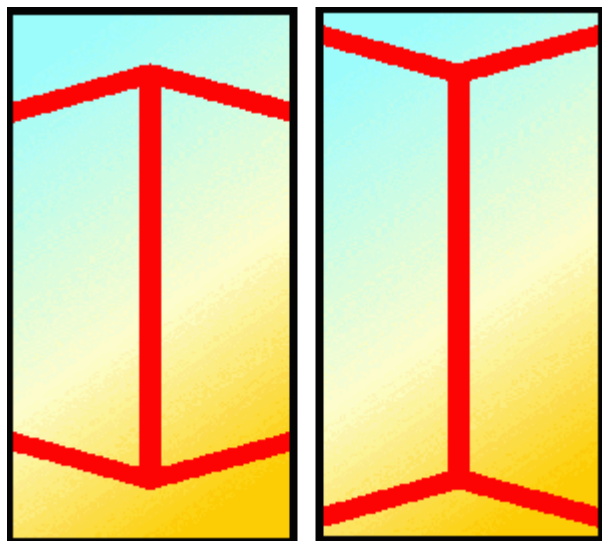
一类是基于长度和面积的错觉；

§ 2.1 视觉基础

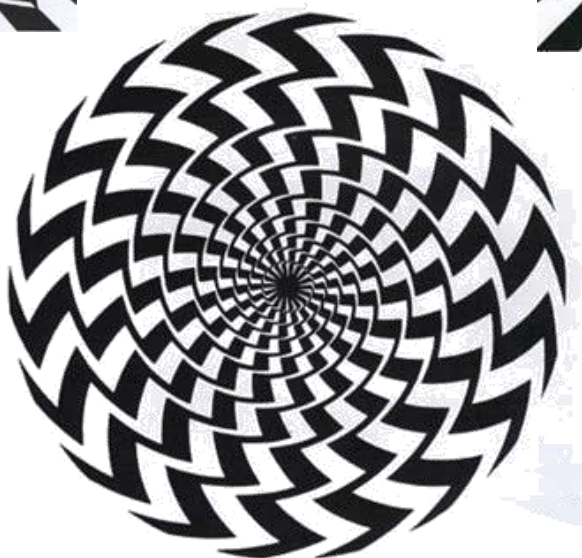
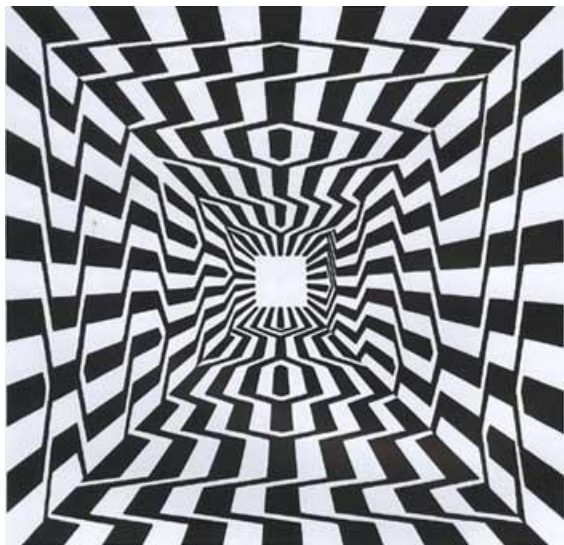


§ 2.1 视觉基础

➤ 视觉的空间错觉

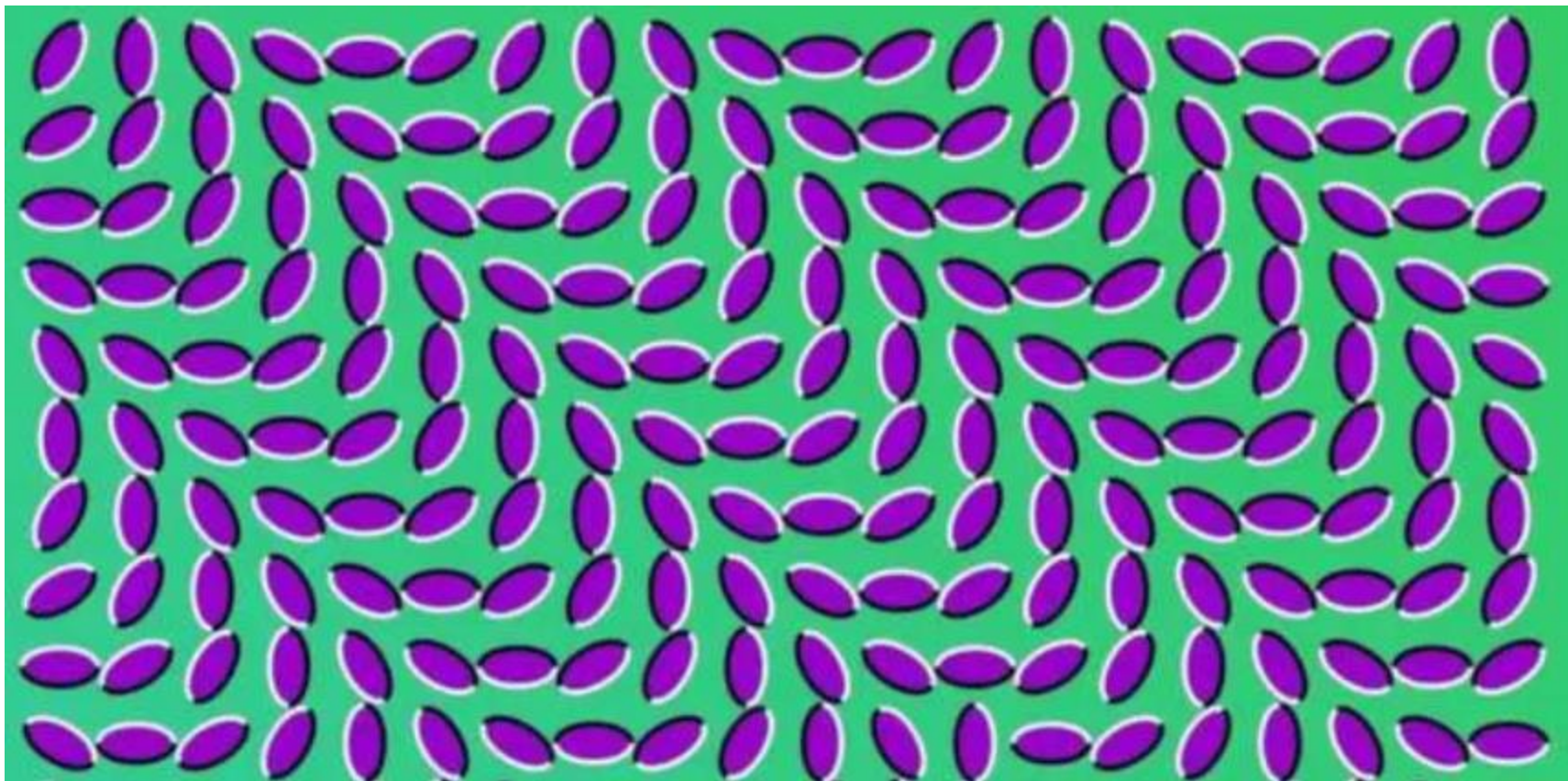


§ 2.1 视觉基础





§ 2.1 视觉基础



当你盯着图片看时，“叶子”似乎在波动

§ 2.1视觉基础



眼睛中图像的形成包括两方面：

- 光的物理过程

光的物理过程介绍光源的辐射度量；

- 人对视觉刺激的反应

人对视觉刺激的反应；

以下简单介绍(1)光源的辐射度量；(2)光度学。

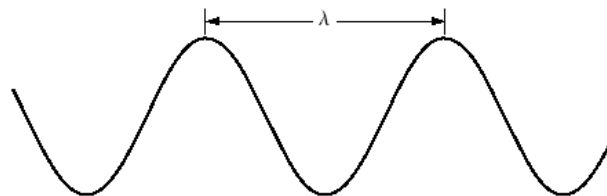
§ 2.2 光、电磁波谱

1、光源的辐射度量

一、可见光

可见光占电磁波的一小部分。可用波长、频率来描述。

1. 波长：



波长从390nm (纳米) -- 770nm。

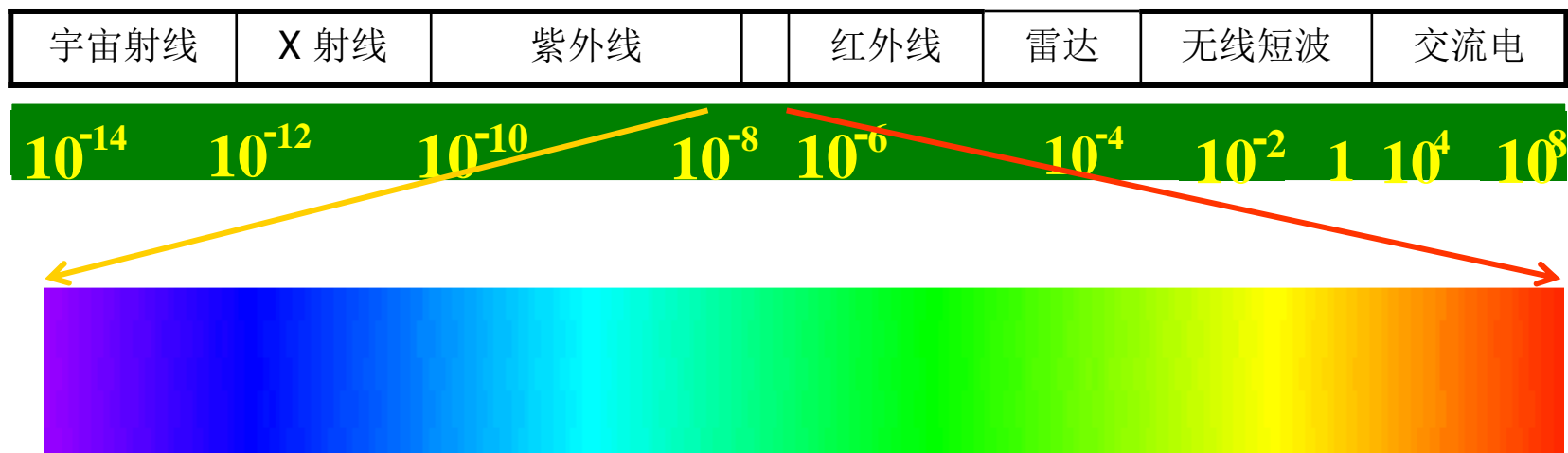
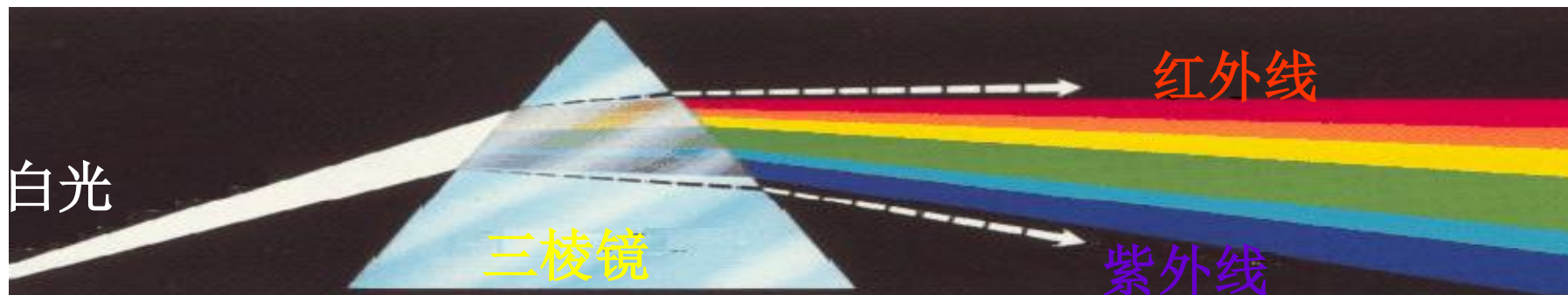
紫光 蓝光 红光

人由可见光而引起视觉，看到图像，感受到大千世界。

赤橙黄绿青蓝紫，参见光和电磁波谱图。

§ 2.2 光、电磁波谱

- 1666年，牛顿发现 三棱镜



可见光：390nm-770nm = 0.4 – 0.77微米

§ 2.2 光、电磁波谱

2. 光函数

用光函数 $C(x, y, t, \lambda)$ 表示可见光， C 为一连续函数。

x, y 为空间分布(坐标);

t 为时间分布;

λ 为波长;

即图像源是能量在空间和时间上的分布;

λ x, y t

➤ 能量 $E = h\nu$; 其中: h 是普朗克常数; ν 是频率; $\nu = c/\lambda$; c 是光速(299792458m/s);

➤ 能量单位是电子伏特eV;

§ 2.2 光、电磁波谱



3. 人眼及各种传感器接受到的图像信息为:

$$F_i(x, y, t) = \int C(x, y, t, \lambda) S_i(\lambda) d\lambda$$

其中, $F_i(x, y, t)$ 为第*i*个传感器的输出

$S_i(\lambda)$ 为第*i*个传感器的光谱特性

不同的传感器对不同的波段敏感, 多种传感器可以综合采集得到同一景物在不同波谱上辐射能量所成的像。

§ 2.2 光、电磁波谱



二、光源的辐射特性—辐射强度

- 对以光辐射生成的图像，了解该特性很重要。
- 光辐射的能源可用 $r(\lambda)$ 表示；
- 能谱分布 $r(\lambda)$ ：辐射源在单位时间内在每一波长间隔上所辐射的能量；
- 辐射功率 $P = \int r(\lambda) d\lambda$ ，亦称辐射通量或辐射量，单位为瓦。

§ 2.2光、电磁波谱



- 光通量：光源以电磁波的形式辐射出的光功率，称为光通量；单位为流明 lm 。(如投影仪指标 $1000\ lm$)。
- 辐照度(照度)：照射在单位面积上的光通量；单位为勒 lx ，是光源对物体辐射的一种度量。
- 图像一般是对目标上的照度成分 i 和反射成分 r 进行度量得出的；
- 即 $f(x, y) = i(x, y) * r(x, y)$ ；
- $f(x, y)$ 为图像在该点的亮度值；或灰度级。

§ 2.2 光、电磁波谱

2、光度学

光度学：定量描述可见光波能量引起的主观亮度(感知明亮度)。

一、视见函数 $\phi(\lambda)$ ：

描述视网膜在光能量刺激下对不同波长光线的敏感性。即人眼光谱响应的特性。

$\phi(\lambda)$ 采用间接比较法测量获得，等价于传感器函数。

二、主观视觉强度（亮度）

$$F(x, y, t) = \int C(x, y, t, \lambda) \phi(\lambda) d\lambda$$

图像是一个2D亮度函数。

§ 2.2 光、电磁波谱

§ 2.2.3 单色视觉模型

没有颜色的光叫消色或单色光。

单色视觉模型由一个低通滤波器后接一个高通滤波器组成，它是一种线性模型。

低通滤波器模拟人眼的光学系统（积分特性）

高通滤波器则反映侧抑制引起的Mach带效应。



§ 2.2 光、电磁波谱

改进：考虑视觉的亮度恒定现象，即物体和背景的亮度在很宽的范围内同时变化时，人对物体的亮度感觉保持不变。

模拟该现象的方法是在高通滤波器之前加上对数操作，采用非线性模型来模拟。

典型视觉系统模型如下：



§ 2.3 数字图像基础

- 数字图象的表示
 - 场景的表示
 - 空间亮度函数 $f(x,y)$
 - 数字图象的表示
 - 图象的灰度函数 $I(x,y)$
 - 灰度值取值范围：正值有限 $L_{min} < I < L_{max}$
 - $I_{min} = 0$ 暗色， $I = L_{max}$ 亮色
- 场景的亮度到数字图象还需要考虑
 - 成像变换
 - 采样和量化

§ 2.3 数字图像基础

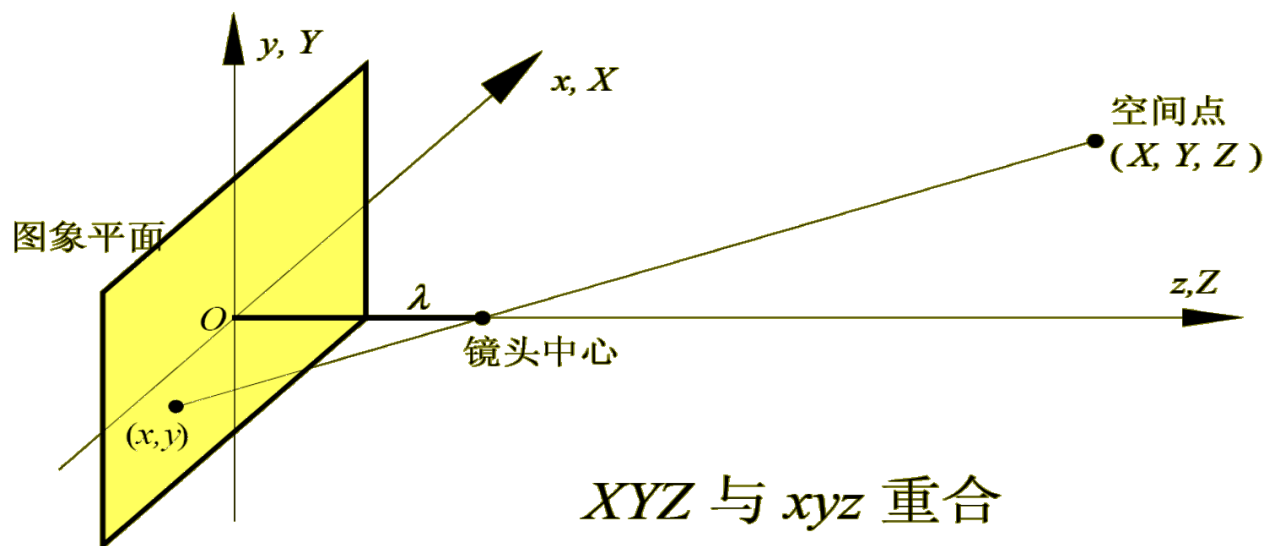
➤ 1. 投影成像

将3-D客观场景投影到2-D图象平面

➤ 成像过程

➤ 三个坐标系统之间的转换：

➤ 世界坐标系 $XYZ \rightarrow$ 摄像机坐标系 $xyz \rightarrow$ 图象平面 xy



§ 2.3 数字图像基础

- 图象⇒数字图象 需要进行采样和量化
 - 空间坐标的离散化叫做空间采样
 - 幅度的离散化叫做幅度量化
- 对于采样重建需要了解
 - 采样以及采样失真的数学描述
 - 重建的数学过程以及插值方法
- 对于量化需要了解
 - 量化过程的失真
 - 均匀量化
 - 非均匀量化

§ 2.3 数字图像基础

➤ 2. 取样与重建

➤ 不同取样的效果

➤ 影响细节、图像锯齿边缘、像素变粗，马赛克现象



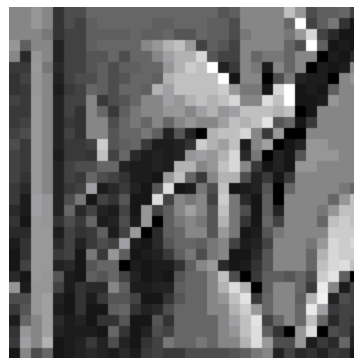
256X256



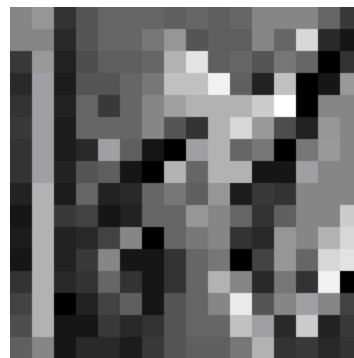
128X128



64X64



32X32



16X16

§ 2.3 数字图像基础

➤ 2.1 取样

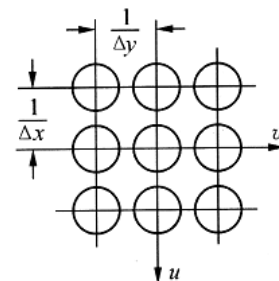
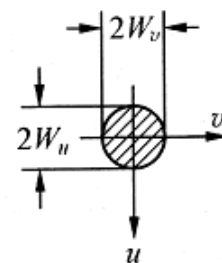
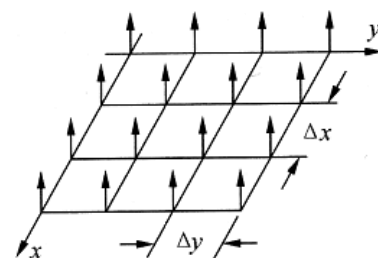
- 假设连续图像 $f(x, y)$ ，是一个有限带宽的函数
- $F(u, v) = \mathcal{F}\{f(x, y)\}$, W_u, W_v 分别为 u, v 方向的带宽
- $f(x, y)$ 的信息集中在 $2W_u$ 和 $2W_v$ 的矩形范围 R 域内
- 用取样函数 $S(x, y)$ 对 $f(x, y)$ 取样，得到 $f_s(x, y)$ ，数学表达为

$$f_s(x, y) = s(x, y) f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(m\Delta x, n\Delta y) \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y)$$

$$F_s(u, v) = \mathcal{F}\{f_s(x, y)\} = S(u, v) * F(u, v)$$

$$= \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{\Delta y} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F\left(u - m \frac{1}{\Delta x}, v - n \frac{1}{\Delta y}\right)$$

- 由抽样定理知，满足 $\begin{cases} \frac{1}{\Delta x} \geq 2W_u \\ \frac{1}{\Delta y} \geq 2W_v \end{cases}$ 即 $\begin{cases} \Delta x \leq \frac{1}{2W_u} \\ \Delta y \leq \frac{1}{2W_v} \end{cases}$
- 可以无失真抽样，



§ 2.3 数字图像基础

➤ 2.2重建

- 采用二维理想低通滤波器，对采样结果滤波可以重建图像
- 低通滤波器 $kH(u, v)$

$$\text{其中: } k = \frac{2\pi}{2W_u} \frac{2\pi}{2W_v} = 4\pi^2 \Delta x \Delta y$$

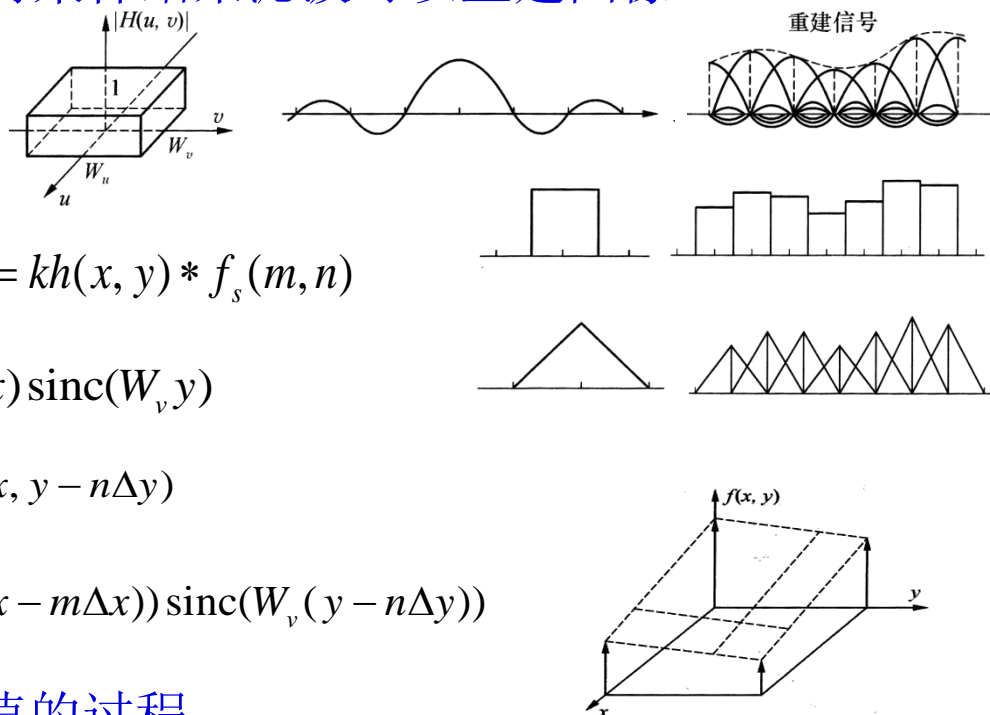
$$F(u, v) = kH(u, v) \times F_s(u, v) \quad f(x, y) = kh(x, y) * f_s(m, n)$$

$$kh(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \{kH(u, v)\} = \text{sinc}(W_u x) \text{sinc}(W_v y)$$

$$f_s(m, n) = \sum_m \sum_n f(m\Delta x, n\Delta y) \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y)$$

$$f(x, y) = \sum_m \sum_n f(m\Delta x, n\Delta y) \text{sinc}(W_u(x - m\Delta x)) \text{sinc}(W_v(y - n\Delta y))$$

- 重建过程就是用 *sinc* 函数插值的过程
- 方波和三角波也可以用于插值重建
- 最近邻插值是最简单的方法，双线性插值是应用最多的方法



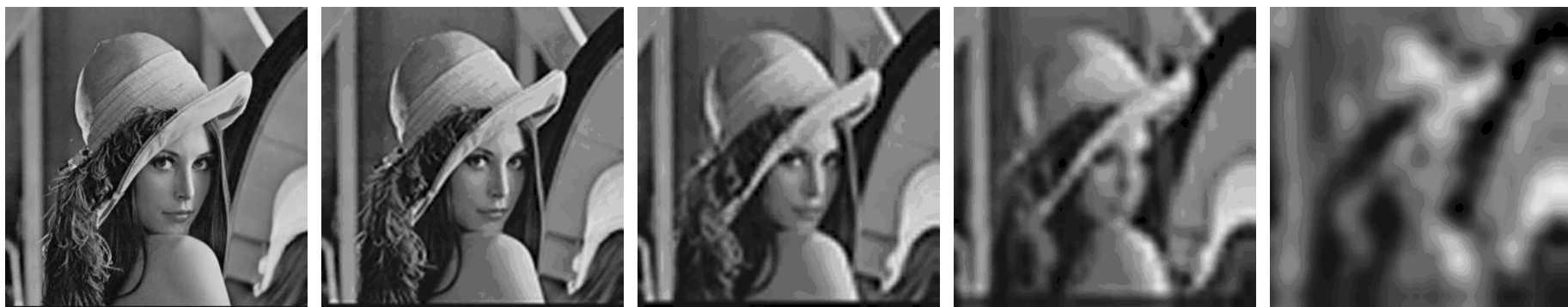
§ 2.3 数字图像基础

不同插值方式的重建效果

最近邻插值



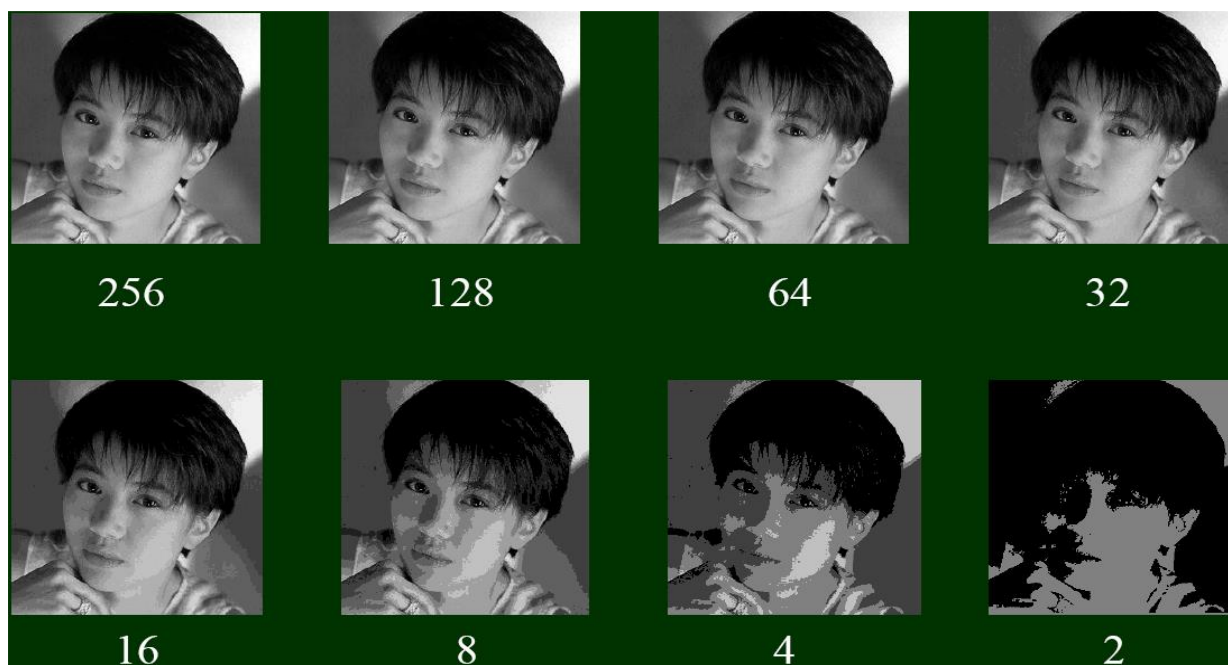
BiCubic插值



§ 2.3 数字图像基础

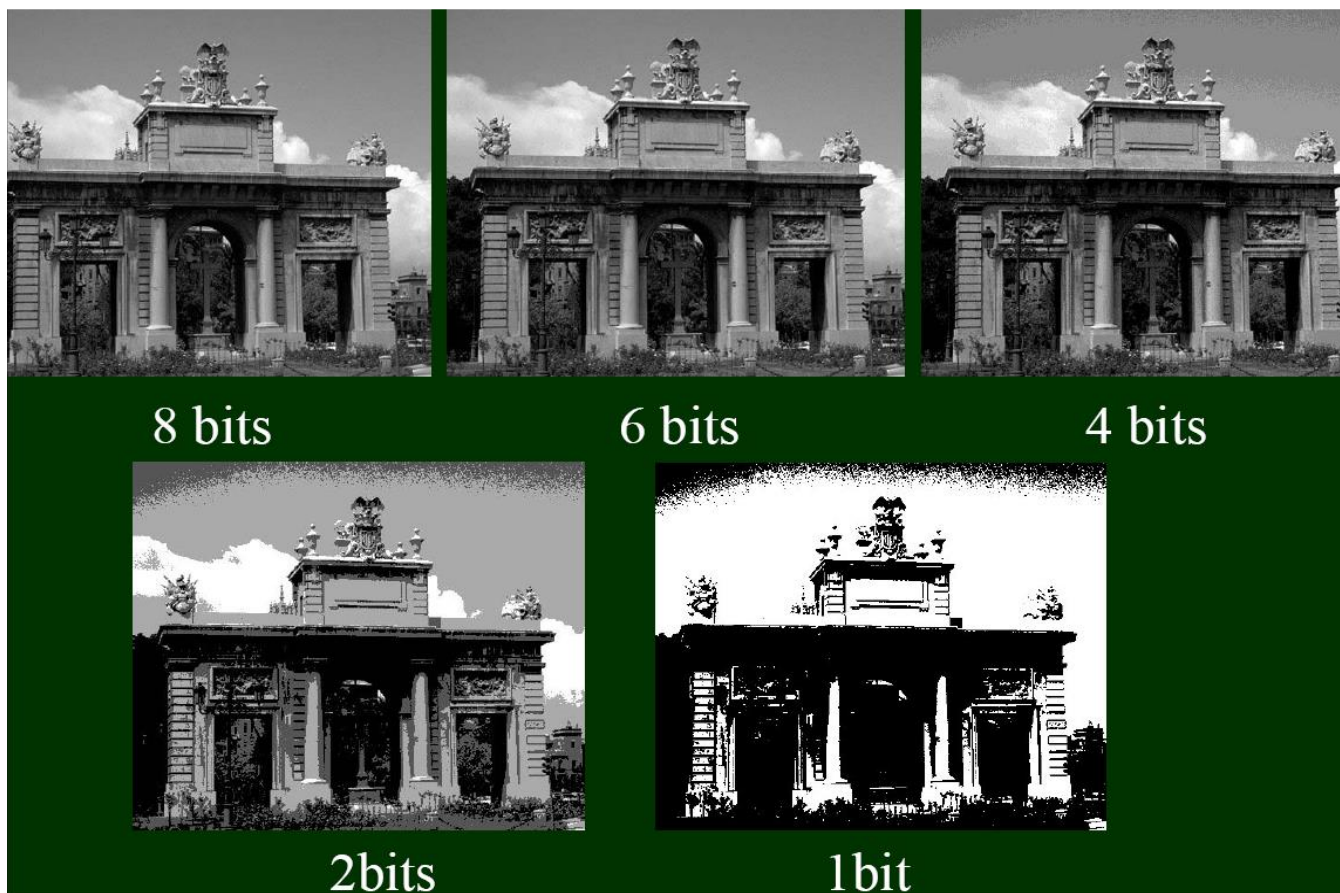
➤ 3. 量化

- 将采样样本的取值范围进行分层，采用单个值（逻辑值）来表示这一层所有可能的值（物理值）。
- 量化能降低数据表达的复杂度，但分层方式不同，对信息的损失情况不一样。分层太少图像产生虚假轮廓



§ 2.3 数字图像基础

► 灰度级对图象的影响-对云彩与建筑阴影的影响



§ 2.3 数字图像基础

➤ 3.1 量化的思路

- 使得量化带来的误差最小
- 根据人眼的视觉特性来进行量化
 - 敏感区细量化，不敏感的粗量化
- 针对特定应用、器件和设备进行量化
- 最简单的均匀量化
 - 样本值的整个取值范围均匀分为 k 个区间
- 非均匀量化
 - 样本值在某个取值区间出现频繁，在另一区间出现很少，可以在频繁区采用小区间的密集量化，其他区间进行大区间的稀疏量化

§ 2.3 数字图像基础

➤ 3.1 量化的思路

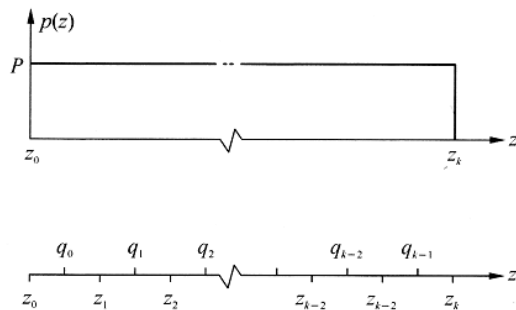
- 使得量化带来的误差最小
- 根据人眼的视觉特性来进行量化
 - 敏感区细量化，不敏感的粗量化
- 针对特定应用、器件和设备进行量化
- 最简单的均匀量化
 - 样本值的整个取值范围均匀分为 k 个区间
- 非均匀量化
 - 样本值在某个取值区间出现频繁，在另一区间出现很少，可以在频繁区采用小区间的密集量化，其他区间进行大区间的稀疏量化

§ 2.3 数字图像基础

➤ 3.2 均匀量化

- 整个取值区间均匀划分为K个子区间

$$f_s(m, n) = z \in [z_i, z_{i+1}) \quad \text{量化值} \quad f(m, n) = q_i$$



- 量化误差 $\varepsilon^2 = \sum_{i=0}^{k-1} \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i)^2 p(z) dz$ $p(z)$ 为灰度取值该子区间的概率

- 假设 $p(z)$ 为常数P
$$\varepsilon^2 = P \sum_{i=0}^{k-1} \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i)^2 dz = \frac{1}{3} P \sum_{i=0}^{k-1} [(z_{i+1} - q_i)^3 - (z_i - q_i)^3]$$

- 确定最佳量化值
$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial q_i} = (z_{i+1} - q_i)^2 - (z_i - q_i)^2 = 0 \quad q_i = \frac{1}{2} (z_{i+1} + z_i)$$

- 假设子区间的长度为L, $p(z)=P=1/kL$

- 最小误差为
$$\varepsilon^2 = \frac{1}{3} \frac{1}{kL} \sum_{i=0}^{k-1} [(\frac{L}{2})^3 - (-\frac{L}{2})^3] = \frac{L^2}{12}$$

- 量化误差与区间长度成正比

- 增加量化级别可以大大减少量化误差

§ 2.3 数字图像基础

➤ 3.3 非均匀量化

- 在均匀量化的误差计算中，假设各区间取值概率为常数
- 对于非均匀量化，取值概率是划分区间的依据
- 如果已有一种划分，可以计算量化误差为

- 均方误差为
$$\varepsilon^2 = \sum_{i=0}^{k-1} \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i)^2 p(z) dz$$

- 为确定最优的划分，需要求解 z_i 和 q_i （有 k 组解）

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial z_i} = (z_{i+1} - q_i)^2 p(z) - (z_i - q_i)^2 p(z) = 0 \quad \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial q_i} = -2 \int_{z_i}^{z_{i+1}} (z - q_i) p(z) dz = 0$$

$$z_i = \frac{1}{2} (q_{i+1} + q_i) \quad i = 1, 2, \dots, k-1$$
$$q_i = \frac{\int_{z_i}^{z_{i+1}} zp(z) dz}{\int_{z_i}^{z_{i+1}} p(z) dz} \quad i = 0, 1, 2, \dots, k-1$$

- 根据上述公式，可建立寻找最优子区间和量化值的迭代算法

§ 2.3 数字图像基础

➤ 3.4 分辨率和灰度级变化对图像的影响

- 图像的质量一般随分辨率和灰度级的增加而增加；
- 少数情况下，分辨率确定后，灰度级减少反而有助于改进观察的效果，图像看起来反差增强；
- 有大量细节的图像，通常只需要很少的灰度级就能较好表现，因为细节只是空间位置上的区分；
- 比特数（ $N \times M \times K$ ）为常数的一系列图像，主观看起来可以有很大的差别，因为人们会主观认为：
 - 有些目标需要大量细节的表示
 - 有些目标需要均匀的灰度变化来表示

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 1. 数字图像像素之间的关系与运算

➤ 像素空间排列和邻域

➤ 像素之间的连通性与距离计算

➤ 图象的常规运算

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 像素的邻域

➤ 4-邻域—— $N_4(p)$:

	r	
r	p	r
	r	

➤ 对角邻域—— $N_D(p)$:

r		r
	p	
r		r

➤ 8-邻域—— $N_8(p)$:

r	r	r
r	p	r
r	r	r

➤ 像素的连通关系是根据采用不同

的邻域描述方法来确定的

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 连通adjacency和连接 connectivity

➤ 两个像素是否连接：

➤ (1) 是否接触（近邻像素）

➤ (2) 灰度值是否满足某个特定的相似准则（例如它们灰度值相等）

➤ 3种连接

➤ (1) 4-连接：2个像素 p 和 r 在 V 中取值且 r 在 $N_4(p)$ 中

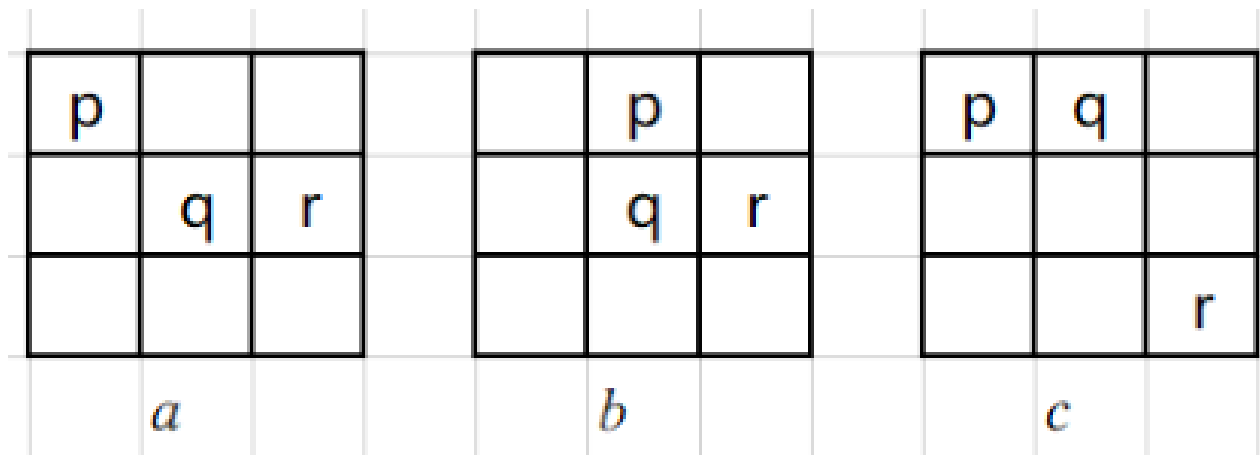
➤ (2) 8-连接：2个像素 p 和 r 在 V 中取值且 r 在 $N_8(p)$ 中

➤ (3) m-连接（混合连接）：2个像素 p 和 r 在 V 中取值，且满足下列条件之一

➤ ① r 在 $N_4(p)$ 中

➤ ② r 在 $N_D(p)$ 中且 $N_4(p) \cap N_4(r)$ 是空集

§ 2.4 数字图像基本运算



图(a)中，**p**和**q**是**m**邻接、**8**邻接的。**q**和**r**是**m**邻接、**4**邻接的。**p**和**r**不邻接

图(b)中，**p**和**q**是**m**邻接、**4**邻接的。**q**和**r**是**m**邻接、**4**邻接的。**p**和**r**是**8**邻接、但不是**m**邻接的

图(c)中，**p**和**q**是**m**邻接、**4**邻接的。**r**没有和**p**或**q**邻接：

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 毗邻

- 像素毗邻：像素和像素连接
- 图象子集毗邻：一个子集中的像素与另一个子集中的像素连接

➤ 通路

- 由一系列依次毗邻的像素组成
- 完全在一个图象子集中的像素组成的通路上的像素集合构成该图象子集中的一个连通组元

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 距离量度函数

➤ 3个像素 p , q , r , 坐标 (x, y) , (s, t) , (u, v)

➤ 距离函数应该满足以下条件

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

➤ 两个像素之间的距离总是正的

➤ (2) $D(p, q) = D(q, p)$

➤ 距离与起终点的选择无关

➤ (3) $D(p, r) \leq D(p, q) + D(q, r)$

➤ 最短距离是沿直线的

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 距离量度函数

➤ (1) 欧氏 (Euclidean) 距离

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

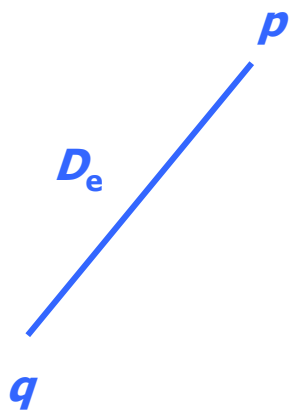
➤ (2) 城区 (city-block) 距离

$$➤ D_s(p, q) = |x - s| + |y - t|$$

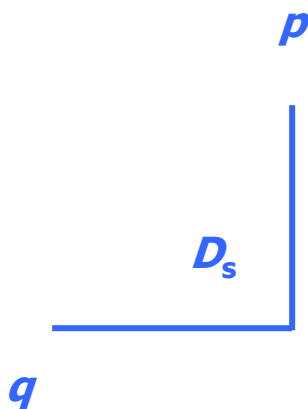
➤ (3) 棋盘 (chessboard) 距离

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

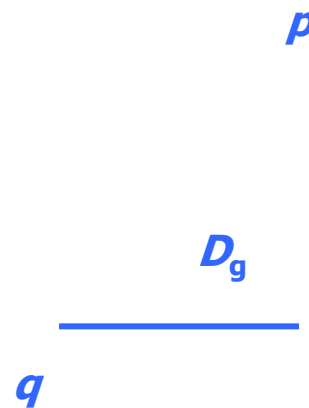
§ 2.4 数字图像基本运算



(1) 欧式距离



(2) 城区距离



(3) 棋盘距离

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 例题：m-连通时像素间距离测量

➤ 像素p、q灰度为1，

➤ $S=t=0$; $D_m(p, q) = 2$

➤ $S=0, t=1$; $D_m(p, q) = 3$

➤ $S=1, t=0$; $D_m(p, q) = 3$

➤ $S=1, t=1$; $D_m(p, q) = 4$

	t	q
s	1	
p		

	t	1
s	1	
1		

	0	1
0	1	
1		

	1	1
0	1	
1		

	0	1
1	1	
1		

	1	1
1	1	
1		

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 复习

➤ [题面] 2个像素 p 和 q 之间的:

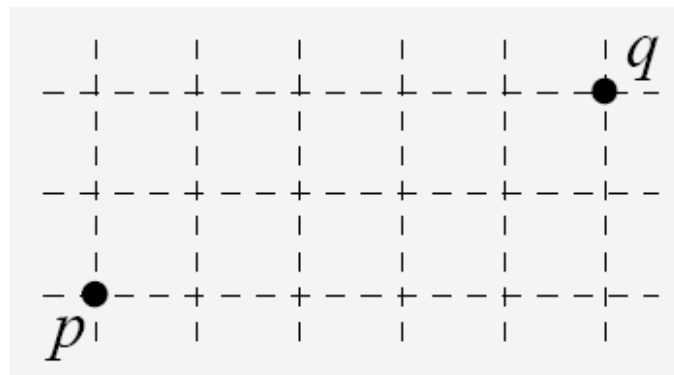
➤ (A) D_e 距离比 D_s 距离和 D_g 距离都短

➤ (B) D_s 距离为5

➤ (C) D_g 距离为5

➤ (D) D_e 距离为5

➤ [答案] (C)。



§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 2. 图象运算

➤ 算术运算

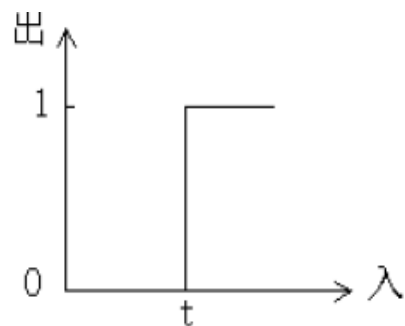
➤ 逻辑运算

➤ 坐标的变换（自学）

§ 2.4 数字图像基本运算

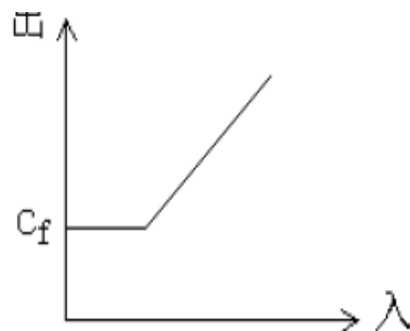
➤ 单点运算

- 运算之后图中各点的灰度值将按数据运算的规律而改变。如用 f 表示图上某点的灰度值， g 表示同一点运算后的灰度值，则可以定义下列运算，如图所示。



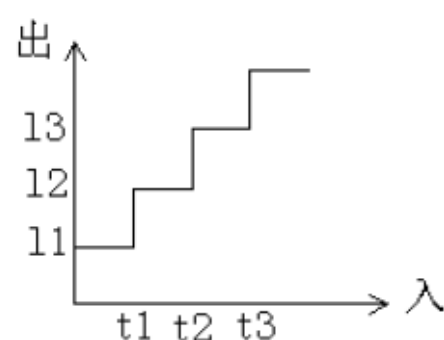
➤ 单阈值

thresholding



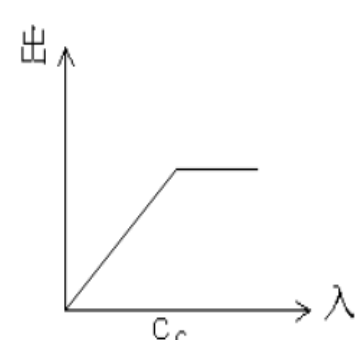
下截断

floor operation



多阈值

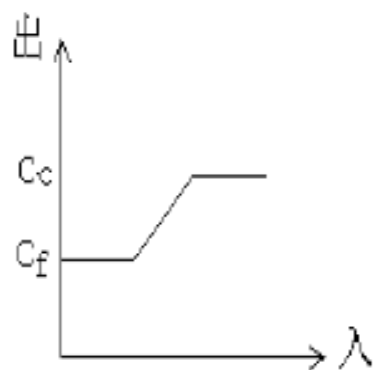
multi-threshoding



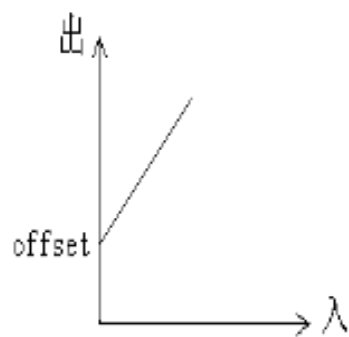
上截断

ceilling peration

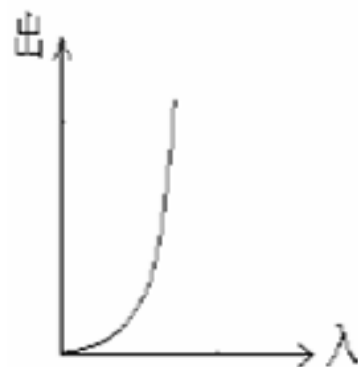
§ 2.4 数字图像基本运算



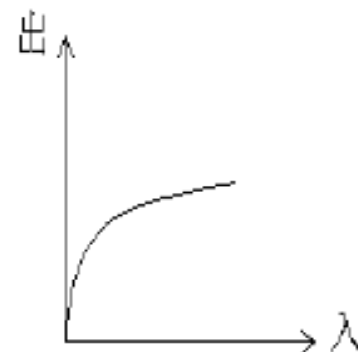
上下截断



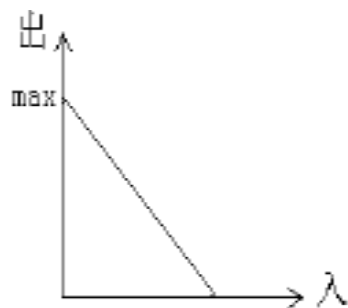
补偿



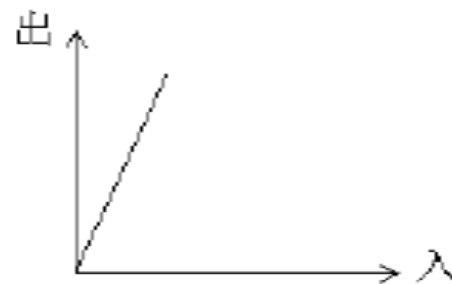
平方



方根

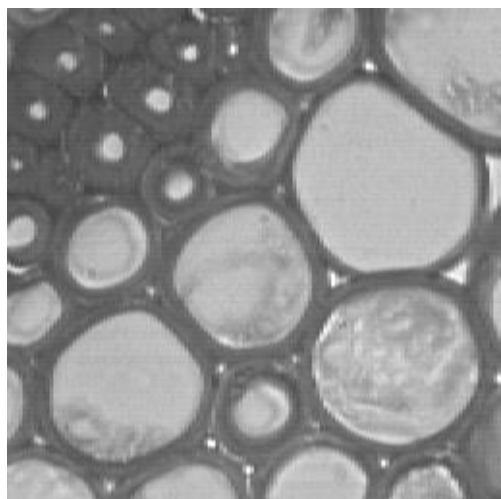


求反

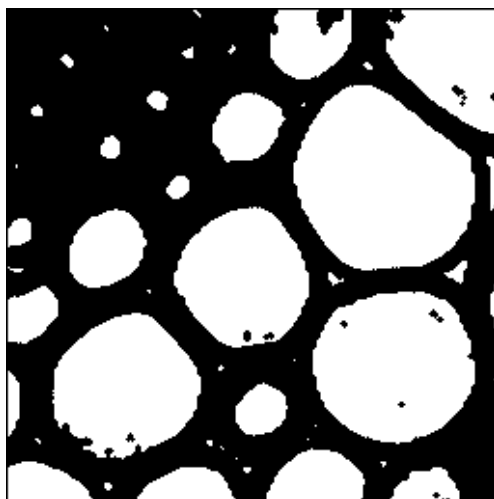


放缩

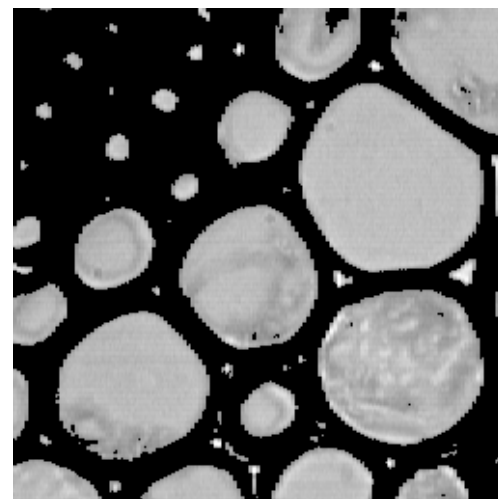
§ 2.4 数字图像基本运算



➤ 原图



单阈值



下截断

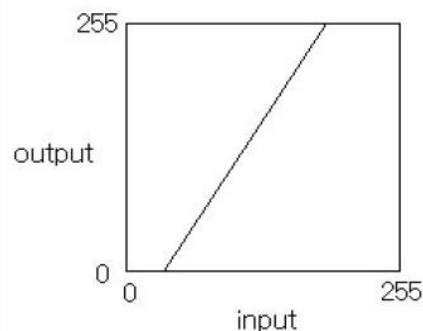
§ 2.4 数字图像基本运算

对比度伸展变换

下：原图

右：变换函数

右下：变换生成图



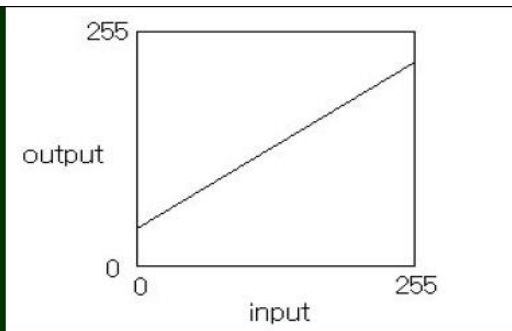
§ 2.4 数字图像基本运算

对比度压缩变换

下：原图

右：变换函数

右下：变换生成图



§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 图象之间对应点的运算

➤ 常用类型:

➤ + (加), - (减), * (乘), / (除)

➤ max (求大), min (求小),

➤ average (求平均) 和线性运算

➤ 复杂类型: 结果图和参加运算图的相应点的灰度值分别为 h , f , g , 则有

➤ $h = (\alpha * f + \beta * g)$,

➤ 其中 α , β 为常数。

§ 2.4 数字图像基本运算

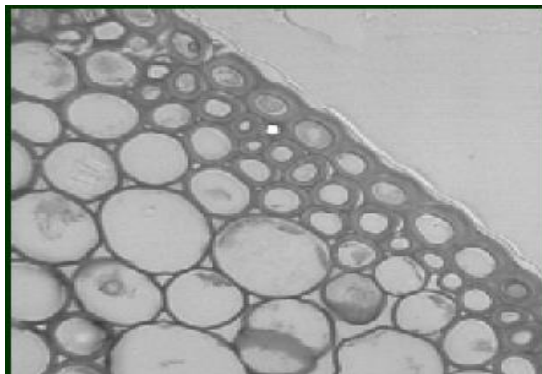


图1

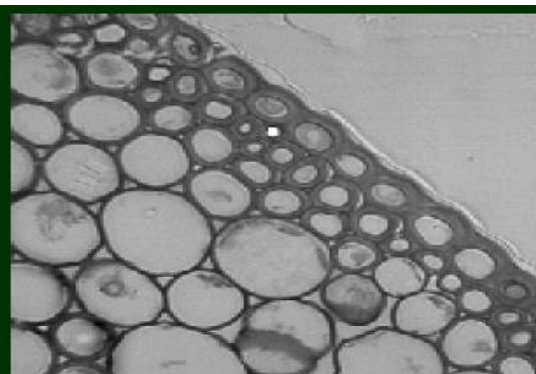


图2



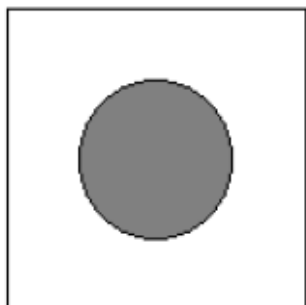
图2 - 图1



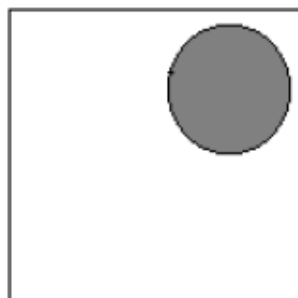
(图2-图1) x 2

§ 2.4 数字图像基本运算

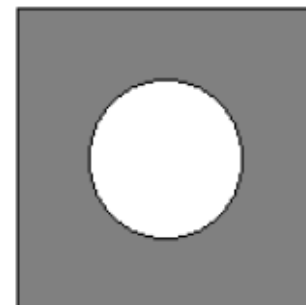
➤ 图象之间的简单逻辑运算



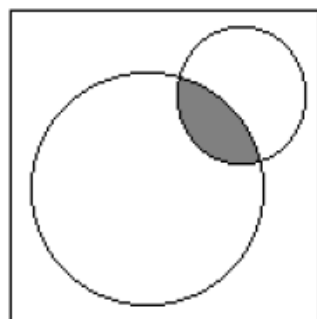
A



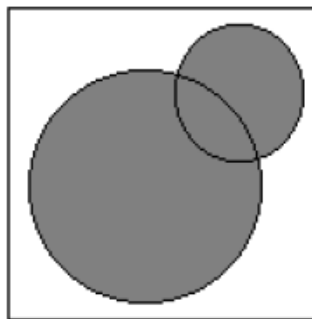
B



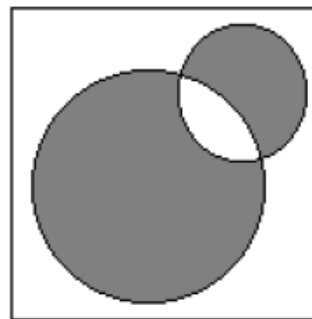
A非



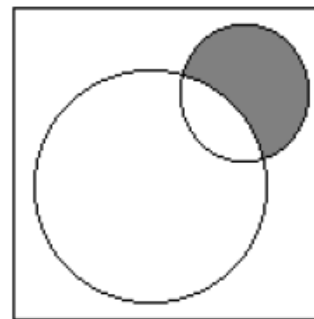
$A \cap B$



$A \cup B$



$A \cup B - A \cap B$



$B - A$

§ 2.4 数字图像基本运算

➤ 简单邻域运算

➤ 邻域运算的结果取决于窗口及其相应点的系数

➤ 邻域运算涉及的点和运算对应的窗

➤ (a) 窗口及其系数

➤ (b) p5点运算涉及的邻点

w_7	w_8	w_9
w_4	w_5	w_6
w_1	w_2	w_3

(a)

p_7	p_8	p_9
p_4	p_5	p_6
p_1	p_2	p_3

(b)

$$g = \sum_{i=1}^9 w_i g_i$$

§ 2.4 数字图象基本运算

➤ 坐标变换

➤ 平移变换

➤ 尺度变换

➤ 旋转变换

➤ 多项式变换

本章小结

- 人眼视觉特性与成像
 - 人眼的视觉特性
 - 图像的感知与获得
- 数字图象基础
 - 成像变换、采样和量化
 - 像素之间的关系、连通性、距离度量
 - 图象运算一点运算（算术与逻辑）、区域运算
- 需要掌握的知识点
 - 人眼的视觉特性及与图像处理的关系
 - 图像质量度量的基本因素