



Chapter 2

Digital Image Fundamentals

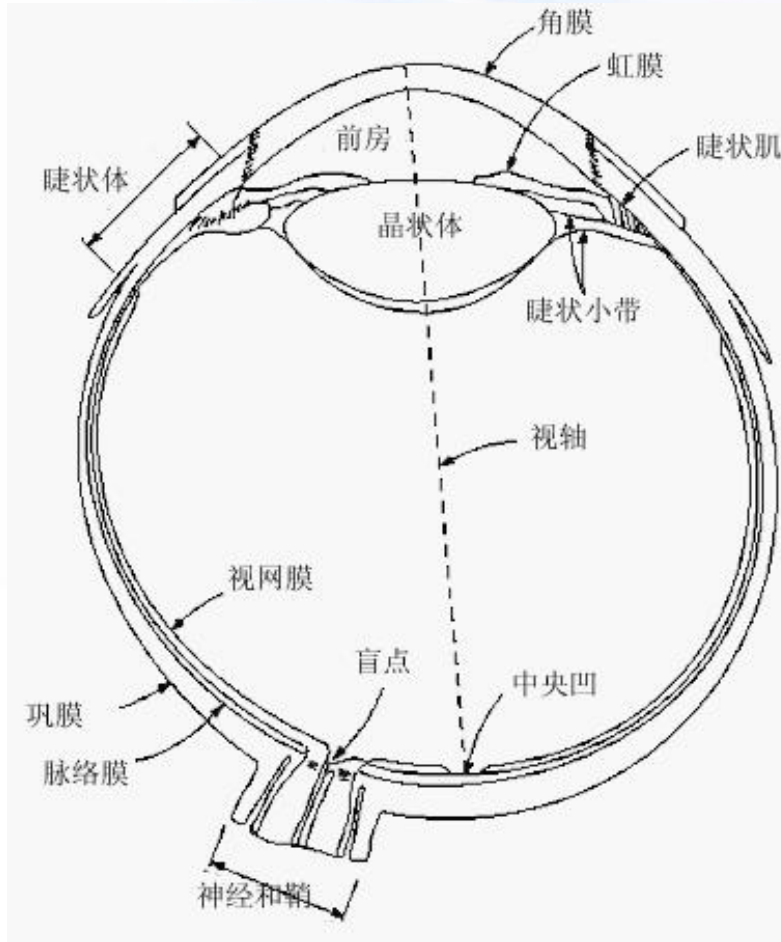
Wang Jian
SEIE-TJU
Autumn 2017



Index

- **Content**
 - **Human Visual Perception**
 - Image sensing and acquisition
 - Image sampling and quantization
 - Basic relationship between pixels

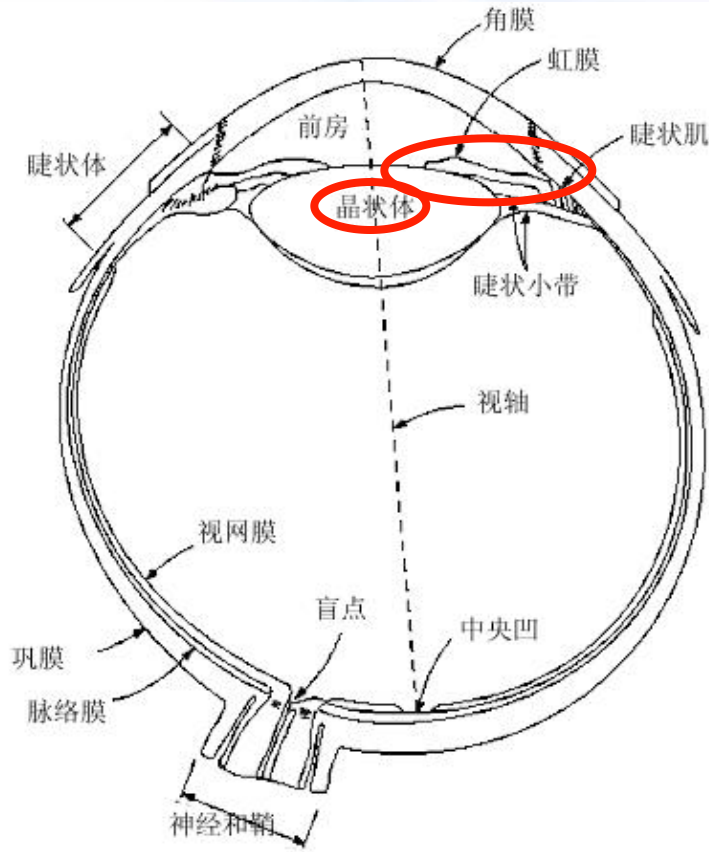
Structure of Human Eye



人眼横截面简图

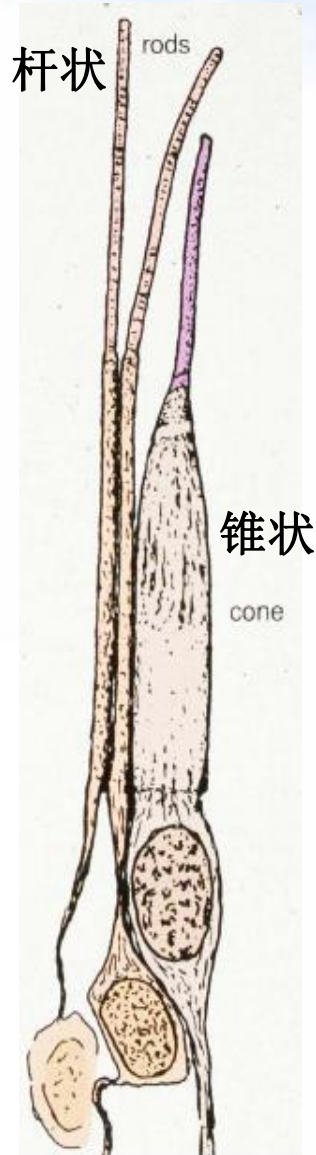
- 人眼是一个近似的球体,直径约 2cm
- 外层由三层膜包裹
 - 角膜和巩膜
 - 脉络膜
 - 视网膜
- **角膜**是一种硬而透明的组织,覆盖着眼睛的前表面。与角膜相连的巩膜是一层包围着眼球剩余部分的不透明膜;
- **脉络膜**是眼睛重要的滋养源,脉络膜外壳着色很重,有助于减少进入眼睛外来光和眼球内反向散射光的数量;
- **视网膜(Retina)**是眼睛最内侧的一层膜,当眼球适当聚焦时,来自眼睛外部的光在视网膜上成像。在视网膜表面分散的光接收器(光敏细胞)提供了图案视觉。

Structure of Human Eye



- 虹膜(Iris): **调整光圈**(光通量)大小
 - 虹膜中间开口处(**瞳孔 pupil**)直径是可变的, 2~8mm;
- 晶状体: **调整成像焦距**大小
 1. 由同心的纤维细胞层组成, 并由附在睫状体上的纤维悬挂着, 含水量60~70%
 2. 由稍黄的色素着色, 颜色随年龄的增长而加深
 3. 吸收大约 8% 的可见光谱, 对短波长有较高的吸收率
 4. 晶状体结构中, 蛋白质吸收红外光和紫外光, 过量时会伤害眼睛

Structure of Human Eye



- 视网膜表面的光接收器（光敏细胞）分为两种：
 - 锥状细胞和 杆状细胞

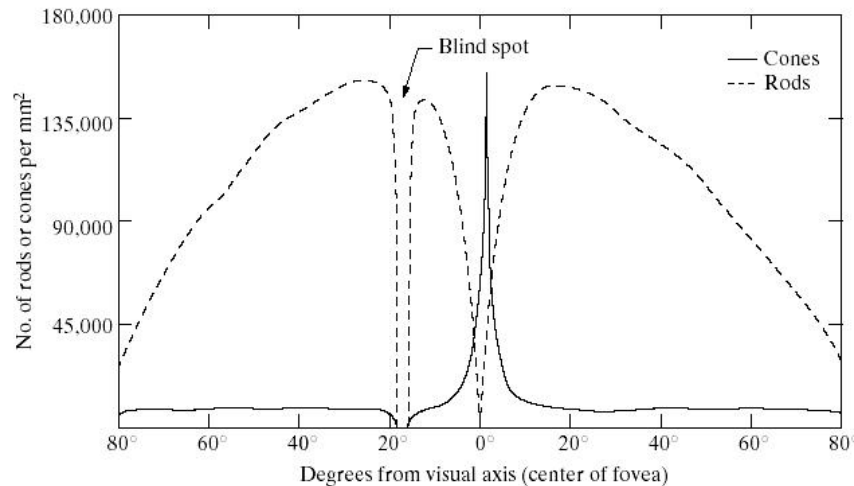
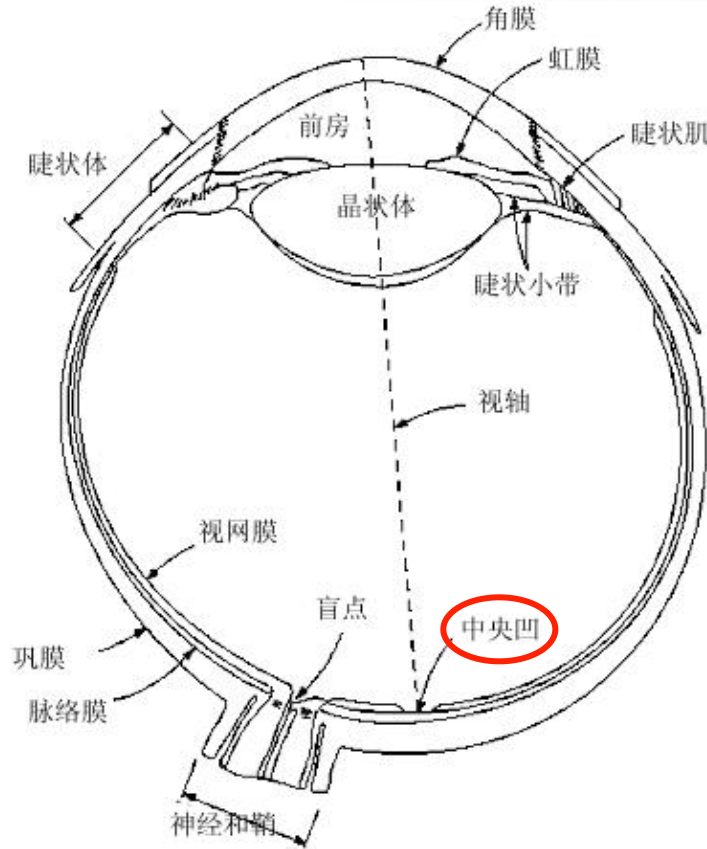


FIGURE 2.2
Distribution of rods and cones in the retina.

- 锥状(cone)细胞
 - 数目约 600~700 万，位于中央凹的部分
 - 既感光，又感色，对颜色敏感度很高
 - 每个锥体对连接到自身的一个神经末端。
 - 锥状视觉叫做白昼视觉或者明视觉。
- 杆状(rod)细胞
 - 数目约 7500~15000万，视野内一般的总体图像
 - 没有色彩感觉，在低照明度下对图像较敏感
 - 几个杆状细胞连接到一个神经末端
 - 杆状视觉叫做夜视觉或者暗视觉

Structure of Human Eye

• 中央凹



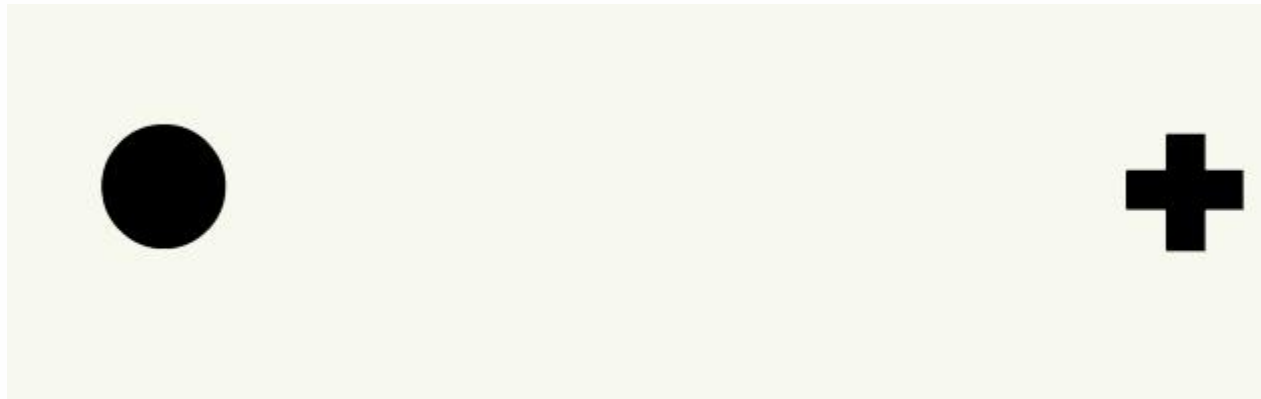
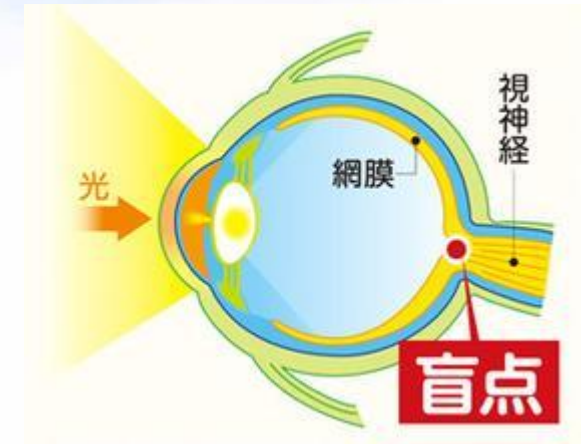
1. 视网膜上直径约 1.5mm 的凹坑
2. 可以把中央凹作为大小为 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 的方形传感器阵列观察
3. 在视网膜这一区域中，锥状体的密度大约 150000 个元素/ mm^2
4. 眼睛中敏感度最高的区域，锥状细胞的数量约为 337000 个元素（从分辨率的观点看，恰好是一个电耦合元件(CCD) 中等分辨 (比如VGA 格式 $640 \times 480 = 307200$) 的成像芯片所具有的元素数量)

视网膜屏：当像素密度超过300ppi时，人眼就无法区分出单独的像素。

以5寸屏(16:9屏幕)11.07cm*6.23cm为例，分辨率是1280*720时，密度为294ppi，分辨率为1920*1080时，密度为441ppi，5.5寸屏幕(12.18*6.85)，密度为400ppi，1英寸=2.54厘米

Blind spot

- **盲点(Blind spot):** 视网膜内各处的神经节细胞发出的神经轴突，在视网膜表面向眼的后极方向聚合成一整束，并穿过视网膜，在眼的后极出眼球，形成眼球后端所连的视神经，这时在与视神经相对的视网膜表面形成了视神经盘。
- 视神经盘处没有感光细胞，因而落于该处的光线不可能被感知，故称为盲点，盲点的位置在视网膜内黄斑中心的鼻侧约3mm处。正常时由于用两眼观物，一侧盲点可以被对侧视觉补偿，所以人们并不觉察自己的视野中有一处无视觉感受的区域。



将头置于屏幕正前方20~30cm处；闭上左眼；用右眼盯着圆形图案；十字图形会在某个位置消失。



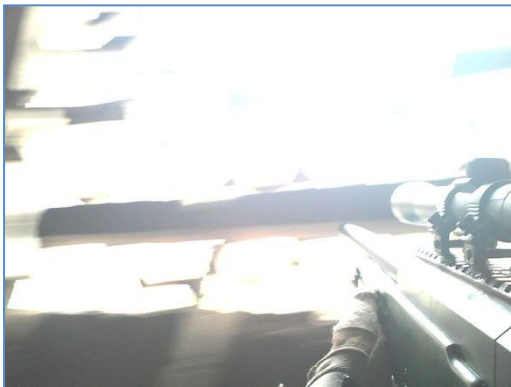
HVS: Human Vision System

- **Brightness Adaptation** 亮度适应
- **Weber Ratio** 韦伯定理
- **Mach Effect** 马赫带效应
- **Simultaneous contrast** 视在对比度
- **Optical illusion** 视觉错觉

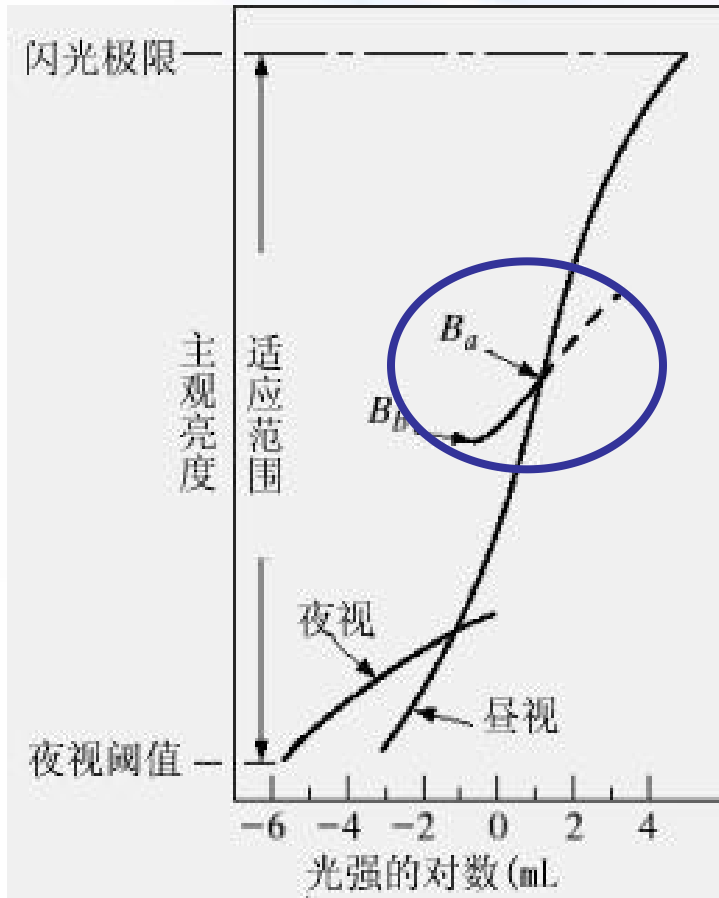
HVS—Brightness Adaptation

• 亮度适应

- 人的视觉系统能适应的光强度级别范围很宽，从夜视域值到强闪光约有 10^{10} 数量级。
- 与整个适应范围相比较，人眼在某一时刻能够鉴别的亮度级别范围很小。
- 对于任何一组给定条件，视觉系统当前的灵敏度级别称为**亮度适应级别**(Brightness Level)



HVS—Brightness Adaptation



主观亮度感觉范围

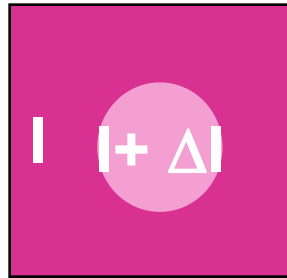
1. 主观亮度是进入人眼的光强的**对数函数**。
2. 明视觉的范围是 10^6
3. 夜视到明视逐渐过渡，过渡范围大约为 $0.001L$ 到 $0.1mL$ (对数坐标中 -3 到 -1mL)
4. 人的视觉不能同时在整个范围内工作，它通过适应周围环境亮度来实现大动态范围。这就是所谓的**亮度适应现象(Brightness Adaptation)**
5. 图中对应亮度级别 B_α ，曲线 B_β 为适应 B_α 的主观亮度感觉范围

HVS: Weber Ratio



- 韦伯定理(Weber's Law): 如果一个物体的亮度 $I + \Delta I$ 与其周围背景 I 有刚刚可觉察的差别 (**最小可觉差**), 则 ΔI 和 I 的比值是在一定的亮度范围内近似不变, 为常数值 0.02, 这称为韦伯比。即:

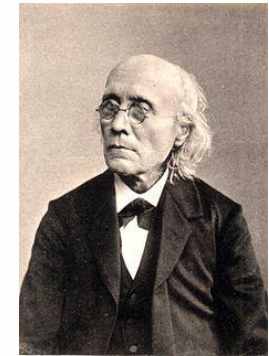
$$\frac{\Delta I}{I} = d(\log I) = \Delta c$$



韦伯 (Ernst Heinrich Weber 1795—1878)
德国生理学家

- 人眼亮度感觉 S 和客观亮度 B 的对数值成正比, 是单调的非线性系统。通过这一对数性质, 人眼在受到保护的同时, 达到宽达 10^6 的视觉亮度范围。

$$S = k \lg B + k_0 \quad (\text{韦伯-费希纳定律})$$



费希纳 (Gustav Theodor Fechner 1801~1887) 德国物理学家、心理物理学

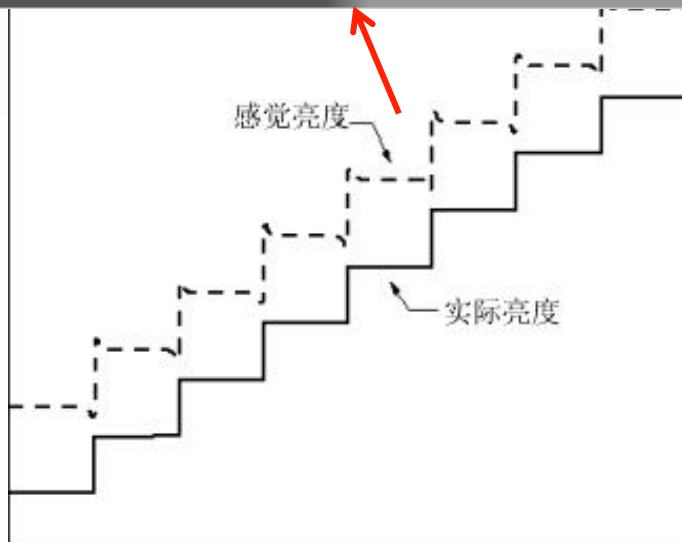
实际上, 人的一切感觉, 包括视觉、听觉、肤觉 (含痛、痒、触、温度)、味觉、嗅觉、电击觉等等, 都遵从这个定律

HVS: Mach Effect

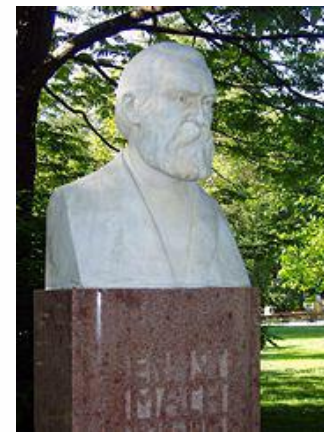


- 马赫带 (Mach Effect)

- 1865年厄恩斯特·马赫 (Ernst Mach, 1838~1916) 奥地利物理学家、哲学家，马赫速度(马赫数) 和马赫带以他的名字命名。
- 视觉系统在不同亮度区域边缘周围的“欠调”和“过调”现象。
- 虽然条带的亮度恒定，但是实际感觉条带边缘亮度有变化。

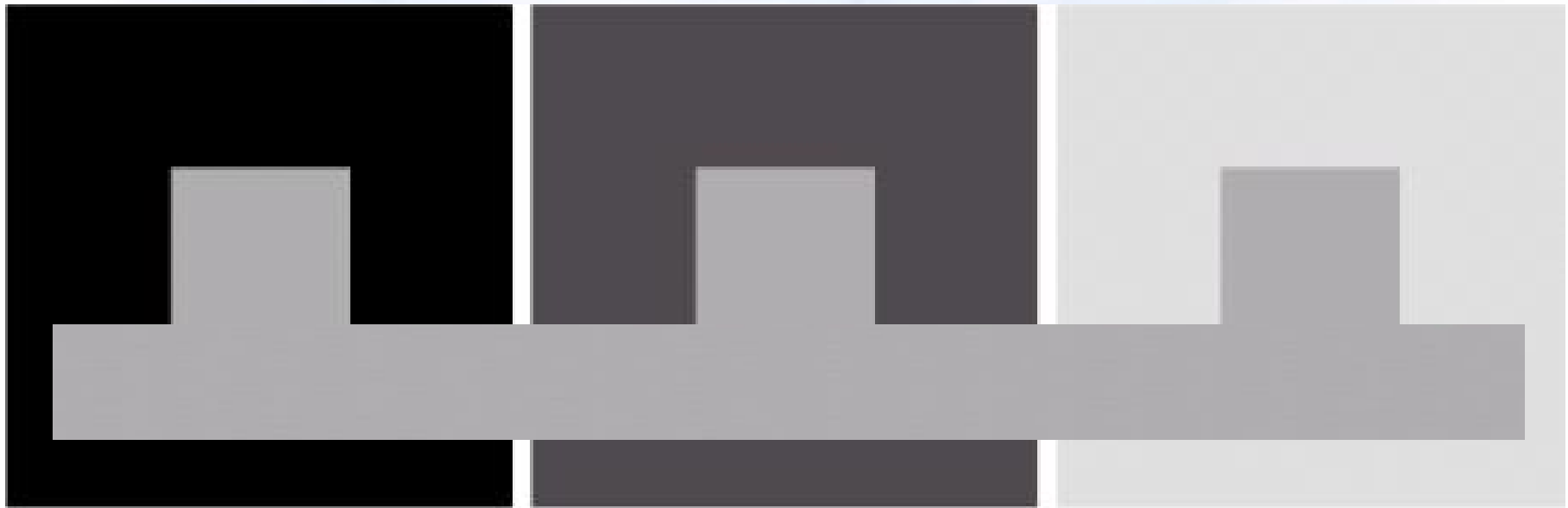


阶梯边缘的马赫效应



奥地利维也纳市政厅公园的雕像

HVS: Simultaneous contrast



视在对比度示例

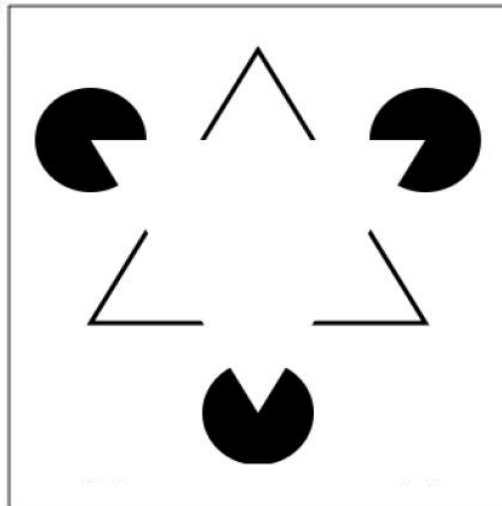
- 感觉的亮度区域不是简单取决于亮度
- 相同亮度的灰度（或颜色）在不同背景下，亮度的感觉不同；
- Two colors, side by side, interact with one another and change our perception accordingly. The effect of this interaction is called **simultaneous contrast**.



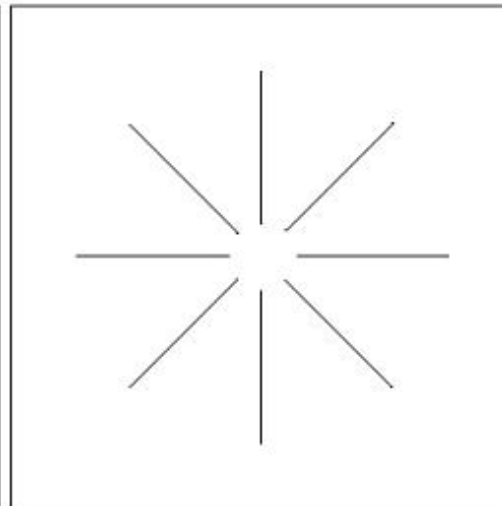
HVS: Optical illusion



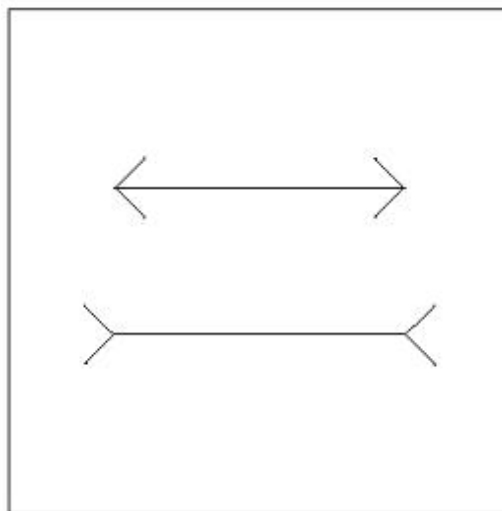
没线的三角形轮廓



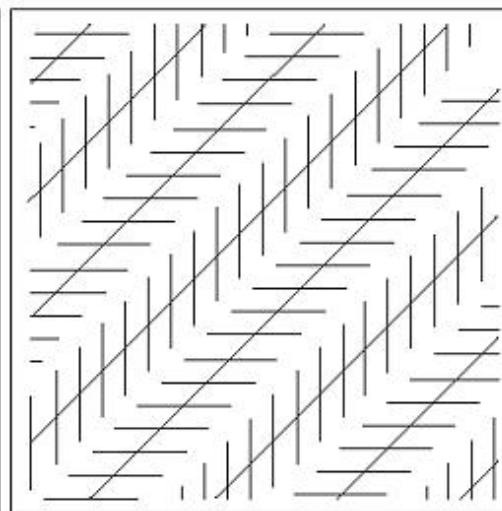
完整的圆
(尽管没有线)



相等线



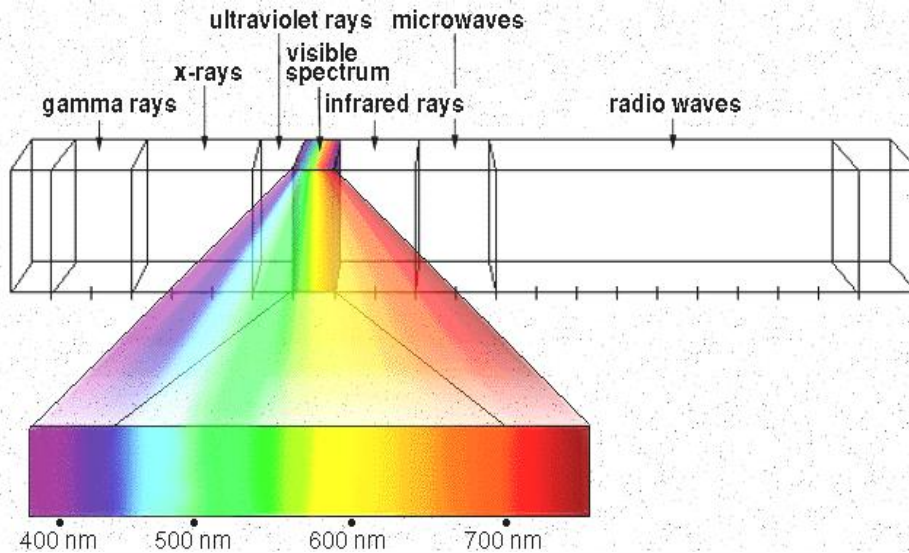
平行线



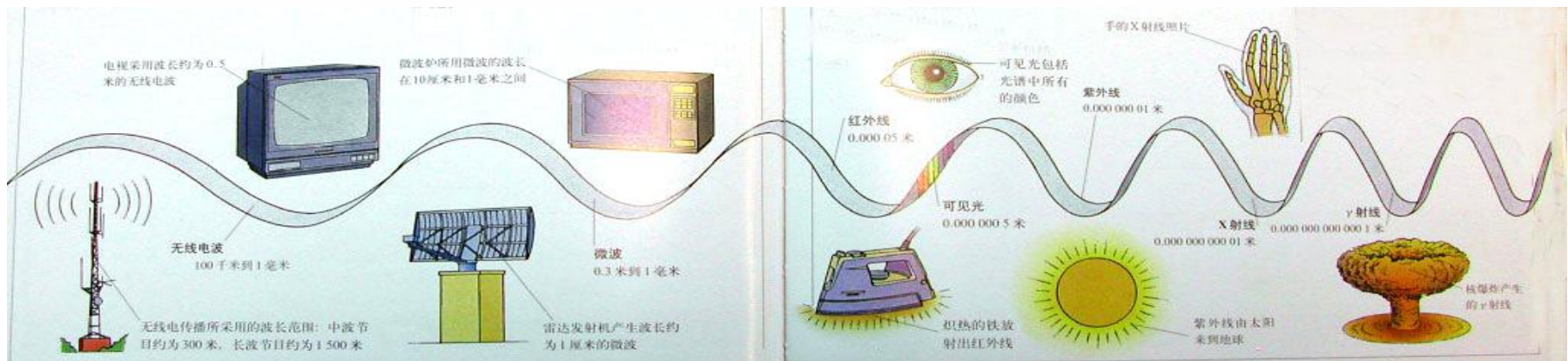
- **Content**
 - **Human Visual Perception**
 - **Image sensing and acquisition**
 - Image sampling and quantization
 - Basic relationship between pixels

Light and electromagnetic spectrum

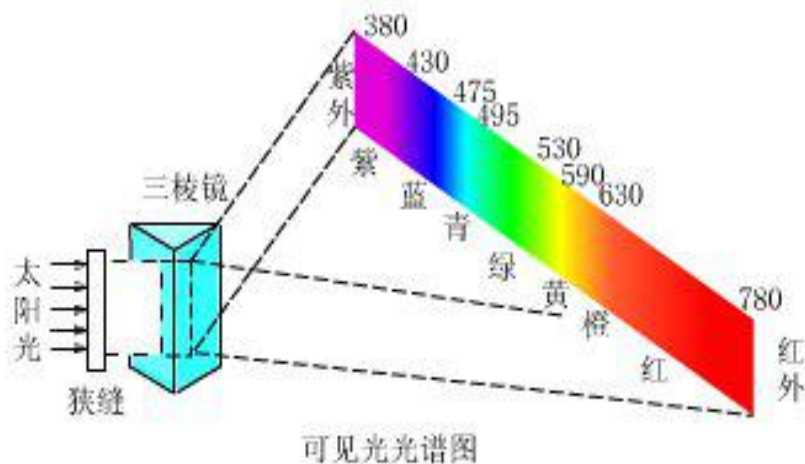
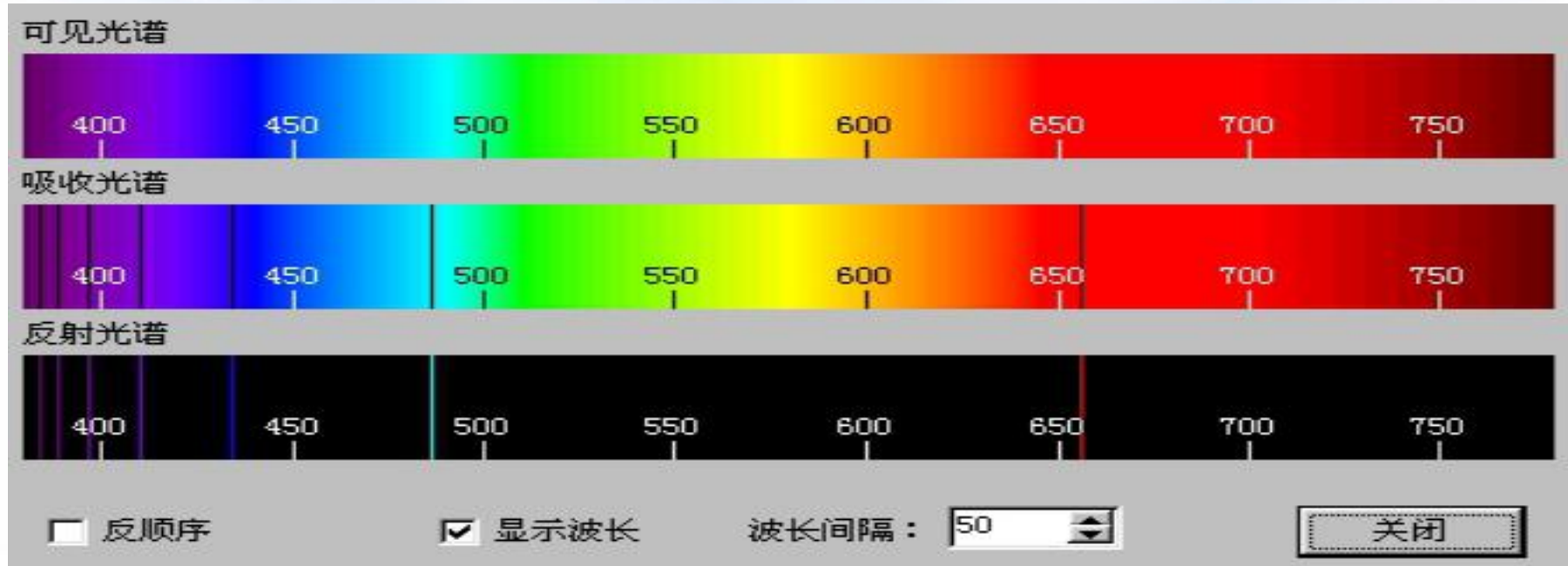
- 可见光的彩色范围只占电磁波谱很小的一部分(400THz~800THz)



电磁辐射波谱



Visible spectrum



- 1666年**牛顿**发现太阳光通过棱镜后成为七色光;
- 灰度级: 描述单色光强度, 它的范围从黑到灰, 最后到白。
- 人感觉物体的颜色是人眼、光源、物体的吸收和发射特性共同决定的;
- 单色光和复合光

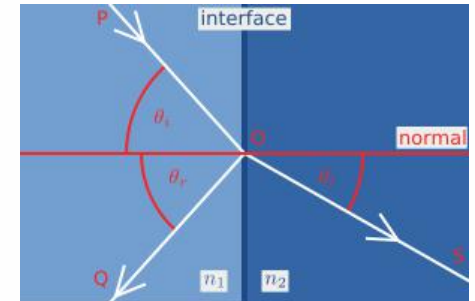


light source

- 彩色感觉既决定于光源所含的光谱成分以及景物反射（或透射）和吸收其中某些成分的特性，又决定于人眼对可见光谱中的不同成分有不同视觉效果的能力。
- 人眼彩色感觉是主观和客观结合的过程，二者缺一不可。
- 光源有两种：
 - **主动光源（照射光源）**：本身发光的物体，它辐射光谱分布，引起人眼的一定彩色感觉。如：太阳、日光灯
 - **被动光源（反射光源）**：不发光的物体，在光源照射下，因反射一定的光谱成分和吸收其余部分而呈现一定的彩色；如：墙面、彩色印刷品

Basic imaging model

- 图像：用二维函数 $f(x,y)$ 形式表示
 - 在特定坐标 (x,y) 处，亮度/强度 f 的值或幅度是一个正的标量，其物理意义由图像源决定。
 - 本书的大部分图像是单色图像，图像值可称为灰度级。
 - 图像的值正比于物理源的辐射能量(电磁波)，因此， $f(x,y)$ 一定是非零和有限的： $0 < f(x,y) < \infty$
- $f(x,y)$ 由两个分量来表征： $f(x,y) = i(x,y)r(x,y)$
 - 入射分量 $i(x,y)$ ：入射到观察场景的光源总量；
 - $0 < i(x,y) < \infty$ ：取决于照射源；
 - 反射分量 $r(x,y)$ ：场景中物体反射光的总量；
 - $0 < r(x,y) < 1$ ：取决于成像物体的性质；
 - $r(x,y)=0$ ，全吸收； $r(x,y)=1$ ，全反射
- 同一物体在不同光源照射下呈现的颜色可能有所不同。



Basic imaging model

- 照射和反射的典型值
 - 照度: $0 < i(x,y) < \infty$
 - 晴朗的白天, 太阳在地球表面产生的照度超过 90000lm/m^2 ;
 - 有云, 10000lm/m^2 ;
 - (lm 流明-光通量, lm/m^2 是照度的单位)
 - 晴朗的夜晚, 满月时约为 0.1lm/m^2
 - 反射: $0 < r(x,y) < 1$
 - 黑天鹅绒为 0.01;
 - 不锈钢为 0.65;
 - 白色墙 0.80;
 - 镀银金属 0.90;
 - 雪 0.93;



雪盲症

Basic imaging model

- （本课程中规定）单色图像在任何坐标 (x_0, y_0) 处的强度为图像在该点的图像**灰度(gray level)**

$$g = f(x_0, y_0)$$

人眼在特定的环境下，能分辨的灰度级有限，只有几十个灰度级

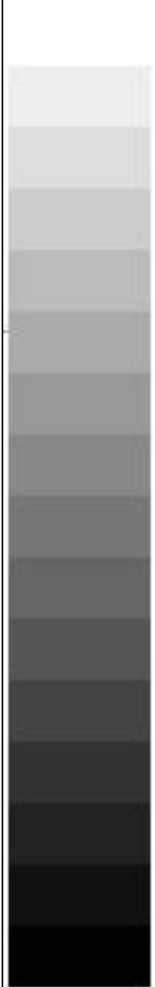
- 
- $L_{\min} \leq g \leq L_{\max}$
 - 区间 $[L_{\min}, L_{\max}]$ 称为灰度级
 - 通常把 $[L_{\min}, L_{\max}]$ 移位为区间 $[0, L-1]$
 - $I=0$ 在灰度级中为黑；
 - $I=L-1$ 在灰度级中为白；
 - 中间值是从黑到白的各种灰色调；
 - 一般灰度图像的灰度级为256 (2^8)，一些特殊图像（如医学图像）的灰度级可达1024 (2^{10}) 甚至4096 (2^{12})

Image Acquisition

- 图像是由“照射”源和“场景”对光的反射或透射而产生的。
 - 照射：
 - 传统的电磁能：雷达、红外线或紫外线、X 射线、可见光等
 - 非传统的光源：超声波、计算机生成的照射模式。
 - 场景：
 - 反射：平面反射
 - 透射：X 光成像等

- (a) 单个成像传感器(如光二极管)
(b) 线传感器(扫描仪、遥感扫描)

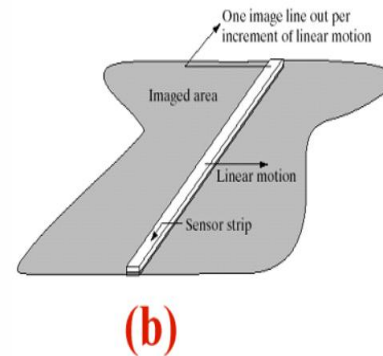
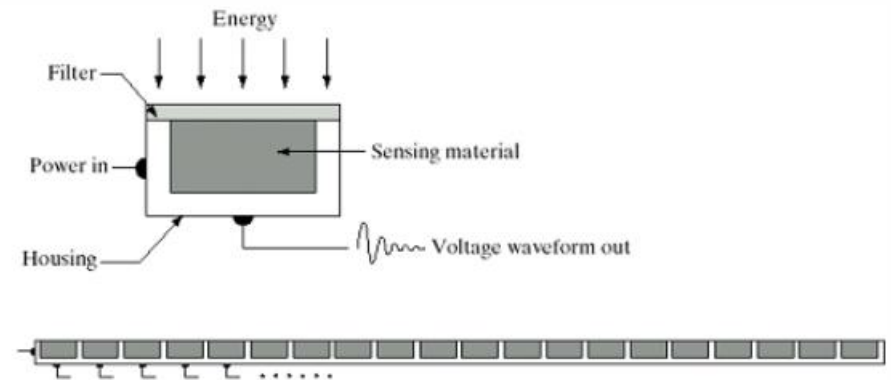
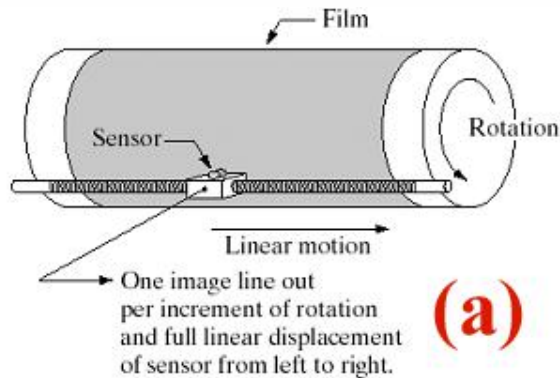
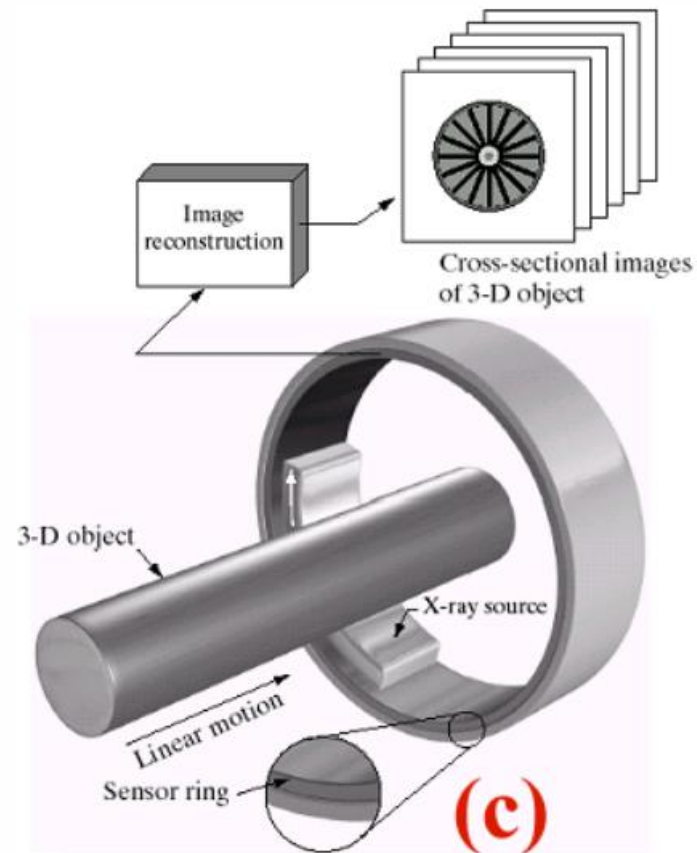
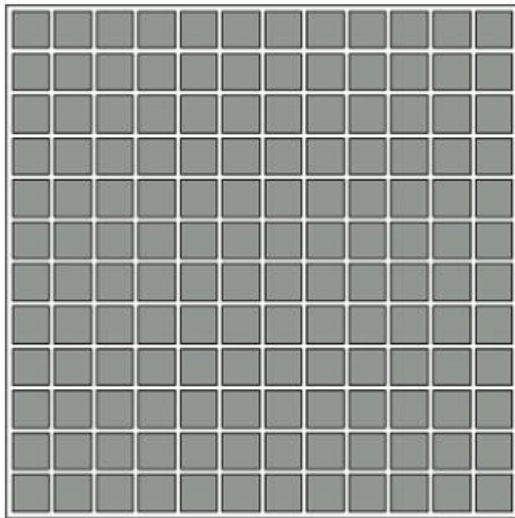


Image Acquisition



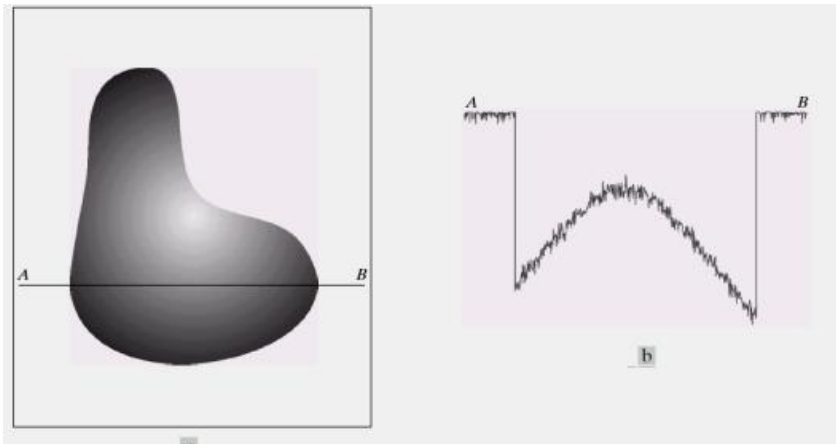
- (c) 环形传感器获取图像 (CT、PET、核磁共振扫描)
- (d) 传感器阵列 (CCD)



- **Content**
 - **Human Visual Perception**
 - **Image sensing and acquisition**
 - **Image sampling and quantization**
 - **Basic relationship between pixels**

Image sampling and quantization

- 数字图像是模拟图像 $f(x,y)$ 通过取样、量化、编码获得的
 - 图像取样sampling**: 图像空间离散化
 - 图像量化quantization**: 图像幅度离散化 (又称为灰度级量化)
 - 图像编码coding**: 用有限比特去表示量化后的数值



- (a) 连续图像
- (b) 在连续图像中用从A到B的扫描线来说明取样和量化的概念
- (c) 取样和量化
- (d) 数字化后的结果

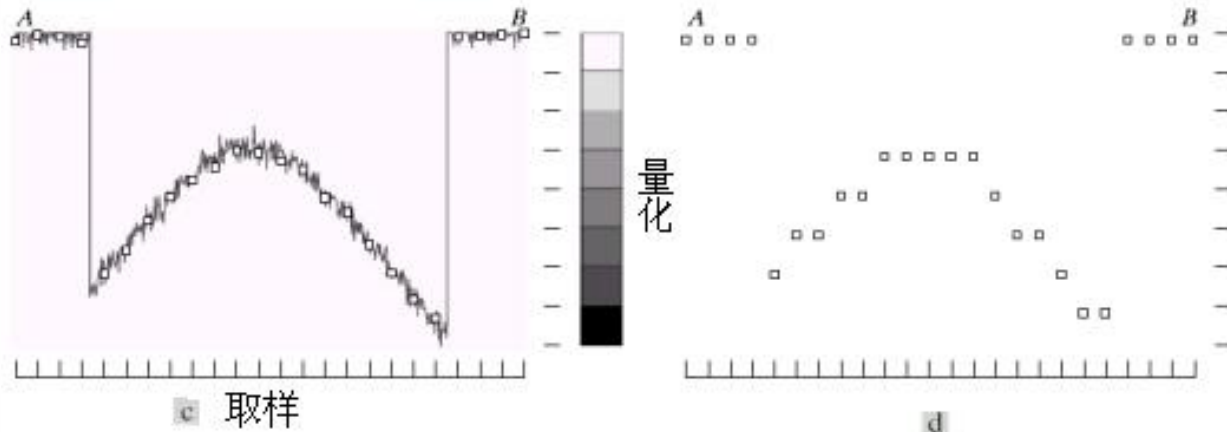


Image sampling and quantization

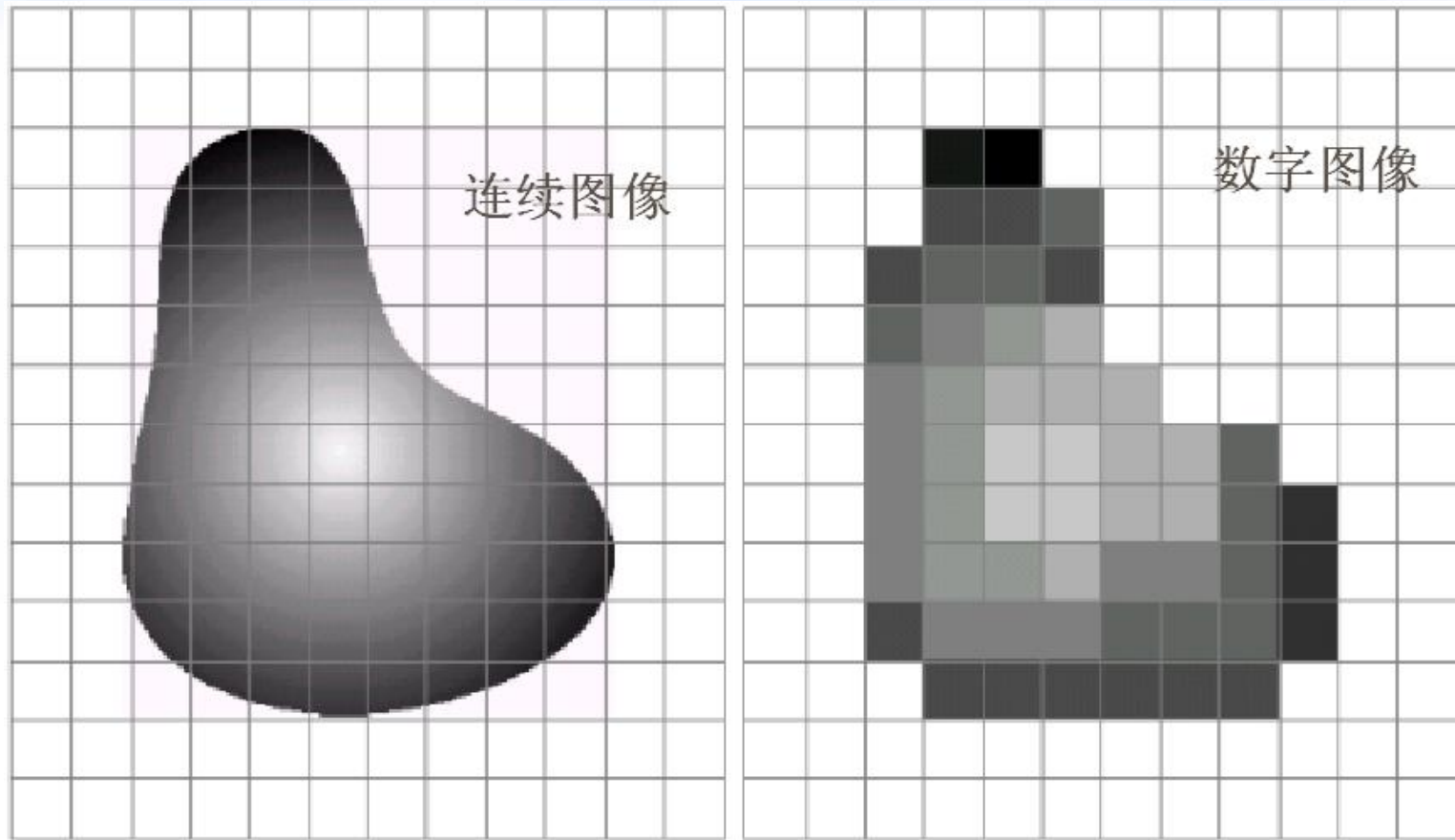
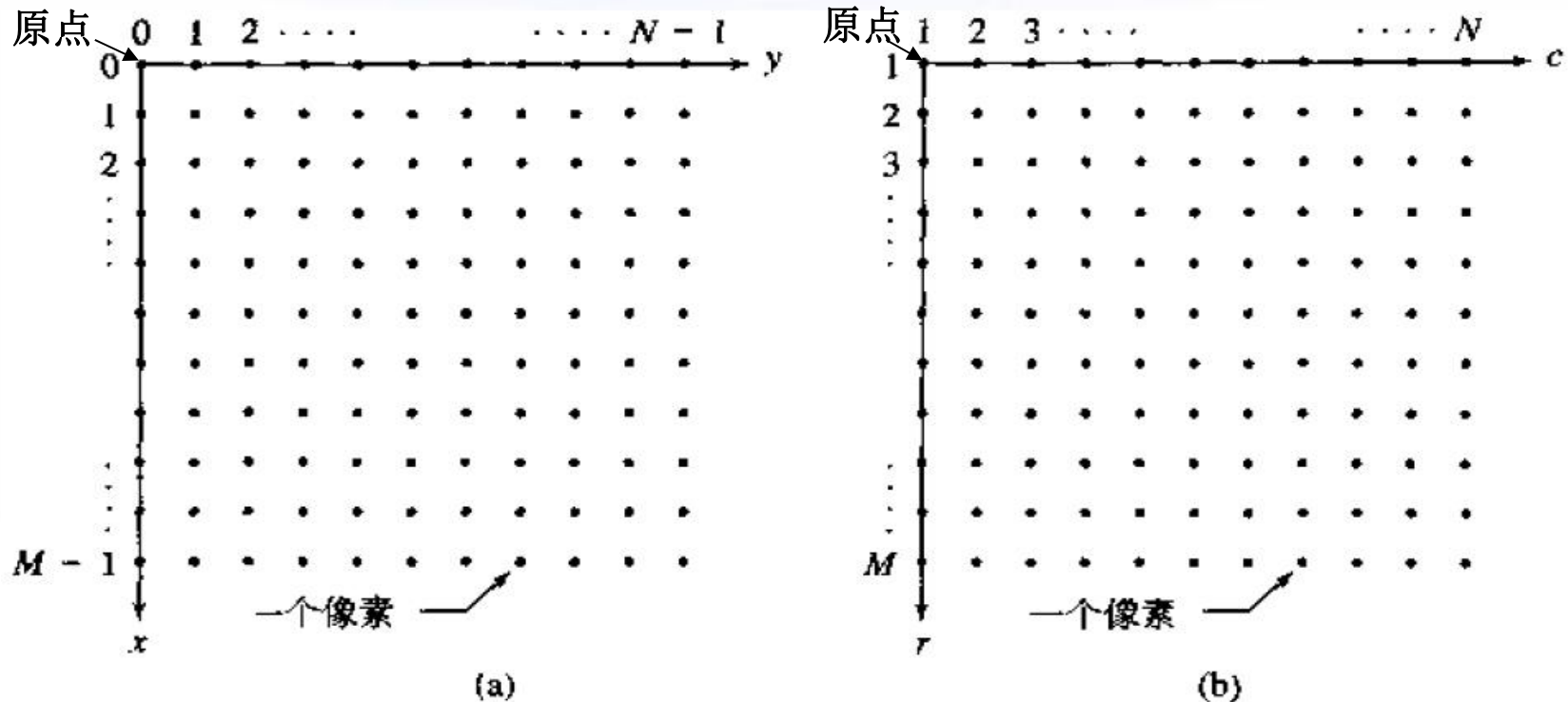


图2.17 连续图像投影到传感器阵列以及取样量化后的结果

- 数字图像的质量很大程度上取决于取样的**样值数**和量化中所用的**灰度级**，而图像内容是选择这些参数的重要因素。

Image sampling and quantization

坐标约定



本课程中数字图像的坐标约定：(a) 多数图像处理书中所用的坐标约定；(b) Matlab IPT中所用的坐标约定

- 差别：1) 坐标系统的原点一个在 $(0, 0)$ ，一个在 $(1, 1)$ ；
2) 坐标中行列的符号一个是 (x, y) ，一个是 (r, c) ，但坐标顺序还是一样，一个元素表示行，第二个元素表示列。



Image sampling and quantization

- 数字图像的表达
 - 连续图像数字化以后变为 $M \times N$ 维的矩阵，表示图像空间上的 M 行 N 列， N 、 M 分别为行、列方向的取样点数；
 - 图像幅度上的灰度级总数为 L ；
 - 图像矩阵表达为：

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

列方向: y
→

↓
行方向: x



Image sampling and quantization

- 图像中像素数的计算
- M、N、L 的取值必须是正整数，通常取 2 的整数次幂：
 - $M=2^m$ 、 $N=2^n$ 、 $L=2^k$ ，则一幅数字图像总的比特数(bit)为：
$$b = M \times N \times k$$
 - 例如：灰度级别为 64 (2^8)，大小 128×128 的图像，所需比特 $128 \times 128 \times 8 = 131072 \text{ bits} = 128 \text{ Kb} = 16 \text{ KB}$
- 当一幅图像有 2^k 灰度级时，通常称该图像是 k 比特图像
 - 离散灰度级是等间隔的，且是 $[0, L-1]$ 内的整数；
 - 灰度级取值范围称为图像的动态范围；
 - 占有灰度级全部有效段的图像，称作高动态范围图像(High Dynamic Range)；

Image sampling and quantization

- 不同 $M=N$ 和 k 时的图像比特总数 $N \times N \times k$

N/k	1 ($L = 2$)	2 ($L = 4$)	3 ($L = 8$)	4 ($L = 16$)	5 ($L = 32$)	6 ($L = 64$)	7 ($L = 128$)	8 ($L = 256$)
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

- 高清电视(1920×1080): 2MB;
- 4K电视(4096×2160): 8MB;
- 1200万像素(4112×3032): 11.9MB;
- 4000万像素(7728×5368): 40MB;

注意：这是灰度图像，彩色图像要乘以3



Image resolution

- 图像分辨率
 - 指组成一幅图像的像素密度。对同样大小的一幅图，如果组成该图的图像像素数目越多，则说明图像的分辨率越高，看起来就越逼真。相反，图像显得越粗糙。
 - 包括：空间分辨率,灰度级（幅度）分辨率
- 空间分辨率是图像中可辨别的最小空间细节
 - 取样值多少是决定图像空间分辨率的主要参数；
 - 意义：每单位距离可分辨的最小线对数；
- 灰度级分辨率是指在灰度级别中可分辨的最小变化。灰度级数通常是 2 的整数次幂。
- 通常把大小为 $M \times N$ 、灰度为 L 级的数字图像称为空间分辨率为 $M \times N$ 像素、灰度级分辨率为 L 级的数字图像。

Spatial resolution

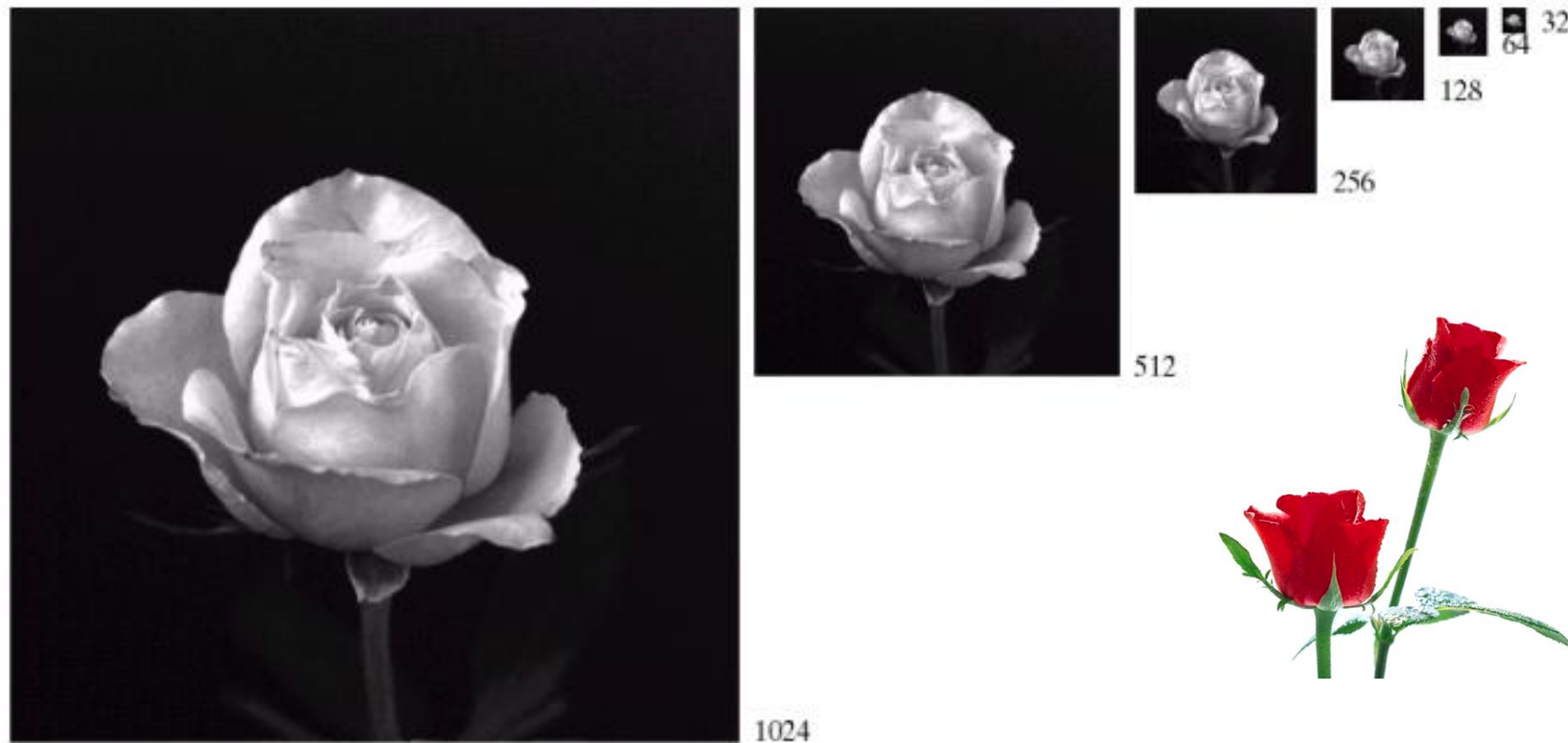
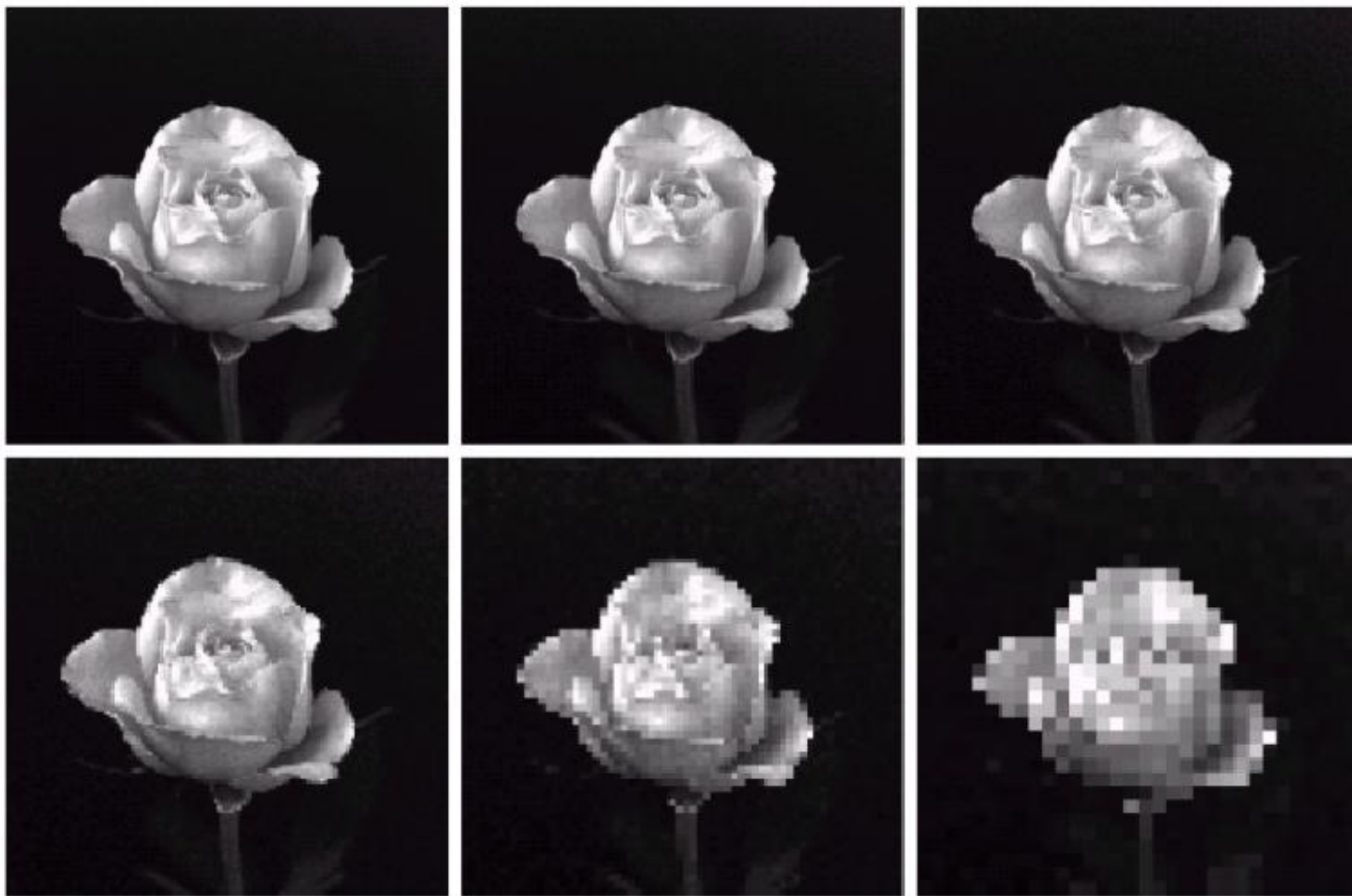


图2.19 保持灰度级别为256的数字图像，取样值从1024*1024逐次减少到32*32像素

Spatial resolution



a	b	c
d	e	f

图2.20 (a)1024*1024, 8比特图像, (b)到*(f)512*512, 256*256, 128*128, 64*64和32*32图像恢复到1024*1024像素的图像

Intensity resolution

- **灰度级(gray level):** 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。
- **图像数据的实际灰度层次越多, 视觉效果就越好**

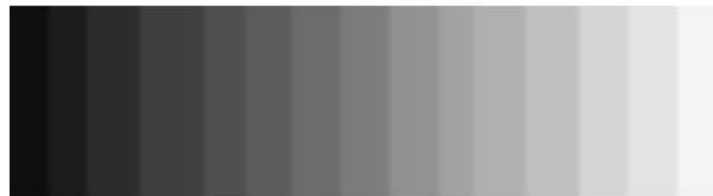
256个层次的图像



64个层次的图像

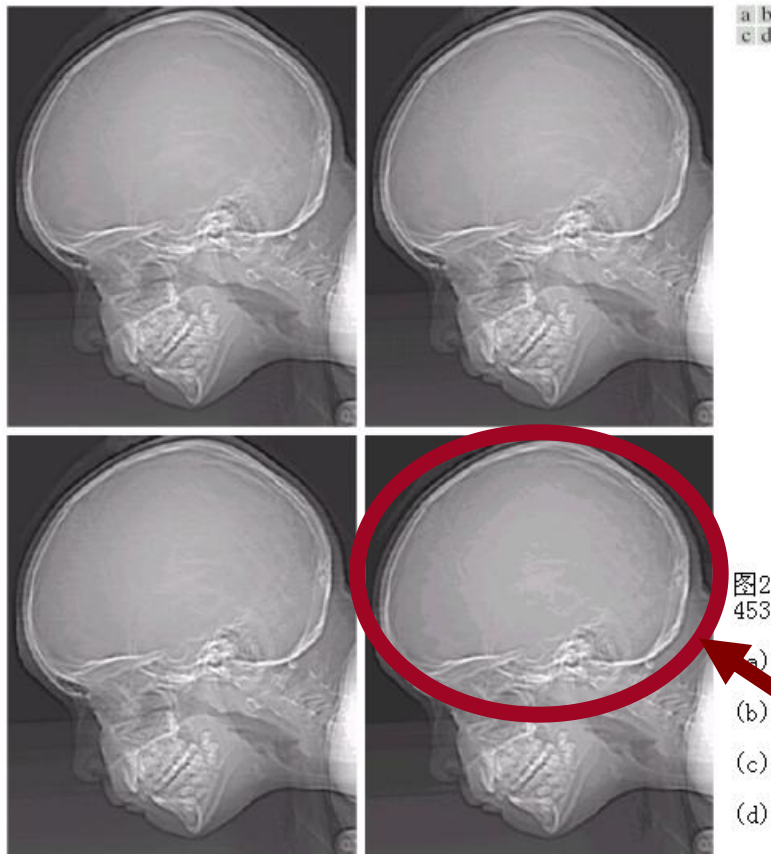


16个层次的图像



Intensity resolution

- 对于一幅 452×374 的 CT 图像，下面保持取样数恒定，而以 2 的整数次幂方式把灰度级从 256 减少到 2，观察图像的变化。



a b
c d

- 256, 128 和 64 灰度级图像的实际效果在视觉上几乎是不可分辨的。
- 32 级灰度的图像在平滑灰度区域内（特别是头盖骨处）有一组几乎看不见的非常细小的山脊状结构。

图 2.21
453*374 图像

(a) 8 比特图像
(b) 7 比特图像
(c) 6 比特图像
(d) 5 比特图像

伪轮廓效应

Intensity resolution

- 由于数字图像平滑区灰度级数量不足引起的虚假轮廓效应，称为**伪轮廓**。
- 灰度级别越减少，伪轮廓现象越明显。

e f
g h

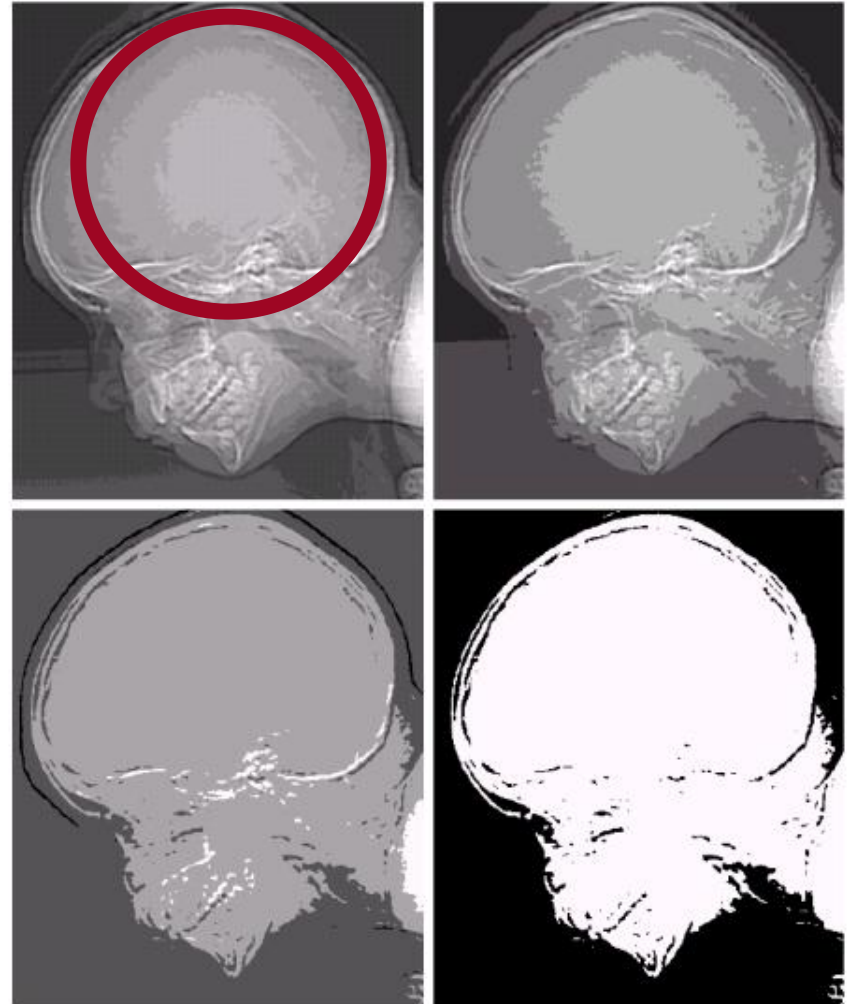
图2.21 (续)

(e) 4比特图像

(f) 3比特图像

(g) 2比特图像

(h) 1比特图像



- 再综合考虑 N 和 k 对图像质量的影响，采用下图进行主观测试



(a)少量细节(Lena)



(b)中等细节(摄影师)



(c)大量细节(观众)

大量细节的图像只需要少数地灰度级别就可以获得满意的效果



Image interpolation

- 目标：改变空间分辨率的改变，即放大和缩小图像
- 缩小：丢点操作
 - 行-列删除
- 放大：内插操作
 - 创建新的像素位置，并对这些新位置赋值（内插算法，例如最近邻域内插法/双线性内插法）
- 常用的三种插值（interpolation）方法：
 - ‘nearest’：最近邻域插值法，1 个像素
 - ‘bilinear’：双线性内插法，4 个像素
 - ‘bicubic’：双三次内插法，16 个像素



Image interpolation

■ 最近邻域内插(nearest interpolation)

- 在原图像中寻找最靠近新位置像素的像素点, 并将它的灰度值赋给新像素
- 优点: 简单易行 速度快
- 缺点: 易产生块效应

■ 双线性内插(bilinear interpolation)

- 在原图像中寻找新位置像素的4个像素点, 并借助双线性函数使用4个像素点的灰度值计算新像素点的值
- 优点: 块效应不明显
- 缺点: 计算复杂, 使图像细节退化(平滑作用)

■ 双三次内插(二阶插值): 不要求

- 又称立体卷积差值, 性能更佳, 计算量最大

Image interpolation

- 最近邻域插值法

- 又称“零阶插值”，是在原图像上寻找最靠近的像素，并把它的灰度值赋给新像素，对于整数倍放大也就是最临近点重复。
- 缺点是易于产生块效应，特别是高倍数时。

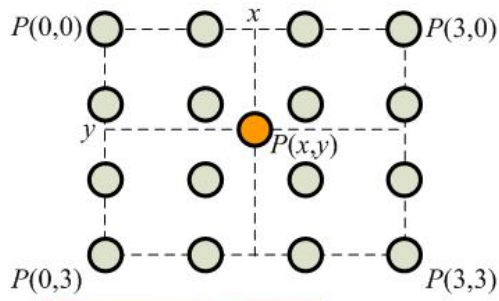


Image interpolation

- **双线性内插(Bilinear Interpolation)**：利用 4 个最邻近点产生新的像素点。
- 已知网格的四个顶点 $Q_{11}=(x_1, y_1)$, $Q_{12}=(x_1, y_2)$, $Q_{21}=(x_2, y_1)$, $Q_{22}=(x_2, y_2)$ ，求网格内部点 $P=(x, y)$ 处的未知函数 $f = ?$
 - 首先在 x 方向进行线性内插

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad \text{式中 } R_1 = (x, y_1)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \quad \text{式中 } R_2 = (x, y_2)$$

- 然后计算 y 方向的线性内插

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2)$$

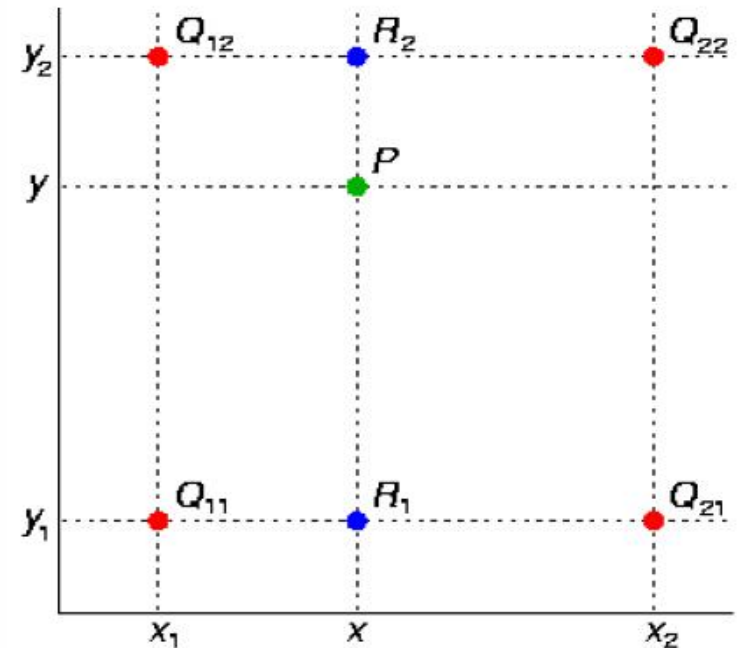




Image interpolation

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

- 并不像名字所暗示的那样双线性内插是线性的，其实它不是线性的，它的一般形式为两个线性函数的乘积：

$$(a_1x + a_2)(a_3y + a_4) = b_1 + b_2x + b_3y + b_4xy$$

- 双线性内插与两个线性内插的先后顺序无关，先进行 y 方向，再进行 x 方向，也获得相同的结果。

Image interpolation

处理结果比较



Nearest-neighbor



Bilinear

```
B = imresize(A,4, method)
```




Index

- **Content**
 - **Human Visual Perception**
 - **Image sensing and acquisition**
 - **Image sampling and quantization**
 - **Basic relationship between pixels**

Basic relationship between pixels

(1) 像素间的邻域

	r	
r	p	r
	r	

4-邻域
记为 $N_4(p)$

s		s
	p	
s		s

对角-邻域
记为 $N_D(p)$

s	r	s
r	p	r
s	r	s

8-邻域
记为 $N_8(p)$



Basic relationship between pixels

(2) 像素间的邻接与连接

- 像素的邻接(adjacency): 像素在空间上是相邻的
 - 仅考虑像素间的空间关系
- 像素的连接(connectivity):
 - 空间是否相邻(邻接)
 - 灰度值是否满足某个特定的相似准则(同在一个灰度值集合中取值)

Basic relationship between pixels

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)

- (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 $N_D(p)$ 中且集合 $N_4(p) \cap N_4(r)$ 是空集 (这个集合是由 p 和 r 的在 V 中取值的4-连接像素组成的)

混合连接的应用: 消除8-连接可能产生的歧义性



Basic relationship between pixels

(3) 像素间的距离

常用的三种距离度量函数

(1) 欧氏 (Euclidean) 距离

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

(2) 城区 (city-block) 距离

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

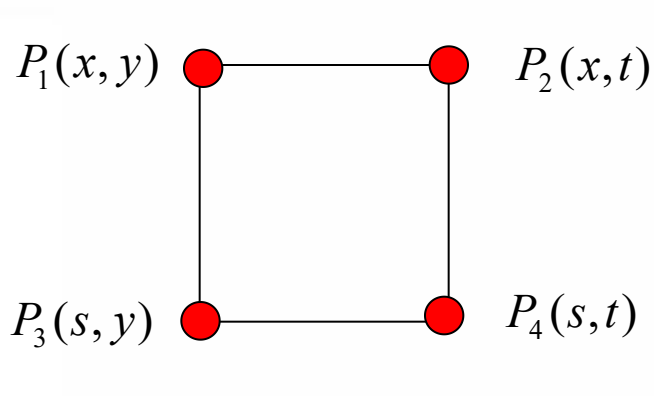
(3) 棋盘 (chessboard) 距离

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

Basic relationship between pixels

像素间的欧式距离

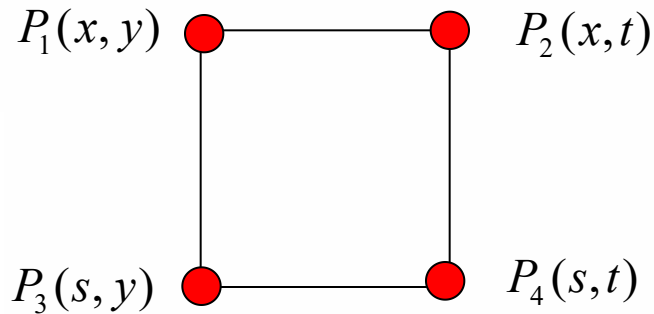
- **欧式距离**: 距点 (x, y) 的欧式距离小于或等于 r 的像素分布在中心为 (x, y) , 半径为 r 的圆平面上
- 欧式距离计算量大, 且数值可能不是整数


$$D_e(P_1, P_2) = \sqrt{(x-x)^2 + (y-t)^2} = |y-t|$$
$$D_e(P_1, P_4) = \sqrt{(x-s)^2 + (y-t)^2}$$

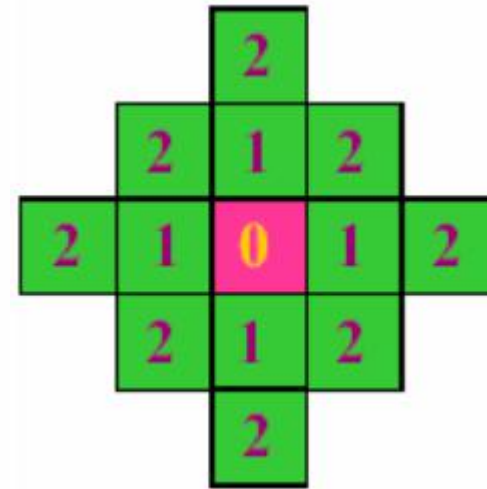
Basic relationship between pixels

像素间的城区距离

- **D_4 距离(城区距离):** 距点 (x,y) 的 D_4 距离小于或等于 r 的像素形成中心在 (x,y) 的菱形



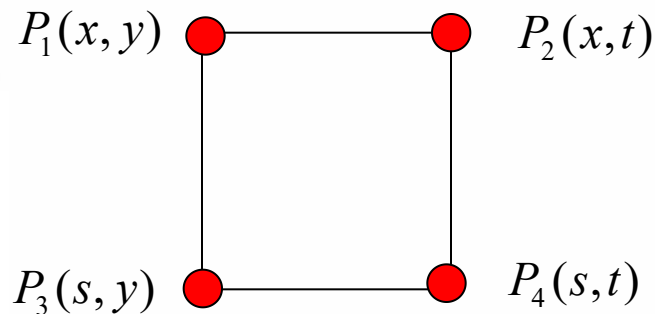
$$D_4(P_1, P_4) = |x - s| + |y - t|$$



Basic relationship between pixels

像素间的棋盘距离

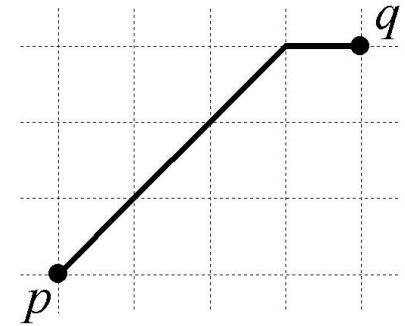
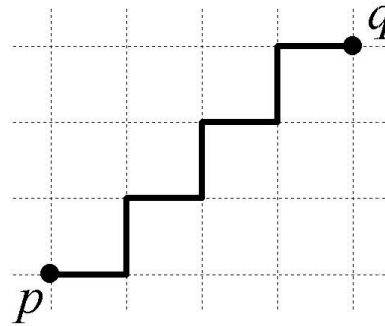
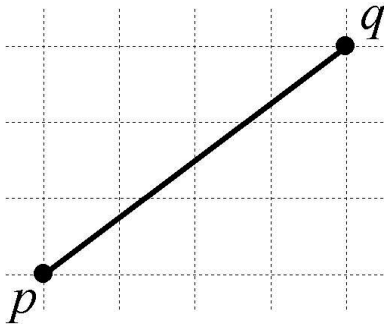
- **D_8 距离(棋盘距离):** 距点 (x, y) 的 D_8 距离小于或等于 r 的像素形成中心在 (x, y) 的正方形



$$D_8(P_1, P_4) = \max \{|x - s|, |y - t|\}$$

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

Basic relationship between pixels



分别计算(a)~(c)中p、q两点间的欧式距离、街区距离和棋盘距离

$$D_e(p, r) = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$D_4(p, r) = |4| + |3| = 7$$

$$D_8(p, r) = \max \{|4|, |3|\} = 4$$



Summary

- 人眼生理和视觉特性
- 光和电磁波特性有助于理解图像来源
- 图像的获取模型、取样和量化，理解时域和频域特性。
- 影响图像质量的因素
- 像素间的关系



相关Matlab文件汇总

- **imresize()**: change image size
- **pdist2()**: calculate the distance of two vectors



Matlab文件: 图像放缩

- **$I_p = \text{imresize}(I, \text{scale}, \text{method})$**
 - 返回 **scale** 倍大小的图像, **scale**可大于或小于 **1.0**, 对应放大或缩小

Method	Description
'nearest'	Nearest-neighbor interpolation; the output pixel is assigned the value of the pixel that the point falls within. No other pixels are considered.
'bilinear'	Bilinear interpolation; the output pixel value is a weighted average of pixels in the nearest 2-by-2 neighborhood
'bicubic'	Bicubic interpolation (the default); the output pixel value is a weighted average of pixels in the nearest 4-by-4 neighborhood
'box'	Box-shaped kernel
'triangle'	Triangular kernel (equivalent to 'bilinear')
'cubic'	Cubic kernel (equivalent to 'bicubic')
'lanczos2' and 'lanczos3'	Lanczos-2 kernel Lanczos-3 kernel



Matlab文件: 像素间距离计算)

- **D = pdist2(X,Y,distance)**

计算两个向量的距离
distance包括:

Metric	Description
'euclidean'	Euclidean distance (default).
'seuclidean'	Standardized Euclidean distance.
'cityblock'	City block metric.
'chebychev'	Chebychev distance (maximum coordinate difference).
'minkowski'	Minkowski distance. The default exponent is 2.
'hamming'	Hamming distance, the percentage of coordinates that differ.

Homework



1. 试简述人眼的构造，并简述锥状细胞和杆状细胞的功能。
2. 简述：人眼亮度适应特性、韦伯定理、马赫带效应、视在对比度、视觉暂留等人眼视觉特性的含义。
3. 课后习题2.9 (p59)。
4. 试述最近邻内插和双线性内插的原理和特点。
5. 试计算下图所示p点和q点的欧式距离、r点和s点的城区距离、m点和n点的棋盘距离。

