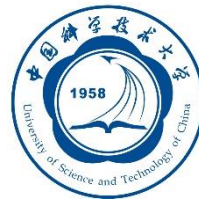




数字图象分析

中国科学技术大学
信息科学技术学院
电子工程与信息科学系
李厚强，周文罡

Email: {lihq, zhwg}@ustc.edu.cn



第2章 相关图象基础

- 2.1 图象处理技术概述
- 2.2 图象成象过程
- 2.3 像素间联系

2.1 图象处理技术概述

图象采集 (image acquisition): 指利用一定的设备获取可输入计算机的数字图象, 这些设备主要完成根据所接受到的电磁能量产生模拟电信号和进一步将模拟电信号转化为离散形式两个功能 {图象合成}

图象变换 (image transformation): 指将图象在不同空间转换的技术和过程, 也可指在图象空间对图象中目标位置形状等进行变化的技术和过程

图象增强 (image enhancement): 指对图象进行加工, 以得到对具体应用来说视觉效果更“好”, 更“有用”的图象, 或者说改进输入图象的视觉质量的技术和过程

2.1 图象处理技术概述

图象恢复 (image restoration): 基于图象退化的模型进行, 即要根据图象退化的模型和知识重建或恢复原始的图象

图象重建 (image reconstruction): 指投影重建, 即从一个物体的多个 (轴向) 投影图重建目标图象的过程。通过投影重建可以直接看到原来被投影物体某种特性的空间分布

图象编码 (image coding): 指对图象进行加工, 采用新的表达方法以减小表示图象所需数据量的技术和过程, 常称图象编码为图象压缩, 在需要消除图象中冗余数据时使用

图象显示 (image display): 多指以空间亮度分布模式显示图象数据或其它类型的数据, 主要目的是给人以直观可视的感觉

2.2 图象成象过程

成象时要考虑三个方面的问题

（特别成象目的是图象分析时）：

- (1) 几何：在图象中什么地方可发现目标？
- (2) 辐射：图象中的目标有多亮，该亮度与目标和成象系统的光学特性有什么关系？
- (3) 数字化和量化：当用一个数字矩阵表达图象并用数字计算机处理该图象会得到什么结果？

2.2 图象成象过程

2.2.1 视觉过程

2.2.2 成象变换

2.2.3 成象亮度

2.2.4 视觉系统对光的感知特点

2.2.5 采样和量化

2.2.1 视觉过程

1. 光学过程

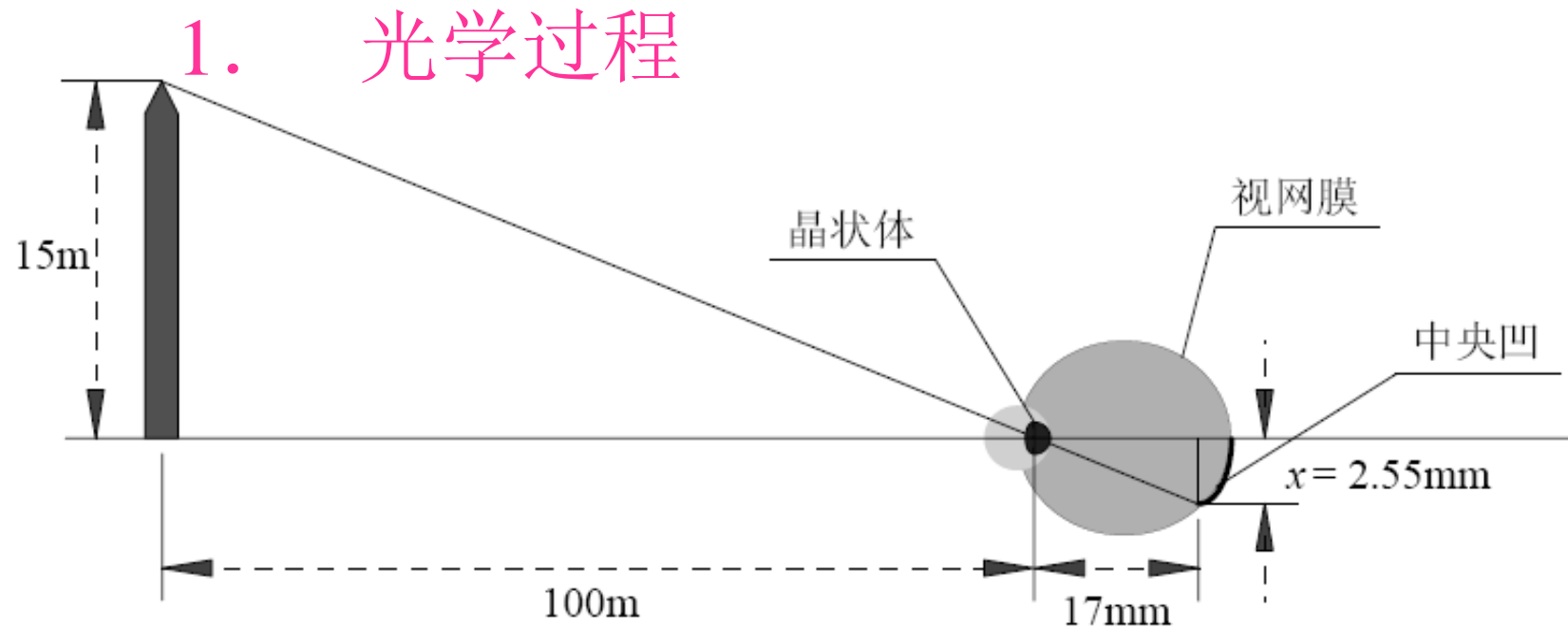


图 2.1.1 人眼水平横截面示意图

$$15 / 100 = 2.55 / 17$$



2.2.1 视觉过程

2. 化学过程

锥细胞和柱细胞:

锥细胞 (cone): 数量少, 对颜色很敏感

锥细胞视觉: 明视觉或亮光视觉 (photopic vision)

柱细胞 (rod): 数量多, 分辨率比较低不感受颜色,
并对低照度较敏感

柱细胞视觉: 暗视觉或微光视觉 (scotopic vision)

2.2.1 视觉过程

3. 神经处理过程

每个视网膜接收单元都与一个神经元细胞借助突触（synapse）相连

每个神经元细胞借助其它的突触与其它细胞连接，从而构成光神经（optical nerve）网络

光神经进一步与大脑中的侧区域（side region of the brain）连接，并到达大脑中的纹状皮层（striated cortex）

对光刺激产生的响应经过一系列处理最终形成关于场景的表象，从而将对光的感觉转化为对景物的知觉

2.2.1 视觉过程

整体视觉过程

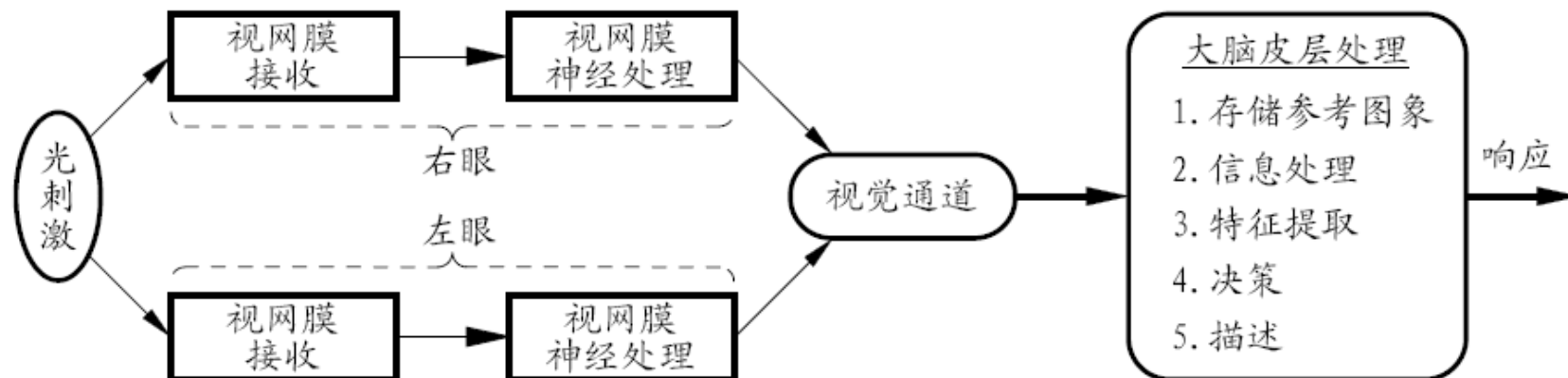
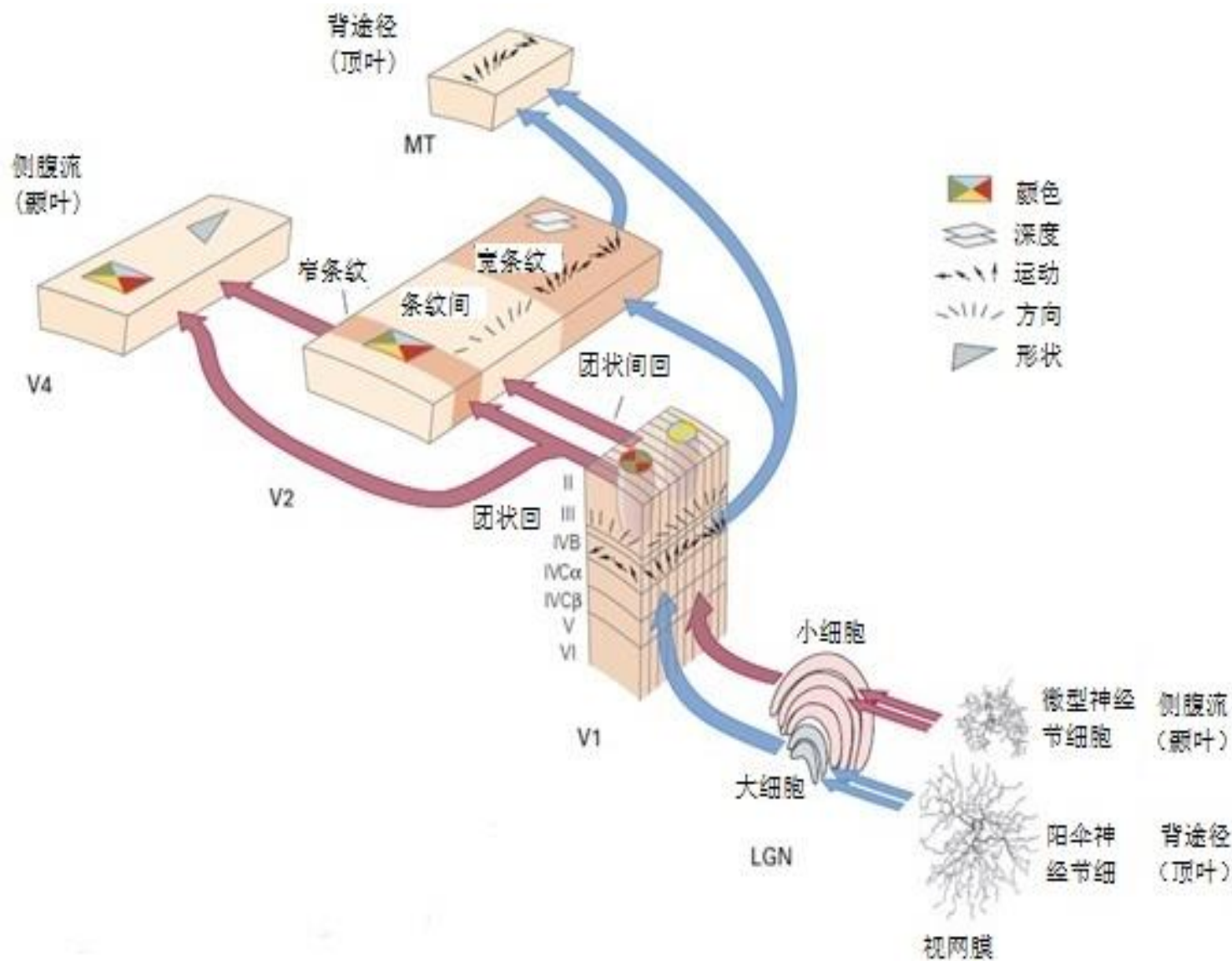


图 2.1.2 视觉过程流图

视觉 = “视” + “觉”

脑视觉信息处理通路



2.2.2 成象变换

投影成象

将3-D客观场景投影到2-D图象平面

成象过程

三个坐标系

世界坐标系 XYZ

摄像机坐标系 xyz

图象平面 xy

从 XYZ 到 xyz , 从 xyz 到 xy

2.2.2 成象变换

三个坐标系

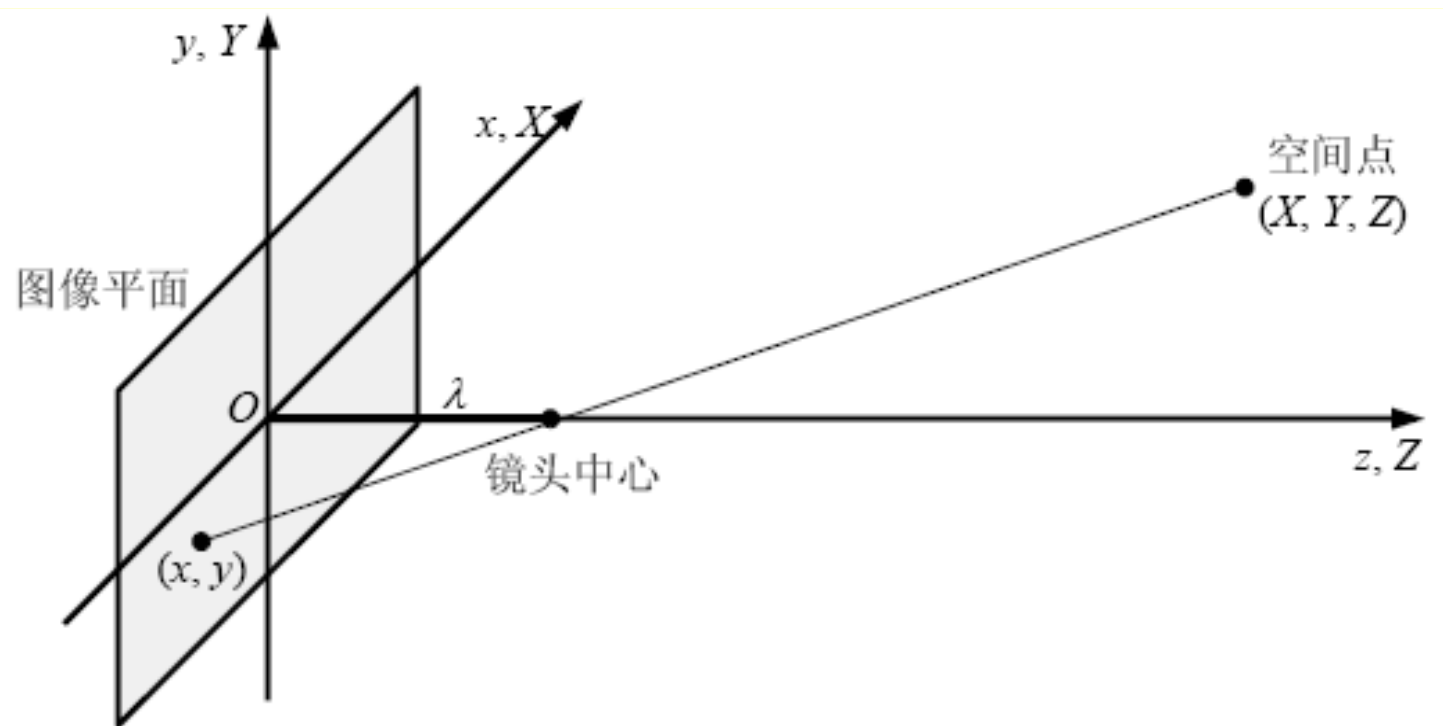


图 2.2.1 投影变换成像示意图

2.2.2 成象变换

透视变换

3-D点投影后的图象平面坐标

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z}$$

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z}$$

非线性投影等式（分母含变量Z）

2.2.2 成象变换

齐次坐标

可用来将前述非线性（分母中含变量 Z ）等式表示成线性矩阵形式

笛卡尔坐标: $w = [X \ Y \ Z]^T$

齐次坐标: $w_h = [kX \ kY \ kZ \ k]^T$

k 为任意非零常数

齐次坐标 \Rightarrow 笛卡尔坐标: 用第4个坐标量去除前3个坐标量

2.2.2 成象变换

齐次坐标透视变换

$$\mathbf{c}_h = \mathbf{P}\mathbf{w}_h = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ -kZ/\lambda + k \end{bmatrix}$$

用第4项分别去除前3个项

$$\mathbf{c} = [x \quad y \quad z]^T = \left[\frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad \frac{\lambda Z}{\lambda - Z} \right]^T$$

2.2.2 成象变换

逆投影变换

根据2-D图象坐标来确定3-D客观景物的坐标

$$\mathbf{w}_h = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{c}_h$$

$$\mathbf{P}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda & 1 \end{bmatrix}$$



2.2.3 成象亮度

景物所受到的光照度

光度学：研究光辐射强弱的学科

光通量：表示光辐射的功率或光辐射量

单位：lm（流明）

发光强度：单位立体角内发出的光通量

单位：cd（坎[德拉]）

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$$

亮度：单位投影面积的发光强度

2.2.3 成象亮度

景物所受到的光照度

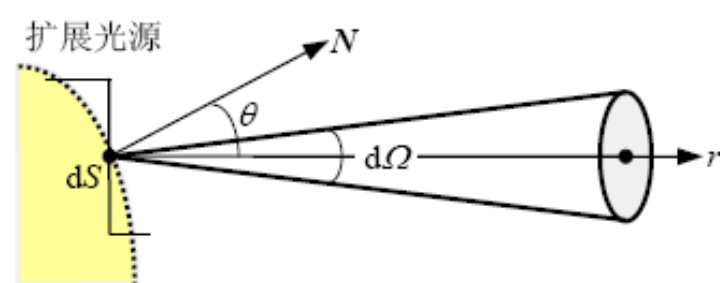


图 2.2.2 扩展光源

$$B \equiv \frac{dI}{dS'} \equiv \frac{dI}{dS \cos \theta} \equiv \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cos \theta}$$

2.2.3 成象亮度

图象成象模型

2-D亮度函数: $f(x, y)$

亮度是能量的量度, 一定不为零且为有限值

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

- (1) 入射到可见场景上的光量
- (2) 场景中目标对入射光反射的比率

照度成分 $i(x, y)$ 和反射成分 $r(x, y)$

2.2.3 成象亮度

景物表面对光的反射程度

景物的亮度既与入射光照度有关也与景物表面对光反射的性质有关

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

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

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

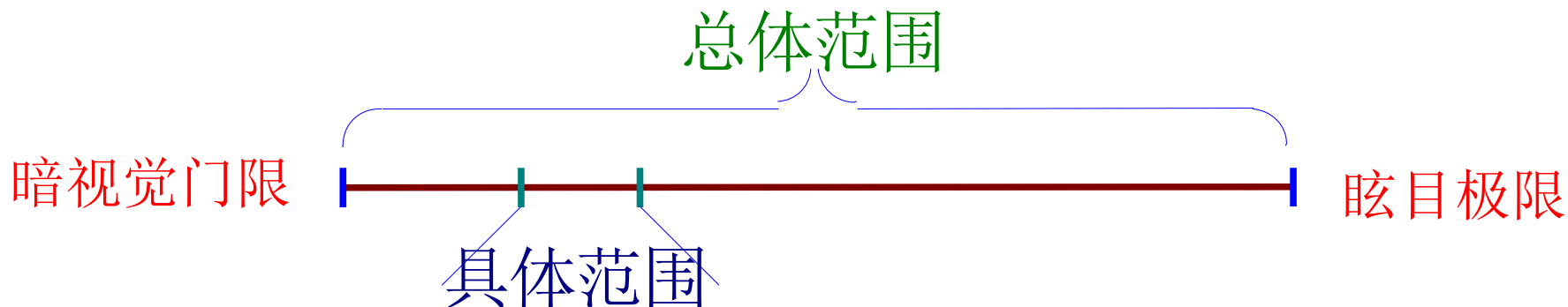
$$0 < r(x, y) < 1$$

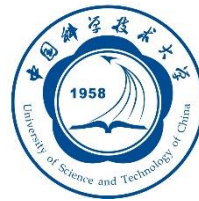
黑天鹅绒: 0.01; 不锈钢: 0.65; 白墙平面: 0.80; 镀银器皿: 0.90; 白雪: 0.93

2.2.4 视觉系统对光的感知特点

人眼适应的亮度范围

- 1) 总体范围大：从暗视觉门限到眩目极限之间的范围在 10^{10} 量级
- (2) 具体范围小：一般范围在 10^2 量级





2.2.4 视觉系统对光的感知特点

亮度变化的感知

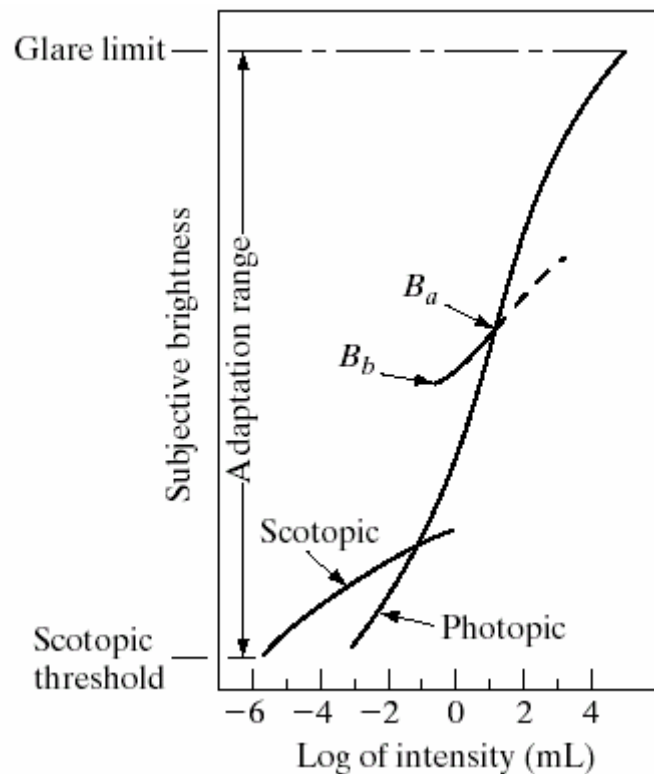
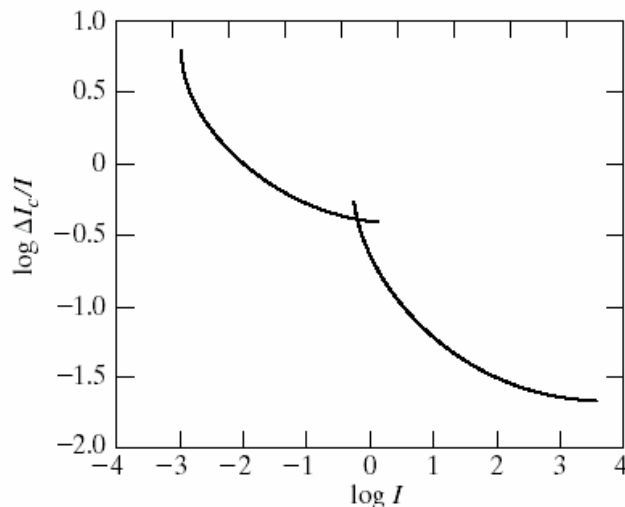
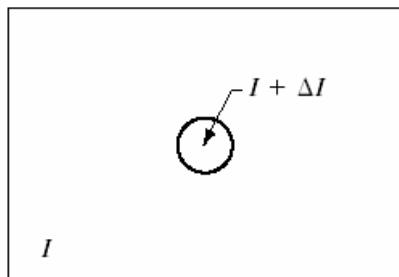
人类视觉系统对亮度变化的感知比对亮度本身要敏感

人类视觉系统对光强度的响应不是线性的，而是对数形式的（对暗光时亮度的增加比对亮光时亮度的增加更敏感）

2.2.4 视觉系统对光的感知特点

□ 亮度适应和分辨

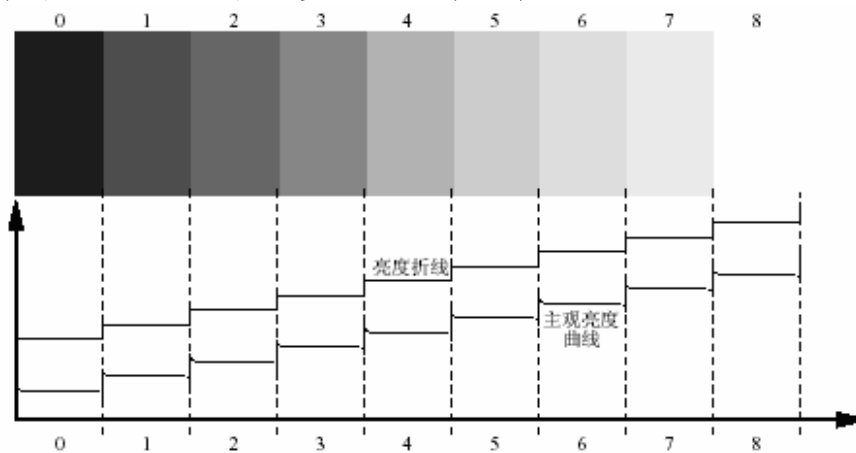
- 客观亮度、主观亮度、亮度适应级
- 亮度分辨率 (韦伯率 Weber ratio)



2.2.4 视觉系统对光的感知特点

● 亮度错觉

- 马赫带：在亮度变化部分附近的亮区和暗区分别感知到一条更暗和更亮的条带。



- 同时对比度

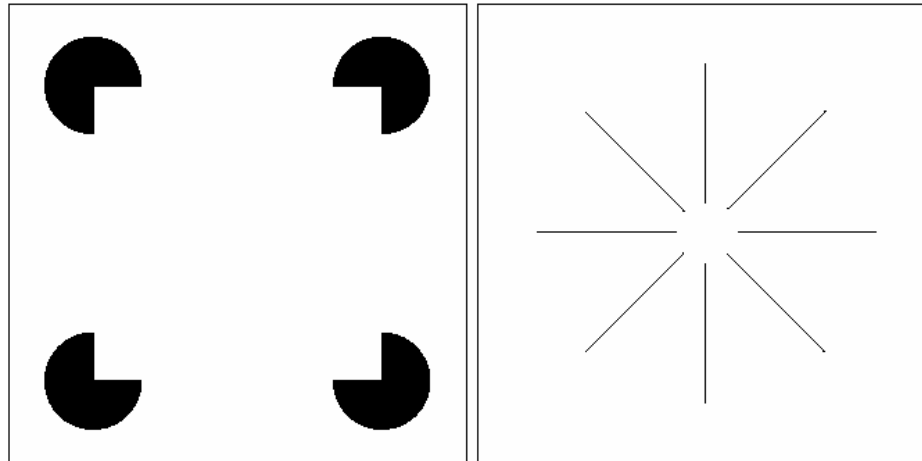


2.2.4 视觉系统对光的感知特点

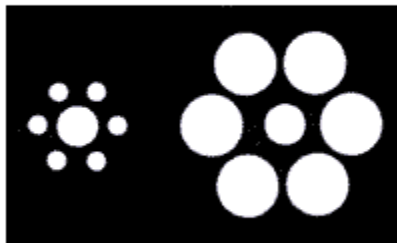
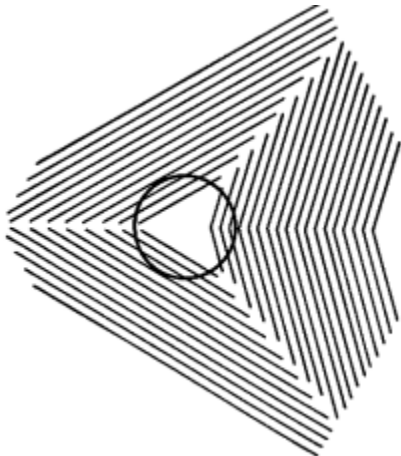
视觉错觉

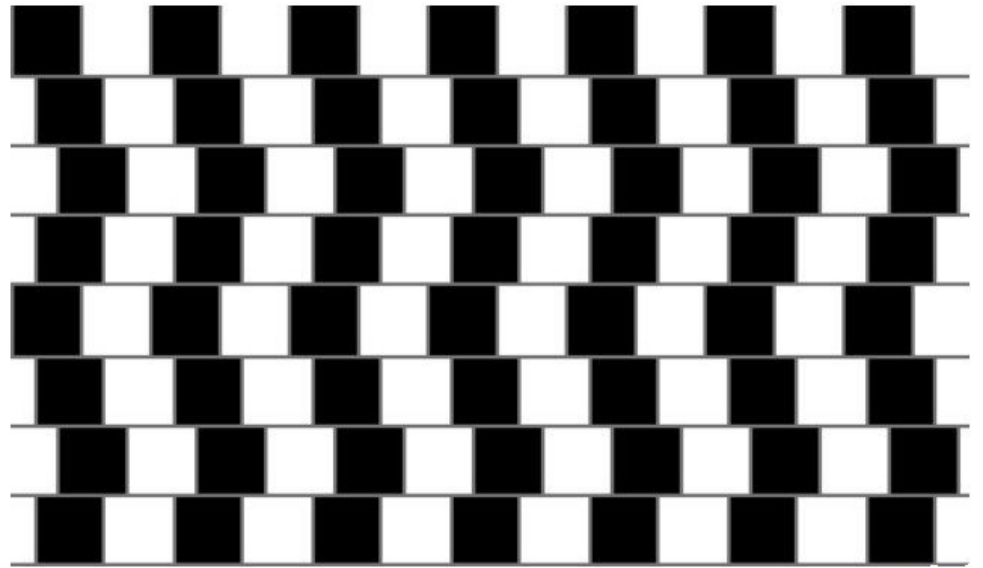
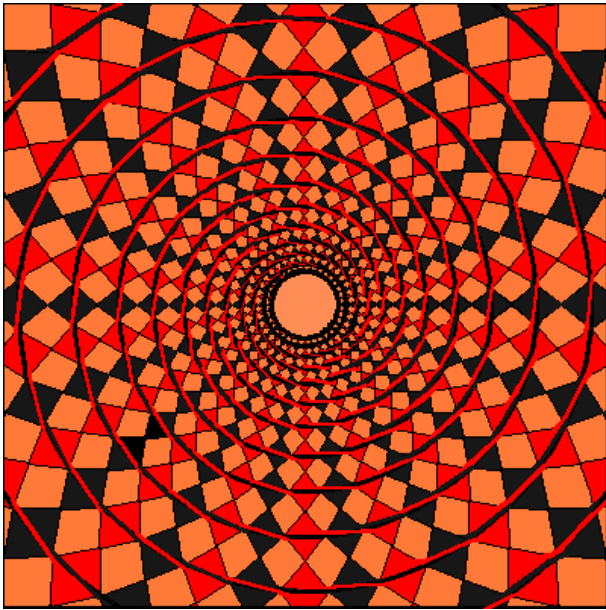
由视觉系统特性特性、心理、知识等方面有关，形成机制尚未完全了解

填充



几何特性





Rubin Vase

2.2.5 采样和量化

图象 \Rightarrow 数字图象

$$f(x, y) \Rightarrow I(r, c)$$

空间坐标的离散化叫做空间采样

$$x, y \Rightarrow r, c$$

幅度的离散化叫做幅度量化

$$f \Rightarrow I$$

2.2.5 采样和量化

数字图象

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

图象（水平）尺寸 M : $M = 2^m$

图象（垂直）尺寸 N : $N = 2^n$

像素灰度级数 G (k -bit): $G = 2^k$

图象所需的位数 b : $b = M \times N \times k = N^2 k$

2.2.5 采样和量化

数字图象

$$b = M \times N \times k = N^2 k$$

存储1幅 32×32 , 16个灰度级的图
需要 4 096 bit

存储1幅 128×128 , 64个灰度级的图
需要 98 304 bit

存储1幅 512×512 , 256个灰度级的图
需要 2 097 152 bit

2.2.5 采样和量化

图象空间分辨率变化所产生的效果

515x512
~16x16

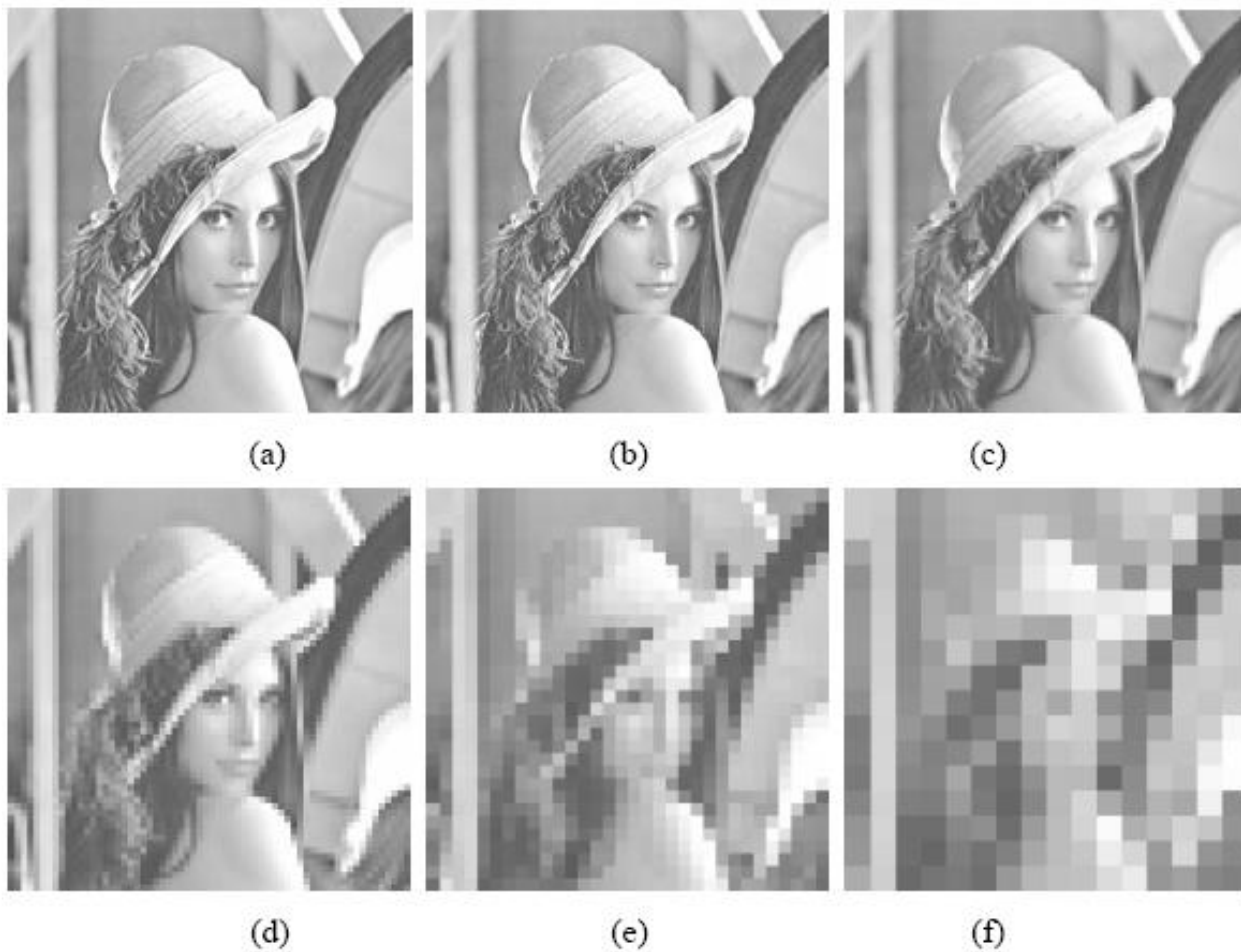


图 2.4.2 图像空间分辨率变化所产生的效果

2.2.5 采样和量化

图象幅度分辨率变化所产生的效果

256,64,16,
8,4,2

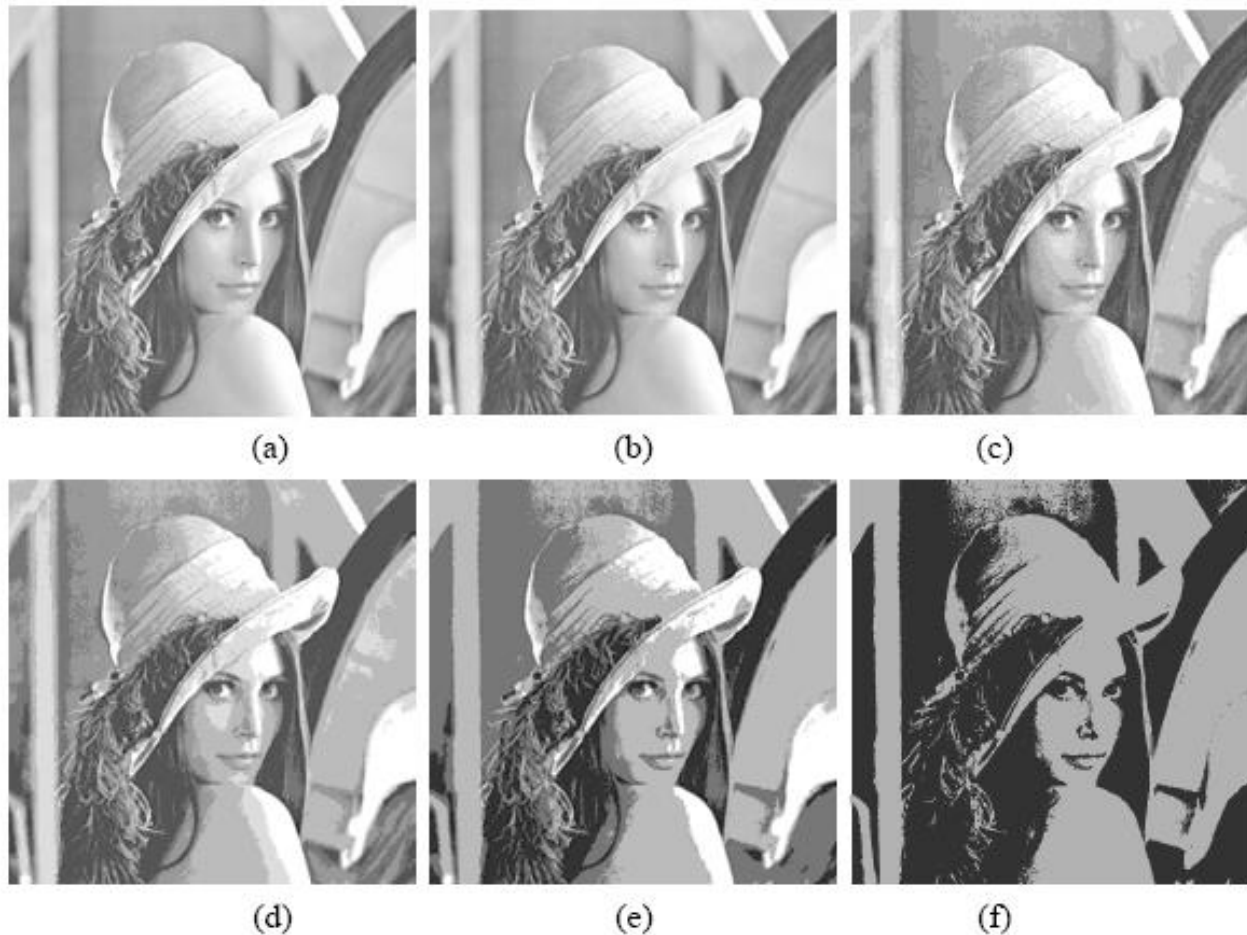


图 2.4.3 图像幅度分辨率变化所产生的效果

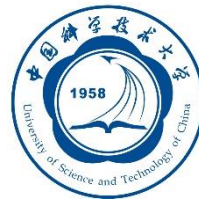
2.2.5 采样和量化

空间和幅度分辨率同时变化所产生的效果

256x256,128;
181x181,64;
128x128,32;
90x90,16;
64x64,8;
45x45,4



图 2.4.4 图像空间和幅度分辨率同时变化所产生的效果



2.3 像素间联系

空间排列规律

2.3.1 像素的邻域

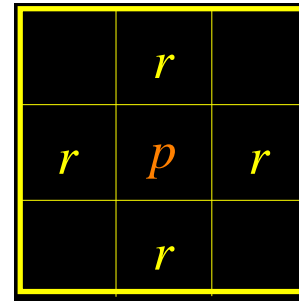
2.3.2 像素间的邻接，
连接和连通

2.3.3 像素间的距离

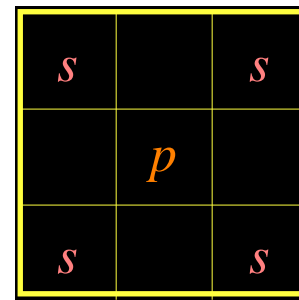
2.3.1 像素的邻域

像素的邻域

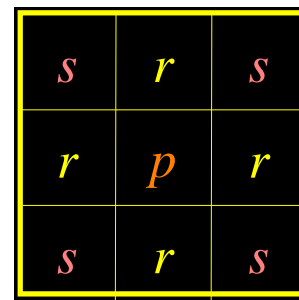
4-邻域—— $N_4(p)$:



对角邻域—— $N_D(p)$:



8-邻域—— $N_8(p)$:



2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

连接和连通

(adjacency, 邻接) vs. (connectivity, 连接)

邻接仅考虑像素间的空间关系

两个像素是否连接：

- (1) 是否接触（邻接）
- (2) 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）

2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

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

0	1	0
0	1	0
0	0	1

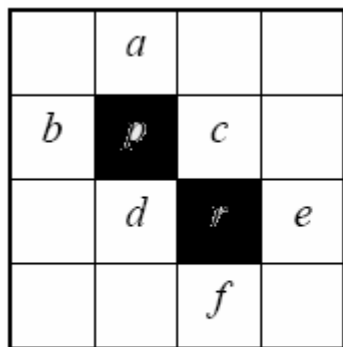
0	1	0
0	1	0
0	0	1

2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

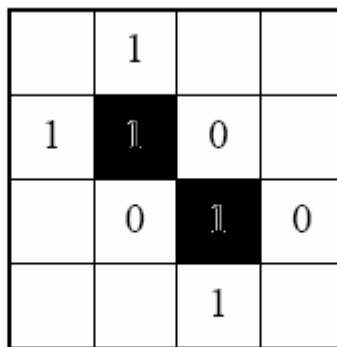
3种连接

(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

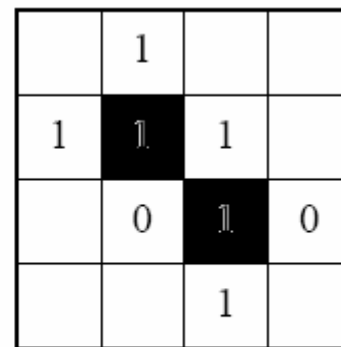
- ① r 在 $N_4(p)$ 中
- ② r 在 $N_8(p)$ 中且集合 $N_4(p) \cap N_4(r)$ 不包含 V 中取值的像素



(a)



(b)



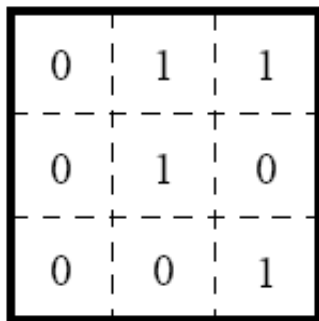
(c)

2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

3种连接

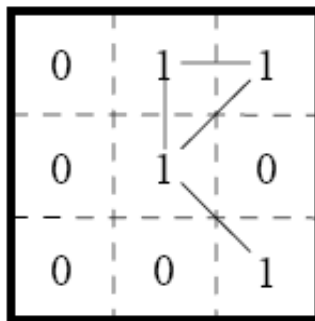
混合连接的应用：消除8-连接可能产生的歧义性

原始图



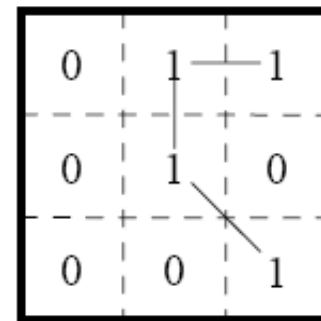
(a)

8-连接



(b)

m-连接



(c)

图 3.1.3 像素间的混合连接



2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

连通

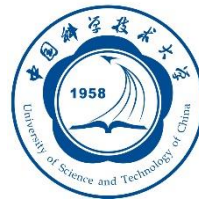
连接是连通的一种特例

通路

由一系列依次连接的像素组成

从具有坐标 (x, y) 的像素 p 到具有坐标 (s, t) 的像素 q 的一条通路由一系列具有坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 的独立像素组成。这里 $(x_0, y_0) = (x, y)$, $(x_n, y_n) = (s, t)$, 且 (x_i, y_i) 与 (x_{i-1}, y_{i-1}) 邻接, 其中 $1 \leq i \leq n$, n 为通路长度

4-连通, 8-连通 \Rightarrow 4-通路, 8-通路



2.3.2 像素间的邻接，连接和连通

像素集合的邻接和连通

对2个图象子集 S 和 T 来说，如果 S 中的一个或一些像素与 T 中的一个或一些像素邻接，则可以说2个图象子集 S 和 T 是邻接的

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—个连通组元

如果 S 中只有1个连通组元，即 S 中所有像素都互相连通，则称 S 是一个连通集

2.3.3 像素间的距离

距离量度函数

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

$$(1) \quad D(p, q) \geq 0 \quad (D(p, q) = 0 \quad \text{当且仅当} \quad p = q)$$

两个像素之间的距离总是正的

$$(2) \quad D(p, q) = D(q, p)$$

距离与起终点的选择无关

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

最短距离是沿直线的

2.3.3 像素间的距离

距离量度函数

(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

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

2.3.3 像素间的距离

距离量度函数

等距离轮廓图案

			3			
	2.8	2.2	2	2.2	2.8	
	2.2	1.4	1	1.4	2.2	
3	2	1	0	1	2	3
	2.2	1.4	1	1.4	2.2	
	2.8	2.2	2	2.2	2.8	
			3			

(a)

D_E

				3		
			3	2	3	
		3	2	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
		3	2	1	2	3
			3	2	3	
				3		

(b)

D_4

			3	3	3	3	3
		3	2	2	2	2	3
		3	2	1	1	1	2
		3	2	1	0	1	2
		3	2	1	1	1	2
		3	2	2	2	2	3
		3	3	3	3	3	3

(c)

D_8 44

2.3.3 像素间的距离

距离量度函数

距离计算示例

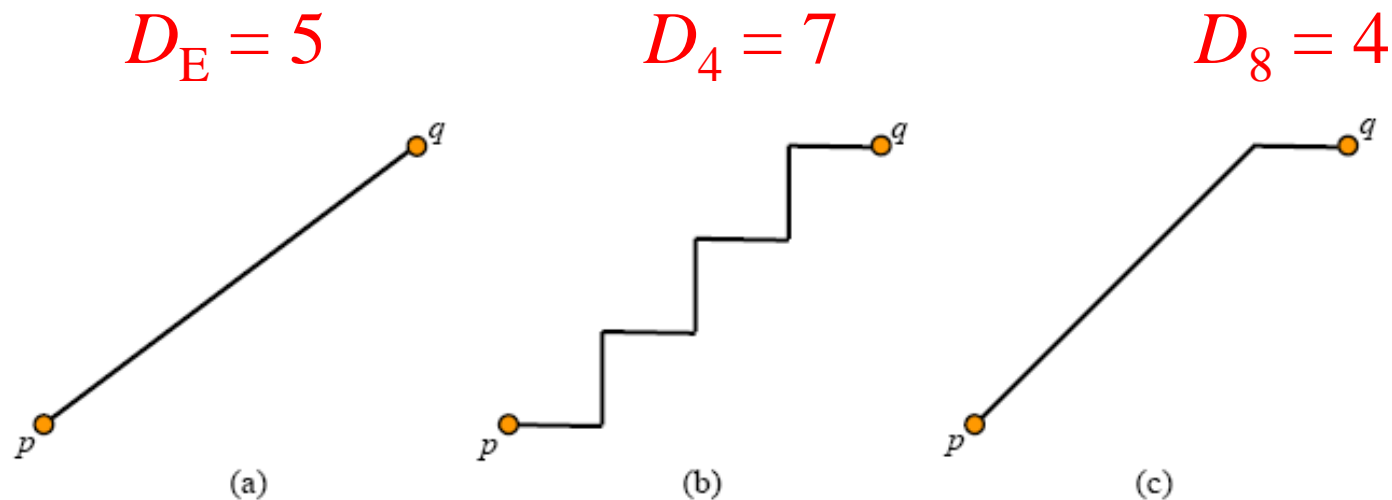


图 3.1.6 像素间距离的计算

2.3.3 像素间的距离

范数和距离

$$\|f\|_w = \left[\int |f(x)|^w dx \right]^{1/w}$$

$$D_w(p, q) = \left[|x-s|^w + |y-t|^w \right]^{1/w}$$

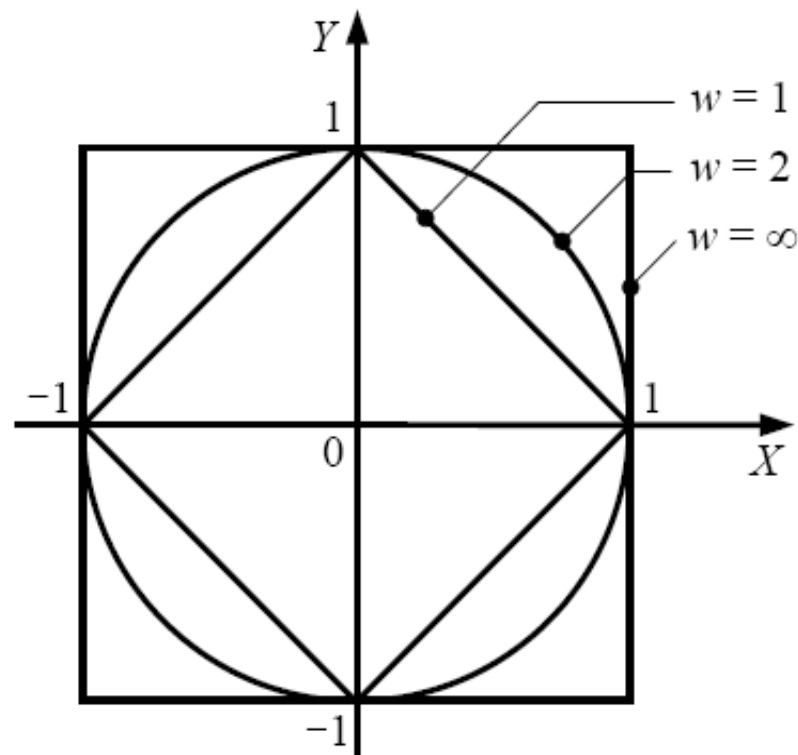


图 3.1.7 3 种范数和 3 种距离

2.3.3 像素间的距离

用距离定义邻域

考虑在空间点 (x_p, y_p) 的像素 p

4-邻域—— $N_4(p)$

$$N_4(p) = \{r \mid D_4(p, r) = 1\}$$

8-邻域—— $N_8(p)$

$$N_8(p) = \{r \mid D_8(p, r) = 1\}$$