

第2章 数字图像基础

计算机科学系





第2章 数字图像基础

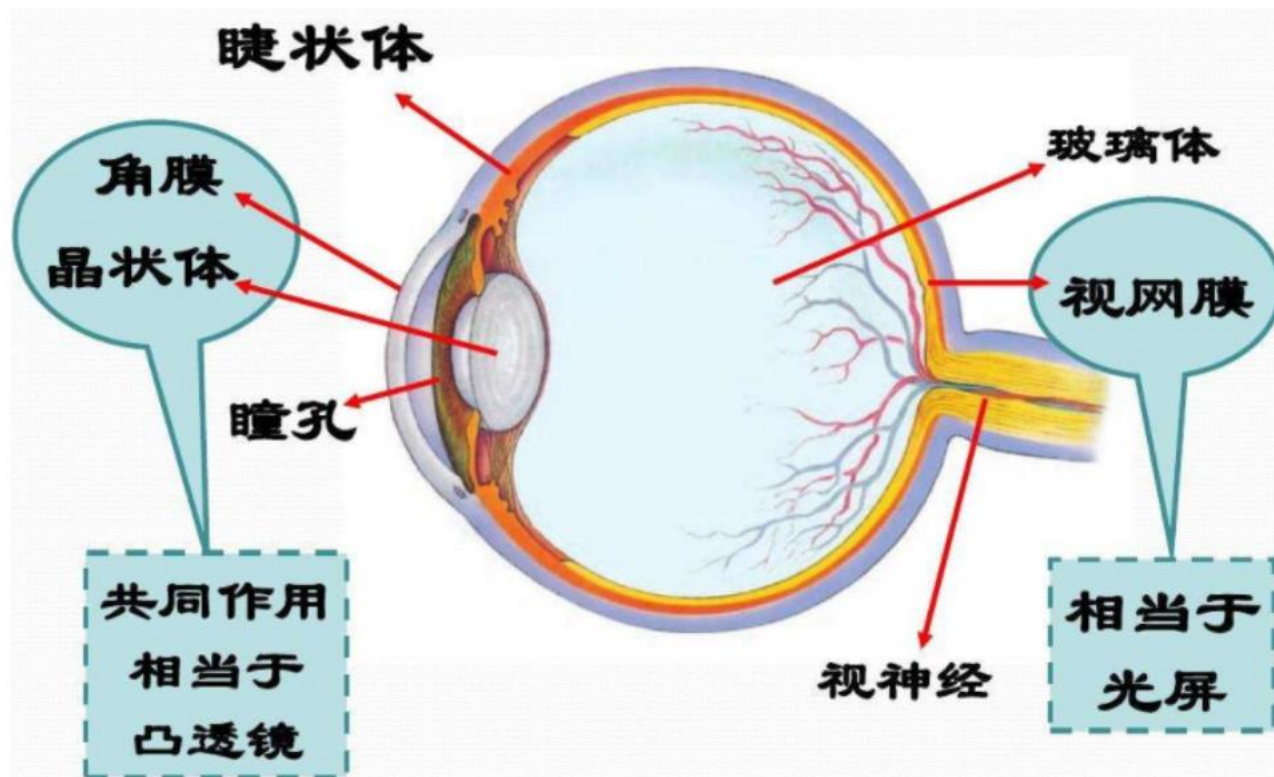
- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算





2.1 视觉原理

一、视觉过程





2.1 视觉原理

一、视觉过程

— 物体在视网膜上成像

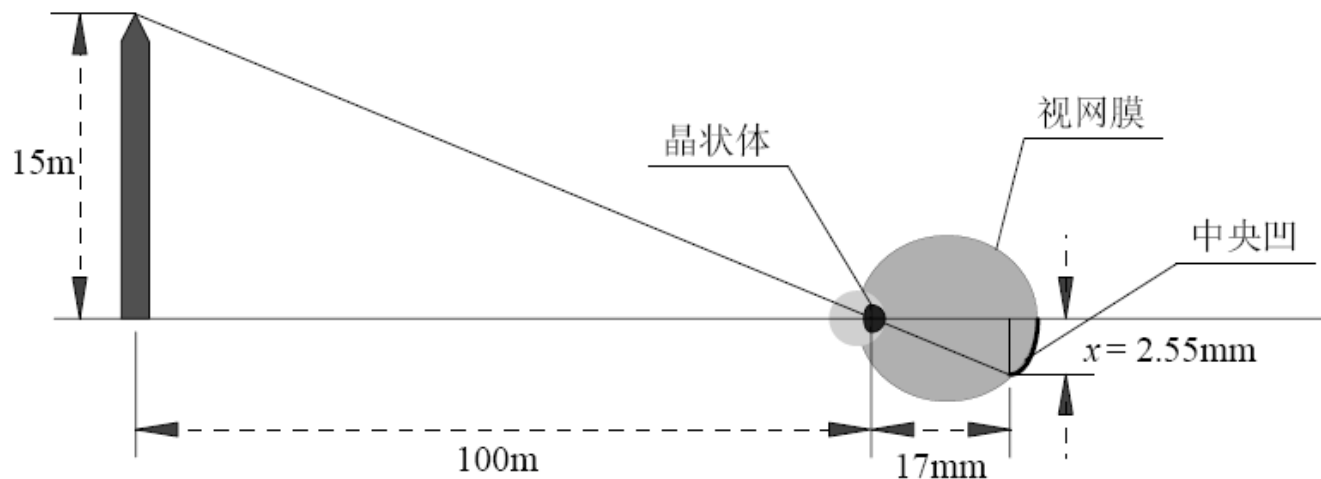


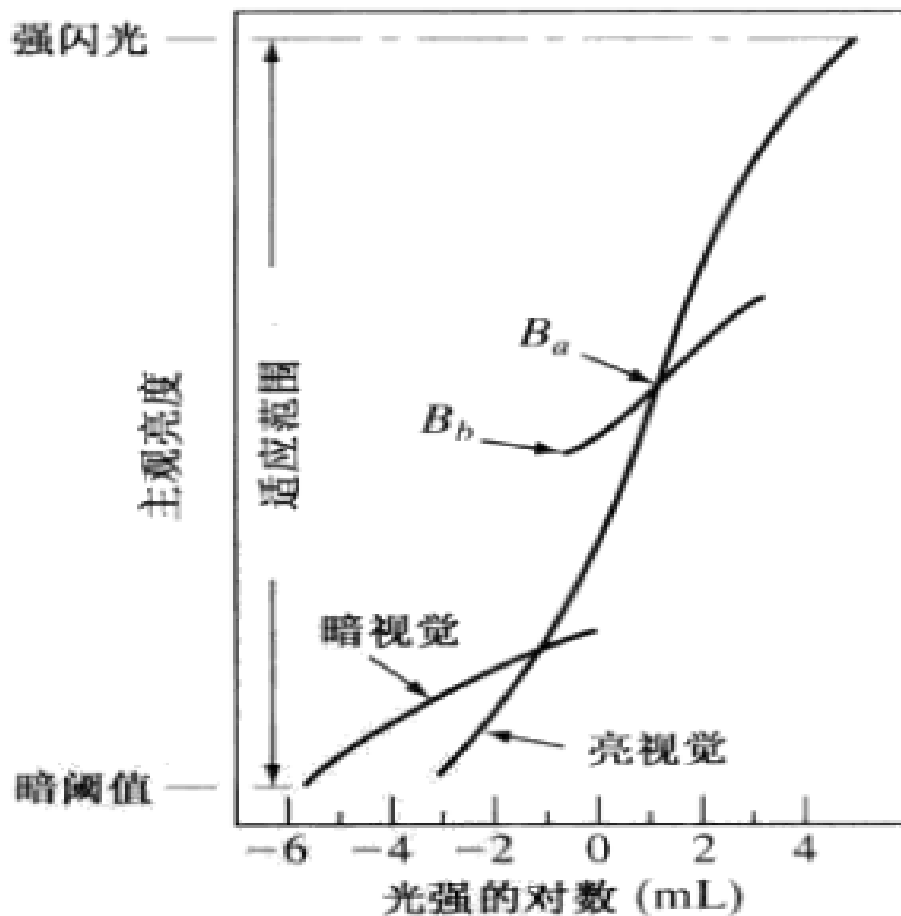
图 2.1.1 人眼水平横截面示意图



2.1 视觉原理

一、视觉过程

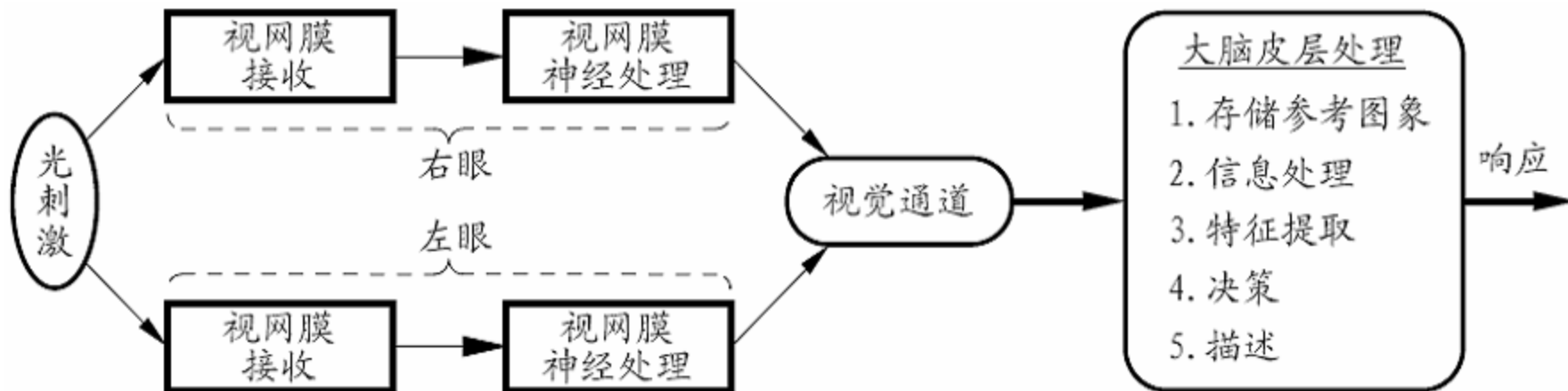
- 亮度适应





2.1 视觉原理

二、整体视觉过程



视觉过程流程图

视觉 = “视” + “觉”



第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算





2.2 亮度成像模型

一、成像模型

1. 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

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

2. 光辐射形成物体上能量分布: 两部分

(1) 入射到可见场景上的光量: 照度成分 $i(x, y)$

(2) 场景中目标对入射光的反射比率:

反射成分 $r(x, y)$





2.2 亮度成像模型

3. $f(x, y)$ 与 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 都成正比

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

– $i(x, y)$ 的值是由光源决定的

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

– $r(x, y)$ 的值是由场景中的目标特性所决定的

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

{典型值: 黑天鹅绒0.01; 不锈纲0.65;
粉刷的白墙平面0.80; 白雪0.93}





第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算

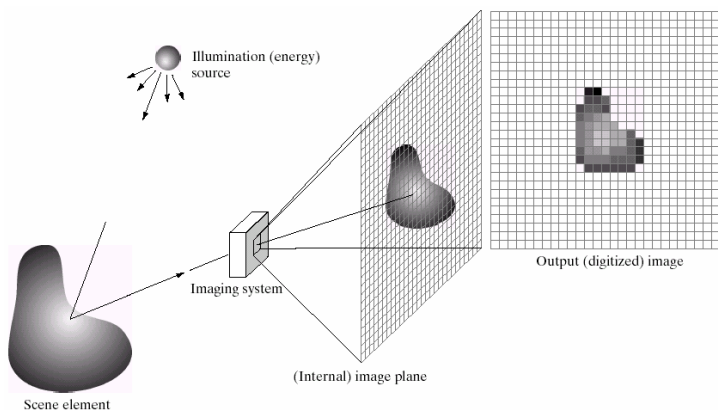




2.3 图像感知与获取

一、图像数字化

- 将代表图像的连续(模拟)信号转换为离散(数字)信号的过程称为图像数字化
- 步骤：采样和量化
- 主要技术
 - » 成像：光信息 - > 电信号
 - » 模数转换 (A/D Converter)



二、数字化（采集）设备

- 基于图像采集卡或图像卡（扫描仪）
- 本身带有数字化部件（数码相机）





2.3 图像感知与获取

三、关键部件：固体成像设备

1. 电荷耦合器件CCD (Charge Coupled Devices)
 - » 利用电荷存储、传送和读取方式进行工作
 - » 特点：精确、尺寸小、灵敏度高、分辨率高
 - » 主要设备：摄象机、扫描仪、数码相机
2. 互补型金属氧化物半导体CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor)
 - » 特点：集成性好，体积更小
 - » 主要设备：可摄像手机
3. 电荷注射器件CID(Charge-injection Devices)
 - » 对光的灵敏度低，随机访问像素





第2章 数字图像基础

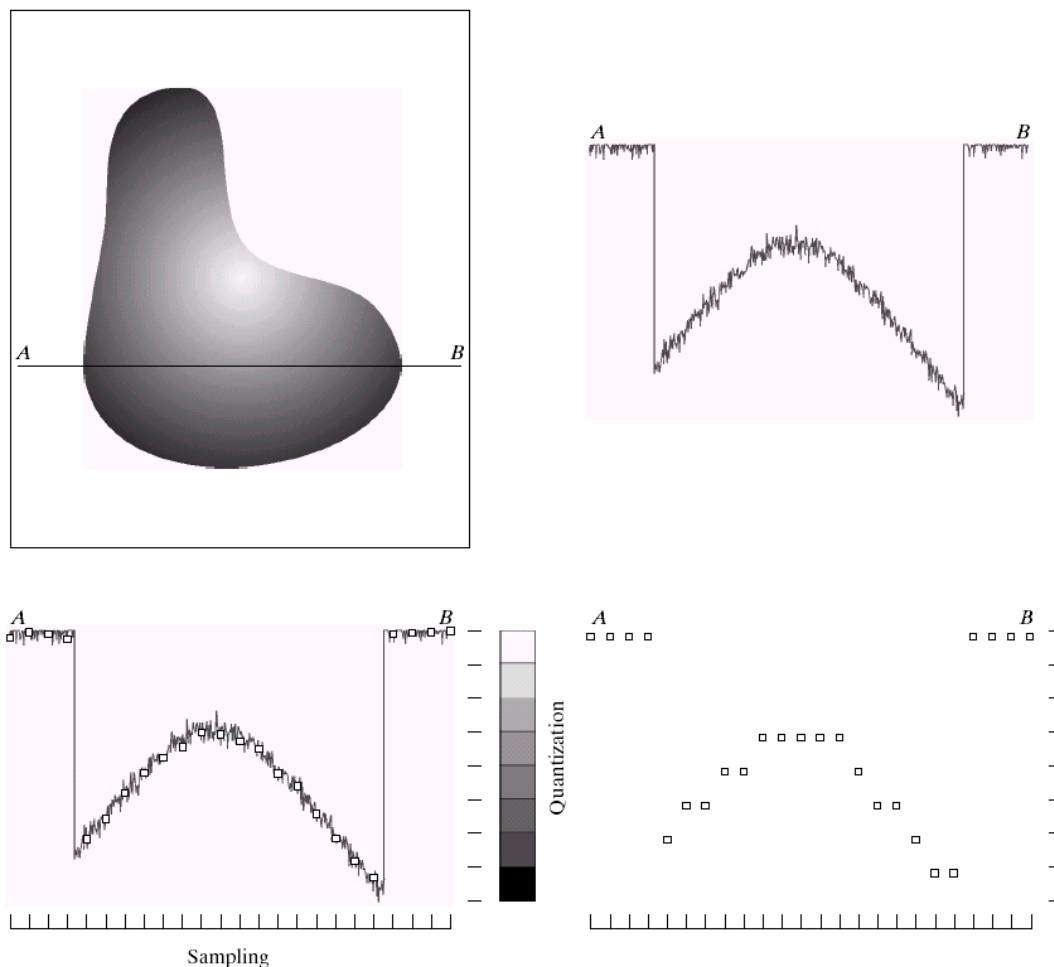
- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算





2.4 图像采样和量化

一、实例：数字化过程





2.4 图像采样和量化

二、采样 (Sampling)

- 空间坐标的离散化称为空间采样，简称采样，确定了图像的空间分辨率
 - » 即用空间上部分点的灰度值代表图像。这些点称为采样点
- 方式
 - » 点阵采样：直接对表示图像的二维函数值进行采样，所得的结果就是一个样点值序列





2.4 图像采样和量化

三、量化 (Quantization)

- 对采样点亮度 (灰度) 值的离散化过程。确定了图像的灰 (幅) 度分辨率
- 两种量化：均匀量化、非均匀量化
 - » 均匀量化：将样点灰度级值等间隔分档取整，称为均匀量化
 - » 非均匀量化：将样点灰度级值不等间隔分档取整

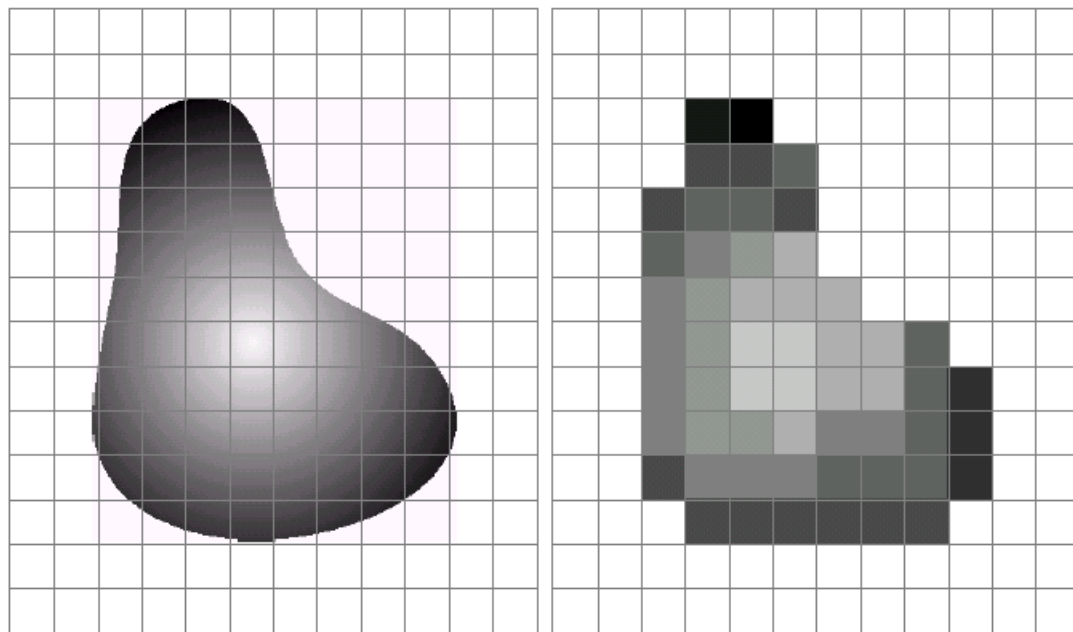
四、采样和量化的级数

- 假定图像取 $M \times N$ 个采样点，对样本点灰度值进行 G 级分档取整
- M, N, G 一般取2的整数次幂
- $M=2^m; N=2^n; G=2^k$





2.4 图像采样和量化



a b

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





2.4 图像采样和量化

五、数字图像表示

1. 函数：2-D数组 $f(x, y)$

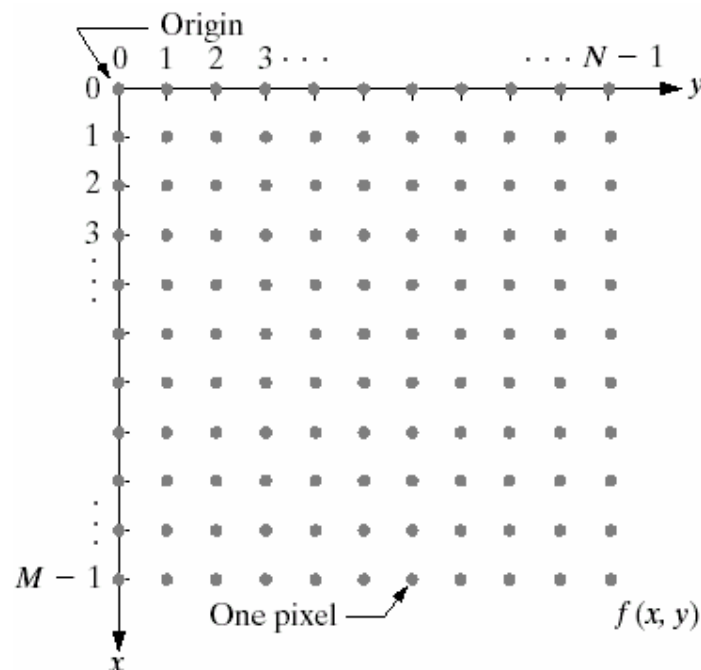
2. 矩阵

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix}$$

3. 矢量

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad \cdots \quad f_N]$$

$$f_i = [f_{1i} \quad f_{2i} \quad \cdots \quad f_{Mi}]^T \quad i = 1, 2, \cdots, N$$



元素 $f(x, y)$ 称为像素(Pixel)

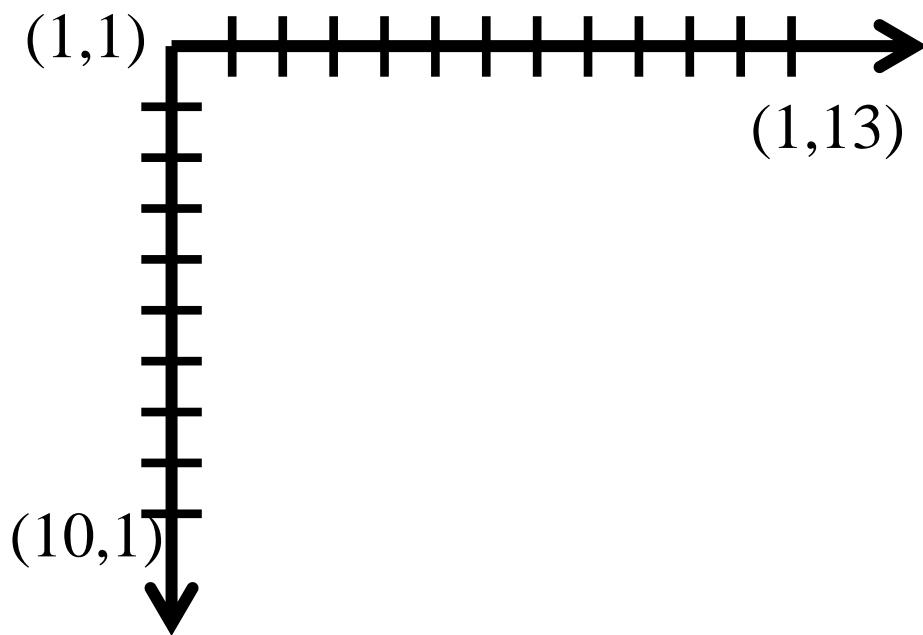




2.4 图像采样和量化

五、数字图像表示

4. Matlab中图像坐标

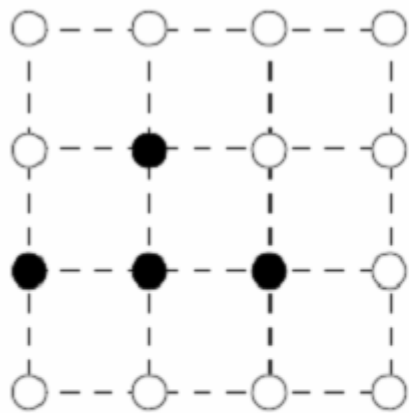




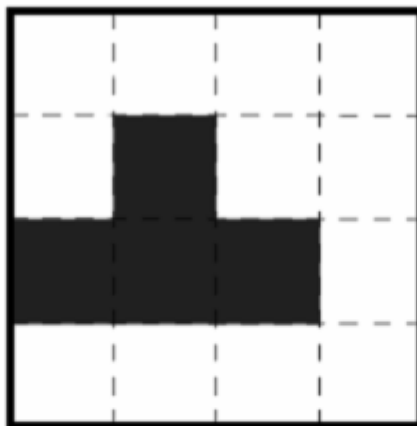
2.4 图像采样和量化

六、可视方式

1. 像素区域中心，见图 (a)
2. 像素区域，见图 (b)
3. 幅度（灰度）值，见图 (c)



(a)



(b)

0	0	0	0
0	1	0	0
1	1	1	0
0	0	0	0

(c)

3 种表达同一个 4×4 的二值图像矩阵的可视方式





2.4 图像采样和量化

七、空间分辨率和灰（幅）度分辨率

- 数字图像

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

- 图像（水平）尺寸 M :

- 图像（垂直）尺寸 N : $M = 2^m$

- 像素灰度级数 G (k -bit): $N = 2^n$

- 图像所需的位数 b : $G = 2^k$

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





2.4 图像采样和量化

— 例如：

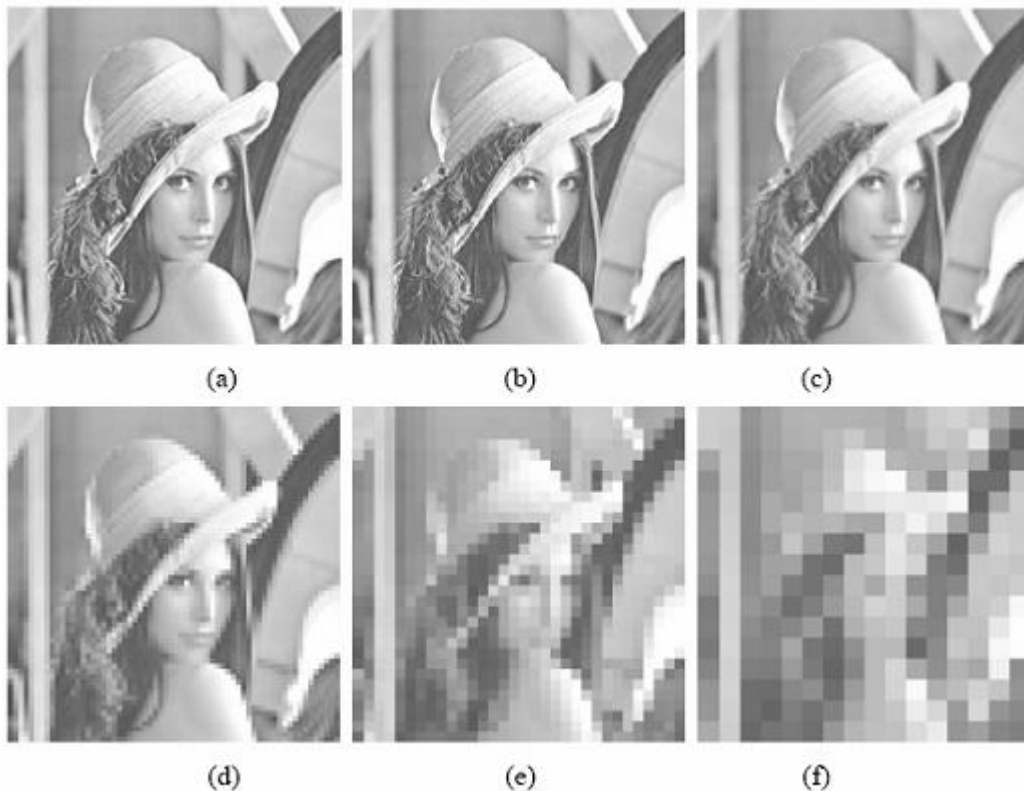
- » 存储1幅 32×32 , 16个灰度级的图需要 4,096 bit
- » 存储1幅 128×128 , 64个灰度级的图需要 98,304 bit
- » 存储1幅 512×512 , 256个灰度级的图需要 2,097,152 bit





2.4 图像采样和量化

空间分辨率变化所产生的效果



- (a) 512×512
- (b) 256×256
- (c) 128×128
- (d) 64×64
- (e) 32×32
- (f) 16×16

图像质量随 N
的增加而增加

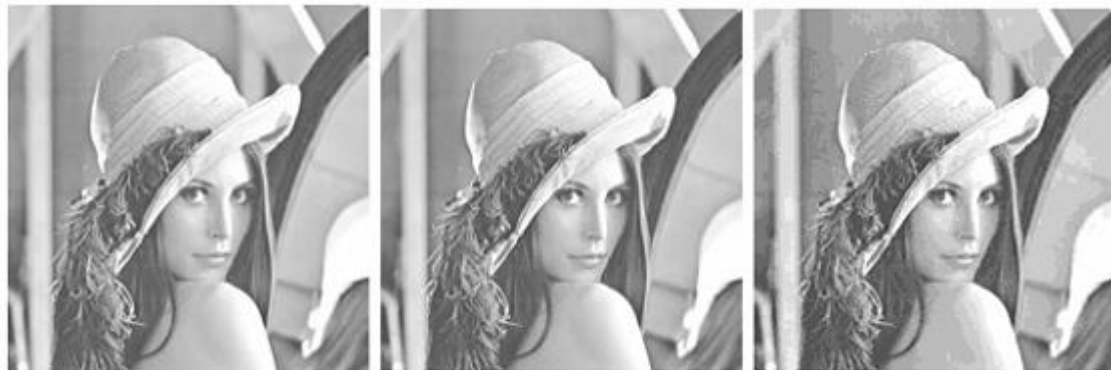
图像空间分辨率变化所产生的效果





2.4 图像采样和量化

图像灰度分辨率变化所产生的效果



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

图像幅度分辨率变化所产生的效果

(a) 256

(b) 64

(c) 16

(d) 8

(e) 4

(f) 2

图像质量随 G (k) 的增加而增加





2.4 图像采样和量化

空间和灰度分辨率同时变化



(a) 256×256 , 128

(b) 181×181 , 64

(c) 128×128 , 32

(d) 90×90 , 16

(e) 64×64 , 8

(f) 45×45 , 4

图像空间和幅度分辨率同时变化所产生的效果





第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算





2.5 像素空间的关系

图像由像素组成，像素在图像空间上按规律排列，相互之间有一定的联系

2.5.1 像素的邻域与连接

2.5.2 连通性

2.5.3 距离度量





2.5.1 像素间联系

一、像素的邻域 - 邻接关系

1. 4邻域—— $N_4(p)$:

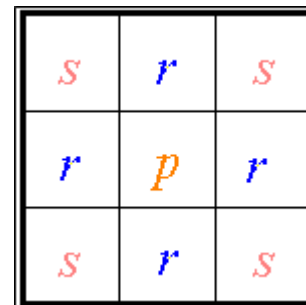
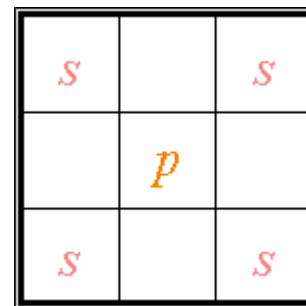
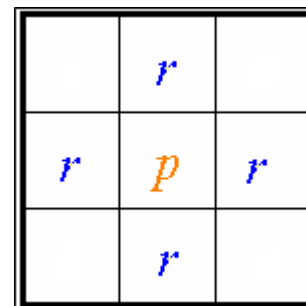
$p(x, y): (x+1, y); (x-1, y)$
 $(x, y+1); (x, y-1)$

2. 对角邻域—— $N_D(p)$:

$p(x, y): (x-1, y-1); (x+1, y-1)$
 $(x-1, y+1); (x+1, y+1)$

3. 8-邻域—— $N_8(p)$:

注意：边缘像素的邻域





2.5.1 像素间联系

二、连接(connectivity)

- 邻接仅考虑像素间的空间关系
- 连接：空间上邻接且像素灰度值相似
- 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
 - .灰度值相等
 - 或
 - .同在一个灰度值集合中





2.5.1 像素间联系

三种连接:

假设 V 为灰度值集合

(1) 4 - 连接

» 2个像素 p 和 r 在 V 中取值
且 r 在 $N_4(p)$ 中

0	1	0
0	1	0
0	0	1

(2) 8 - 连接

» 2个像素 p 和 r 在 V 中取值
且 r 在 $N_8(p)$ 中

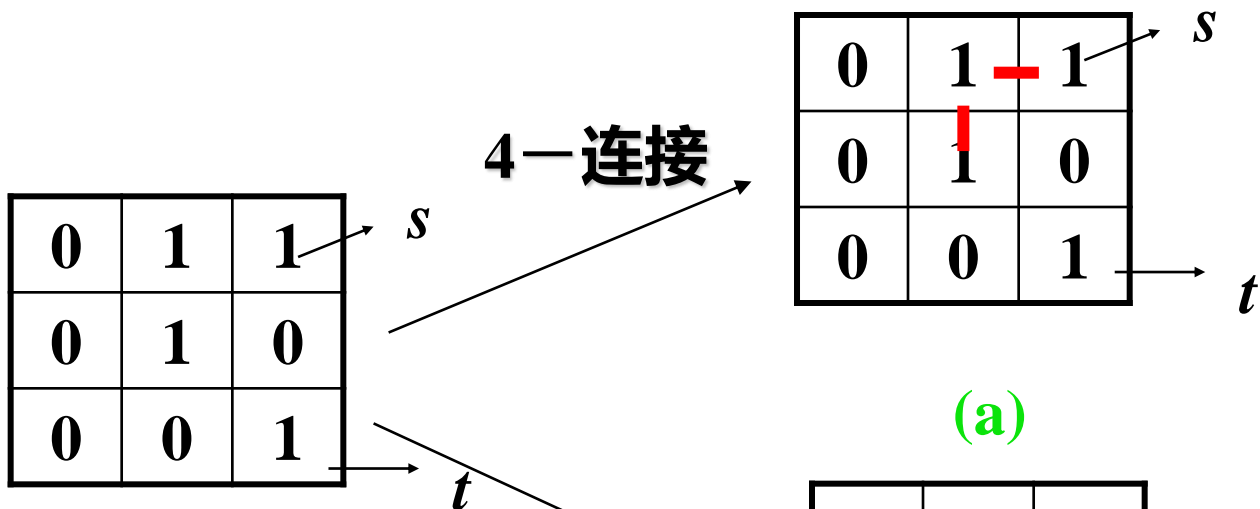
0	1	0
0	1	0
0	0	1





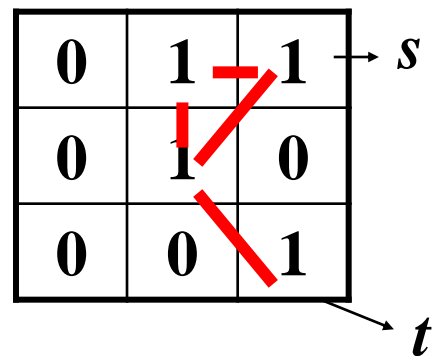
2.5.1 像素间联系

例子: $V = \{1\}$



(a)

8-连接



(b)

如何保证像素 s 到 t 间存在一条不含回路的通路?



2.5.1 像素间联系

(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)

假设 $V = \{1\}$

实质: 当像素间同时存在4-连接和8-连接时, 优先采用4-连接, 屏蔽两个和同一像素间存在4-连接的像素之间的8-连接

	a		
b	p	c	
	d	r	e
		f	

(a)

	1		
1	1	0	
	0	1	0
		1	

(b)

	1		
1	1	1	
	0	1	0
		1	

(c)

对混合连接中的条件②的进一步解释



2.5.2 连通性

一、像素的连通

- 反映两个像素间的空间关系

(1) 通路

像素 $p(x, y)$ 到像素 $q(s, t)$ 的一条通路

由一系列具有坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots,$

$(x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)$ 的独立像素组成。这里 $(x, y) = (x_0, y_0),$

$(x_n, y_n) = (s, t)$, 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

- 通路种类：4-通路；8-通路

0	1	1	$\nearrow p$
0	1	0	
0	0	1	$\longrightarrow q$





2.5.2 连通性

(2)连通：通路上的所有像素灰度值满足相似准则

即： (x_i, y_i) 与 (x_{i-1}, y_{i-1}) **连接**

— 种类：4-连通；8-连通；m-连通

— 实例：像素 s 和 t 间（右图）

» 4-连通：不存在

» 8-连通：两条

» m-连通：1条

0	1	1	s
0	1	0	
0	0	1	t





2.5.3 距离度量

一、距离

1. 定义：对于像素 p, q 和 z , 分别具有坐标 $(x, y), (s, t), (u, v)$, 如果:

(a) $D(p, q) \geq 0$ [$D(p, q) = 0$, 当且仅当 $p = q$]

(b) $D(p, q) = D(q, p)$

(c) $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$

则 D 是距离函数或度量





2.5.3 距离度量

二、欧氏距离 D_e

– 定义

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

- 距点 (x, y) 的 D_e 距离小于或等于某一值 r 的像素形成一个中心在 (x, y) 的半径为 r 的圆平面





2.5.3 距离度量

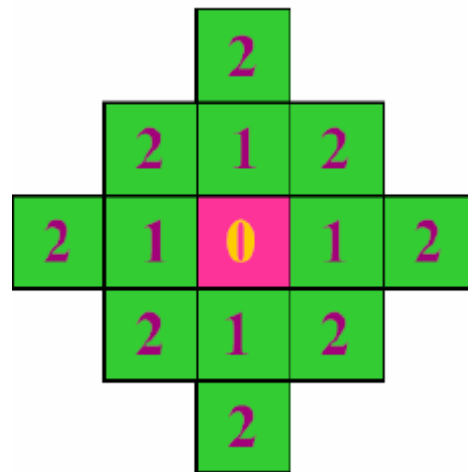
三、 D_4 距离 (城市距离)

– 定义

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

– 距点 (x, y) 的 D_4 距离小于或等于某一值 r 的像素形成一个中心在 (x, y) 的菱形

– $D_4 = 1$ 的像素是 (x, y) 的 N_4





2.5.3 距离度量

四、 D_8 距离 (棋盘距离)

– 定义

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

- 距点 (x, y) 的 D_8 距离小于或等于某一值 r 的像素形成一个中心在 (x, y) 的正方形

- $D_8 = 1$ 的像素是 (x, y) 的 N_8

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





2.5.3 距离度量

五、注意

- D 距离与像素的点坐标相关，与像素间的连通性无关
- D_4 和 D_8 距离可以看作是通路上连接的数目最小值
- 对于 D_4 、 D_8 和 D_m ，如果像素 p 和 q 间无连接，则距离是无穷大
- 以后的距离隐含连通性





2.5.3 距离度量

六、例子：已知 $p=q=1$ ，计算 p ， q 间的 D_4 ， D_8 和 D_m

		t	q	
	s	1		
	p			

若 $s = t = 0$ ，则 $D_4 = \infty$ ， $D_8 = 2$ ， $D_m = 2$

若 $s = t = 1$ ，则 $D_4 = 4$ ， $D_8 = 2$ ， $D_m = 4$

若 $s = 1, t = 0$ ，则 $D_4 = \infty$ ， $D_8 = 2$ ， $D_m = 3$

若 $s = 0, t = 1$ ，则 $D_4 = \infty$ ， $D_8 = 2$ ， $D_m = 3$





第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插
- 2.8 相关运算





2.6 图像的运算

一、算术运算：加法

1. 定义： $C(x, y) = A(x, y) + B(x, y)$

2. 主要应用

(1) 去除“叠加性” 噪音

对于原图像 $f(x, y)$ ，有一个噪音图像集

$$\{ g_i(x, y) \} \quad i = 1, 2, \dots, M$$

其中： $g_i(x, y) = f(x, y) + h(x, y)_i$

M 个图像的均值定义为：

$$g(x, y) = (g_0(x, y) + g_1(x, y) + \dots + g_M(x, y)) / M$$

当：噪音 $h(x, y)_i$ 为互不相关，且均值为0时，
上述图像均值将降低噪音的影响。





2.6 图像的运算

(2) 生成图像叠加效果

对于两个图像 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ 的均值有:

$$g(x, y) = 1/2f(x, y) + 1/2h(x, y)$$

会得到二次曝光的效果。推广这个公式为:

$$g(x, y) = \alpha f(x, y) + \beta h(x, y)$$

其中 $\alpha + \beta = 1$

可以得到各种图像合成的效果

也可以用于两幅图像的衔接



+



||





2.6 图像的运算

二、算术运算：减法

1. 定义： $C(x, y) = A(x, y) - B(x, y)$

2. 主要应用

(1) 去除不需要的叠加性图案

设：背景图像 $b(x, y)$ ，前景背景混合图像 $f(x, y)$

$$g(x, y) = f(x, y) - b(x, y)$$

$g(x, y)$ 为去除了背景的图像。





2.6 图像的运算

(2) 检测同一场景两幅图像之间的变化

设：时间1的图像为 $T_1(x, y)$,

时间2的图像为 $T_2(x, y)$

$$g(x, y) = T_2(x, y) - T_1(x, y)$$

(3) 计算物体边界的梯度

在一个图像内，寻找边缘时，梯度幅度（描绘变化陡峭程度的量）的近似计算

$$|Vf(x, y)| = \max(f(x, y) - f(x+1, y), f(x, y) - f(x, y+1))$$





2.6 图像的运算

3. 实例





2.6 图像的运算

三、算术运算：乘法

1. 定义： $C(x, y) = A(x, y) * B(x, y)$

2. 主要应用

» 图像的局部显示

用二值mask图像与原图像做乘法



\times



$=$





2.6 图像的运算

四、逻辑运算:求反

1. 定义: $g(x, y) = 255 - f(x, y)$

2. 主要应用举例

» 获得一个反图像





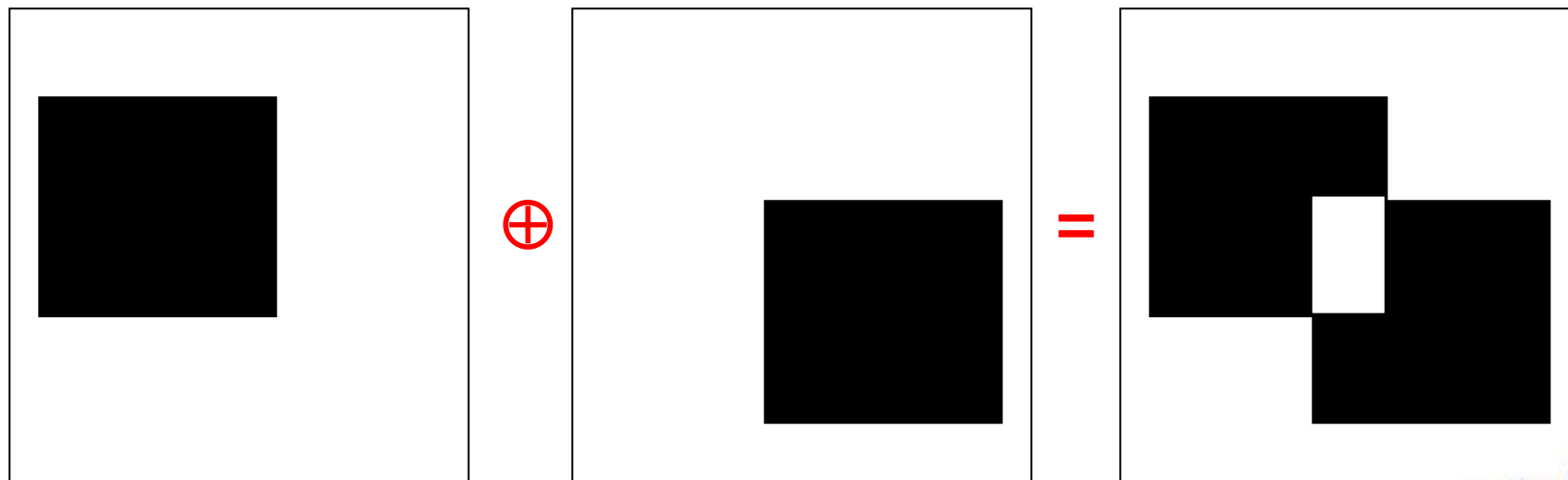
2.6 圖像的運算

五、邏輯運算: 異或

1. 定義: $g(x, y) = f(x, y) \oplus h(x, y)$

2. 主要應用舉例

» 獲得相交子圖像





2.6 图像的运算

六、逻辑运算:或运算

1. 定义: $g(x, y) = f(x, y) \vee h(x, y)$

2. 主要应用

» 合并子图像





2.6 图像的运算

七、逻辑运算: 与运算

1. 定义: $g(x, y) = f(x, y) \wedge h(x, y)$

2. 主要应用

» 求两个子图像的相交子图





第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插**
- 2.8 相关运算





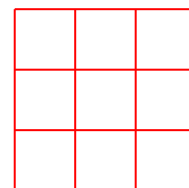
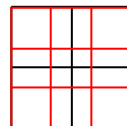
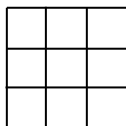
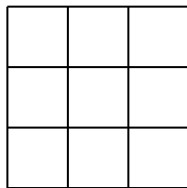
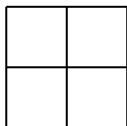
2.7 图像内插

一、图像内插

1. 放大, 收缩, 旋转, 几何矫正

2. 过程: 放大

- » 原来图像分辨率为 $m \times n$
- » 将图像放大1.5倍之后, 具有 $1.5m \times 1.5n = 2.25m \times n$ 个像素
- » 与原来图像具有相同的像素, 像素数量是原来2.25倍
- » 将其收缩, 与原来图像匹配
- » 像素间隔小于原来图像像素间隔
- » 从原来图像像素值提取信息赋给新图像相应像素





2.7 图像内插

一、图像内插

3. 主要方法

- » 最近邻内插法
- » 双线性内插法
- » 双三次内插法





第2章 数字图像基础

- 2.1 视觉原理
- 2.2 亮度成像模型
- 2.3 图像感知与获取
- 2.4 图像采样和量化
- 2.5 像素空间的关系
- 2.6 图像的运算
- 2.7 图像内插**
- 2.8 相关运算





一、图像加，减，乘，除

- » `Z = imadd(X,Y)`
- » `Z = imsubtract(X,Y)`
- » `Z = immultiply(X,Y)`
- » `Z = imdivide(X,Y)`

二、图像缩放

- » `imresize(A, SCALE, METHOD)`
- » `imresize(A, [NUMROWS NUMCOLS], METHOD)`

```
I = imread('rice.png');  
J = imresize(I, 0.5);  
figure, imshow(I)  
figure, imshow(J)
```





小结

1. 主要讨论了图像的一些基础知识，为后续的学习提供了基本背景信息
2. 人类视觉系统、光和电磁波理论是数字图像来源的基础
3. 采样和量化是图像获取中的两大技术
4. 空间和灰度分辨率是图像的基本属性
5. 图像的基本运算
6. 像素间的关系是基于像素邻域处理技术的基础
7. 相关运算





习题

2.1 波特率(baud rate)是一种常用的离散数据传输量度。当采用二进制时,它等于每秒所传输的比特数。现设每次先传输1个起始比特,再传输8个比特信息,最后传输1个终止比特,计算以下两种情况时传输图像所需的时间:

- (1) 以9600波特传输1幅 256×256 , 256灰度级的图像
- (2) 以38400波特传输1幅 1024×1024 , 16 777 216色的真彩色图像。【所谓波特率(bps=bit/s),是指每秒钟传送的位(bit)数】

2.2 如右图

- (1) 令 $v = \{0, 1\}$, 计算 p 和 q 间的 D_4 、 D_8 和 D_m
- (2) 令 $v = \{1, 2\}$, 仍计算上述3个距离

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

q

p





讨论&实践

写图像运算和缩放的matlab程序，并与matlab的DIP工具箱中相应函数进行对比。

