



# 数字图像处理

## Digital Image Processing

### 第02章 数字图像基础

张朝晖  
河北师范大学  
2020年9月23日

## 第二章 数字图像基础

### 2.1 图像的取样与量化

图像的数字化过程：  
取样(sampling)  
量化(quantization)

### 2.2 图像的表达

### 2.3 图像的质量

### 2.4 像素间的一些基本关系

### 2.5 数字图像处理中的数组工具

➤ 大多数成像传感器的输出是连续函数波形

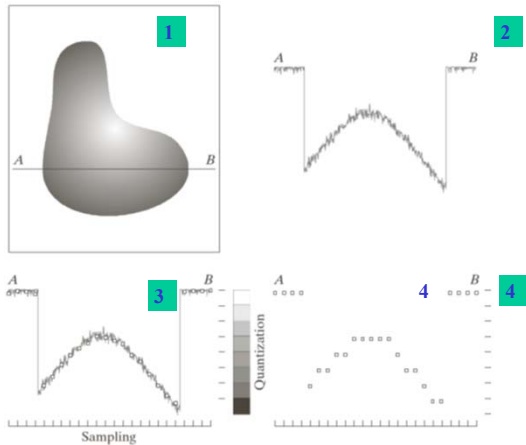
➤ 为了产生一幅数字图像，需要把连续的感知数据转化为数字形式

□ 这包括两种处理：**取样、量化**

**取样：**图像空间坐标的离散

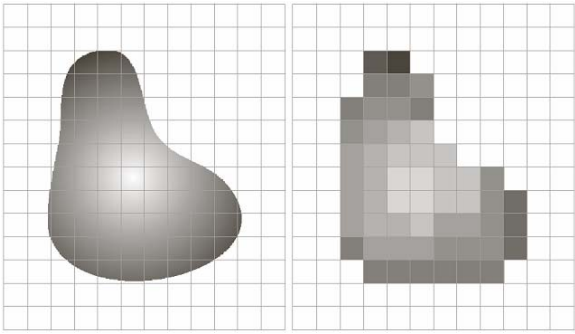
**量化：**图像函数值(灰度值,幅度值)的离散/量化编码

3



连续图像的取样和量化示例

4



连续图像的取样和量化结果：  
左，投影到传感器阵列上的连续图像；右，数字图像

5

### (1)图像取样(image sampling)


➤ **空间坐标(x,y)的数字化**称为**图像取样**

➤ 采样涉及两个问题：

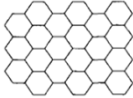
**采样间隔的确定：**两相邻采样点空间距离决定了图像的**空间分辨率**

**采样点的几何排列：**采样栅格(sampling grid)

常见采样栅格



(a) 方形栅格

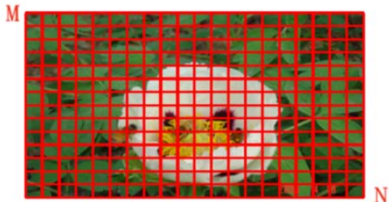


(b) 正六边形栅格

6

图像取样(image sampling)

- 确定水平和垂直方向上的像素个数 $N$ 、 $M$   
宽度、高度  
列数、行数
- 实际成像时，取样由成像传感器的配置决定



7

(2) 图像的量化

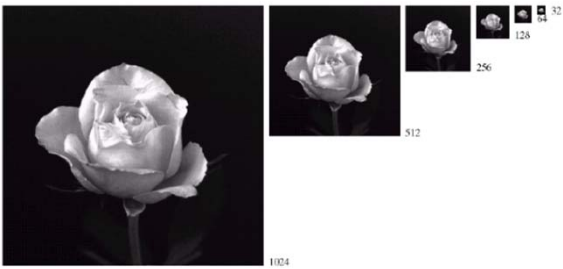
图像幅值的数字化称为图像的量化，如：量化到256个灰度级

若要觉察到图像的细致变化，就需要提供足够高的量化级别。

若量化级别小于人眼可区分的级数时，就会出现伪轮廓(false contours)



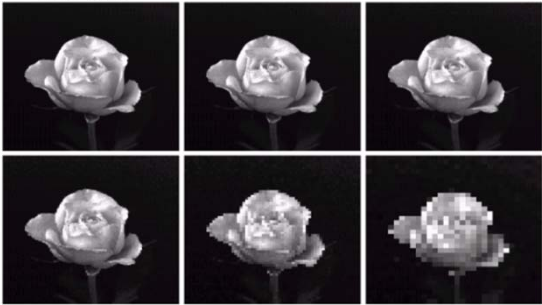
图像的空间取样与数字图像的质量



不同分辨率的空间取样效果：空间分辨率不同的256级灰度图像

9

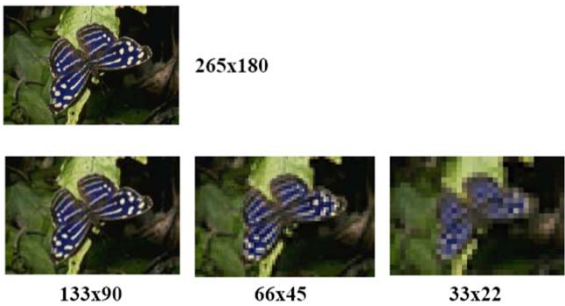
1024×1024      512×512      256×256



量化级数一致，但空间分辨率不同的数字图像，  
重采样至相同大小

10

图像的空间取样与数字图像的质量



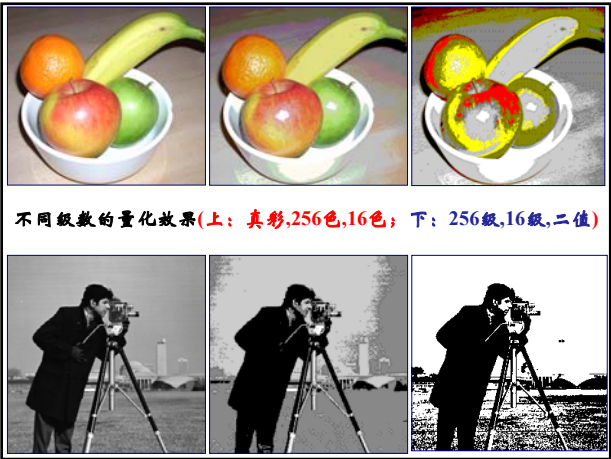
11

图像的量化与数字图像的质量

空间分辨率一致，但每个通道的量化级数不同：256,16,8,4



12



不同级数的量化效果(上: 真彩,256色,16色; 下: 256级,16级,二值)

(3) 空间分辨率、灰度分辨率与颜色深度

➤ 图像的空间分辨率

直观上：关于图像中可分辨的最小细节度量  
数字图像划分图像的像素密度

度量方式：

- 单位距离的线对的数目(或单位距离的像素数目)。
- 单位距离最大可分辨的线对的数量。

--数字图像的实际精细度

(3) 空间分辨率、灰度分辨率与颜色深度

➤ 图像的空间分辨率(spatial resolution)

PPI(Pixels Per Inch)

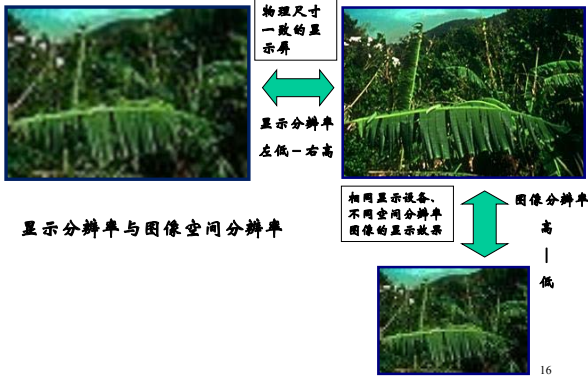
图像在空间的分辨率与其包含的像素个数成正比；  
像素个数越多，分辨率越高，图像的几何细节越明显

➤ 显示分辨率

度量方式：单位距离的点数(DPI, Dots Per Inch)。

表明数字图像的实际精细度。数字图像在输出设备(如：显示、打印、印刷)上能够显示的像素数目和所显示像素之间的点距。是用户在观察图像时所感受的分辨率。

--数字图像的表现精细度。



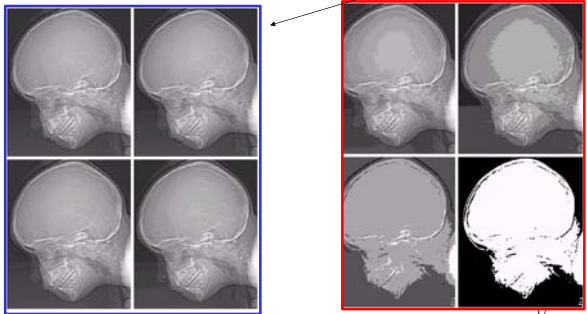
显示分辨率与图像空间分辨率

灰度分辨率

用于量化灰度的比特数(二进制位数)

--灰度级中可分辨的最小变化

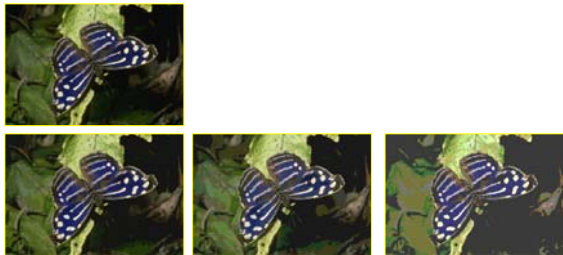
保持空间分辨率不变，  
改变图像灰度级数效果  
256/128/64/32/16/8/4/2



颜色深度

每个像素的颜色值所占用二进制位数。

颜色深度越大，所能表示的颜色数目越多，由量化级数决定。



第二章 数字图像基础	
2.1	图像的采样与量化
2.2	图像的表达
单通道图像	
多通道图像	
2.3	图像的质量
2.4	像素间的一些基本关系
2.5	数字图像处理中的数组工具

19

数字图像的表达

(1) 二维离散亮度函数—— $f(x,y)$

☐  $x,y$ ——图像像素的空间坐标

☐ 函数值 $f$ 代表了在 $(x,y)$ 处像素的灰度值

☐

$M \times N$ 的数字图像的数值阵列

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

20

(2) 二维矩阵—— $A[M,N]$

☐  $M,N$ ——图像的行数、列数。

☐ 矩阵元素 $a(i,j)$ 的值，表示图像在第 $i$ 行，第 $j$ 列的像素的灰度值； $i,j$ 表示几何位置

$M \times N$ 的数字图像的矩阵表示

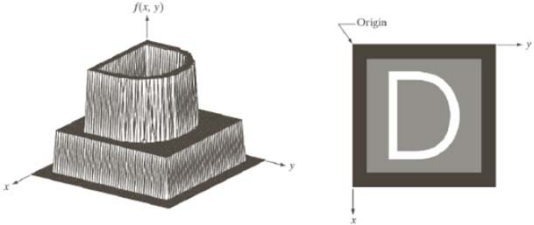
$$A=\begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

21

(3) 三维坐标描述—— $(x,y,z)$

☐  $(x,y)$ ——空间坐标

☐  $z$ ——灰度值



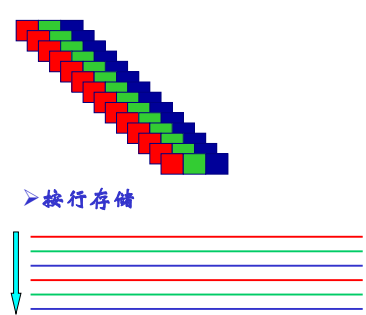
22

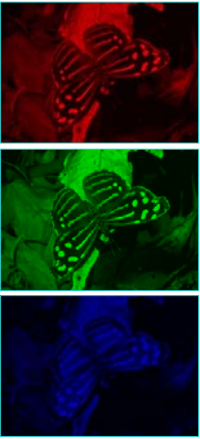
(4) 图像存储格式

彩色图像的存储

按像素存储

按行存储





第二章 数字图像基础	
2.1	图像的采样与量化
2.2	图像的表达
2.3	图像的质量
层次、对比度、清晰度	
清晰度的相关因素	
2.4	像素间的一些基本关系
2.5	数字图像处理中的数组工具

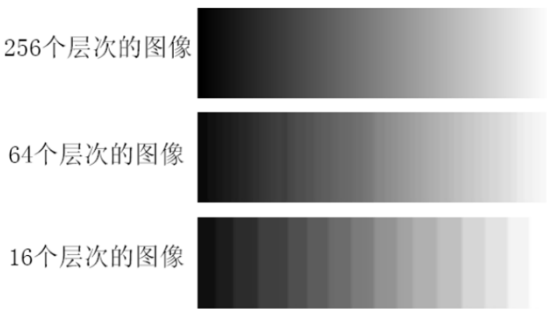
24

1. 层次

- **灰度级**：表示像素明暗程度的整数量  
例如：像素的取值范围为0-255，称该图像有256个灰度级
- **层次**：表示图像实际拥有的灰度级的数量  
例如：具有32种不同取值的图像，可称该图像具有32个层次

图像数据的实际层次越多，视觉效果就越好

25



26

2. 对比度



灰度图像的动态范围

- 非正式的：灰度跨越的值域
- 正式的：最大可度量灰度与最小可检测灰度的比值称为**图像系统的动态范围**

上限—饱和度  
下限—噪声



**对比度**：数字图像中最高灰度级与最低灰度级的灰度差

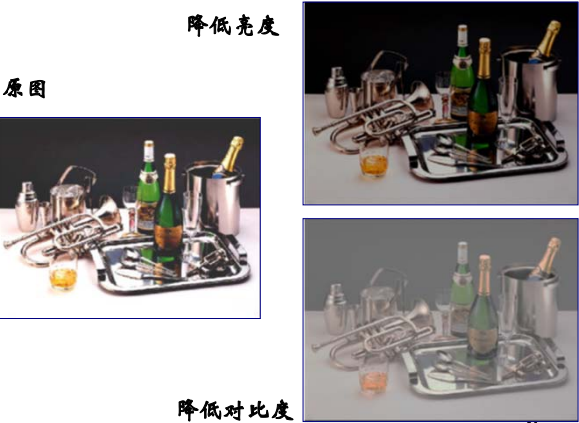
28

3. 清晰度

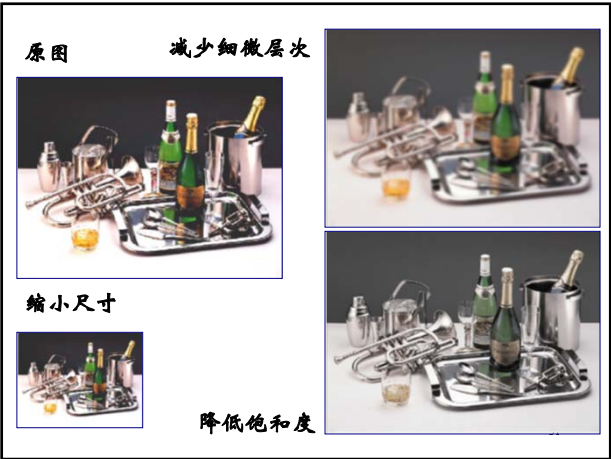
与清晰度相关的主要因素：

- ☐ 亮度
- ☐ 对比度
- ☐ 空间分辨率
- ☐ 细微层次
- ☐ 颜色饱和度

29







第二章 数字图像基础

2.1 图像的取样与量化

2.2 图像的表达

2.3 图像的质量

2.4 像素间的一些基本关系

相邻像素

连通性

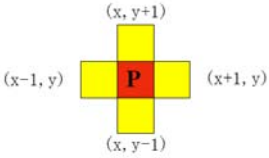
距离

2.5 数字图像处理中的数学工具

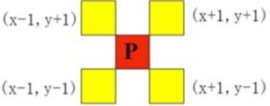
32

(1)邻域(Neighbours)

对于像素 $p$ ,坐标 $(x,y)$ , 该像素的 $\delta$ -邻域为 $N_{\delta}(p)$   
 $N_4(p)$ ----像素 $p$ 的4-邻域(4-neighbours),  $\#N_4(p)=4$   
 $N_D(p)$ ----像素 $p$ 的D-邻域(D-neighbours),  $\#N_D(p)=8$



像素P的4-邻域

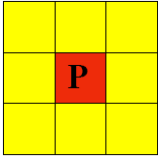


像素P的D-邻域

33

(1)邻域-续

$N_8(p)$ ----像素 $p$ 的8-邻域(8-neighbours),  $\#N_8(p)=8$   
 $N_8(p) = N_4(p) + N_D(p)$



像素 $p$ 的8-邻域

34

(2)邻接性(Adjacency), 连通性(Connectivity)

连通性是描述区域和边界的重要概念

两个像素连通的两个必要条件:

➢ 空间位置足够接近--两像素的位置是否相邻

➢ 灰度取值足够接近

两个像素的灰度值是否满足特定的相似性准则 (同在一个灰度值集合中取值, 或者相等)


4邻接、8邻接、m邻接(混合邻接)的定义

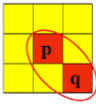
35

给定灰度值集合 $V$

➢ 4邻接(4-Adjacency)、4连通: 对于同在 $V$ 中取值的像素 $p$ 和 $q$ , 如果 $q$ 在集合 $N_4(p)$ 中, 则称这两个像素是4邻接的。

➢ 8邻接(8-Adjacency)、8连通: 对于同在 $V$ 中取值的像素 $p$ 和 $q$ , 如果 $q$ 在集合 $N_8(p)$ 中, 则称这两个像素是8邻接的。





36

➤ m邻接(混合邻接)、m连通

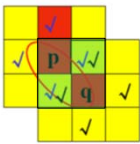
对于同在V中取值的像素p和q，如果：  
(A) q在集合N<sub>4</sub>(p)中，或者  
(B) q在集合N<sub>D</sub>(p)中，并且N<sub>4</sub>(p)∩N<sub>4</sub>(q)的交集为空  
(没有来自V中数值的像素)

则称这两个像素是**m邻接(m-adjacency)**的，即：4连通和D连通的**混合邻接(mixed adjacency)**。

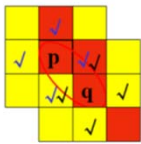
37

➤ m邻接(混合邻接)、m连通-续

是m连通



不是m连通



**M邻接**的应用：消除8邻接可能产生的歧义性。

0	1	1
0	1	0
0	0	1

0	1	1
0	1	0
0	0	1

0	1	1
0	1	0
0	0	1

➤ 通路

一条从具有坐标(x,y)的像素p到具有坐标(s,t)的像素q的**通路**(或曲线)，是**特定像素序列**。其坐标为：  
(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>), (x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>), ..., (x<sub>n</sub>,y<sub>n</sub>)  
其中(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>)=(x,y), (x<sub>n</sub>,y<sub>n</sub>)=(s,t), 并且(x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>), (x<sub>i-1</sub>,y<sub>i-1</sub>)是**邻接的**, 1 ≤ i ≤ n, n为路径长度。  
若(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>)=(x<sub>n</sub>,y<sub>n</sub>)，则为**闭合通路**。

39

(3)距离度量

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

(1) D(p,q) ≥ 0  
D(p,q) = 0当前仅当p = q

(2) D(p,q) = D(q,p)

(3) D(p,z) ≤ D(p,q) + D(q,z)

则称D是距离函数，或是度量。

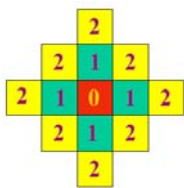
40

像素p(x,y)和q(s,t)的欧式距离：

$$D_e(p,q) = \| \overline{pq} \|_2 = \left[ (x-s)^2 + (y-t)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

41

像素p(x,y)和q(s,t)的D<sub>4</sub>距离(city-block distance):  
 $D_4(p,q) = |x-s| + |y-t|$



42

像素 $p(x,y)$ 和 $q(s,t)$ 的 $D_8$ 距离(chessboard distance):  
 $D_8(p,q)=\max\{|x-s|,|y-t|\}$

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

43

第二章 数字图像基础

2.1 图像的取样与量化

2.2 图像的表达

2.3 图像的质量

2.4 像素间的一些基本关系

2.5 数字图像处理中的数学工具

➢ 矩阵与矩阵、向量、标量的操作

➢ 线性与非线性运算

➢ 算术运算、集合和逻辑运算

➢ 空间操作(单像素、邻域、几何变换)

➢ 图像变换(空域、频域)

➢ 图像的统计特性(如: 图像的灰度直方图、灰度均值、灰度方差、灰度高阶矩)

44

图像运行情况



45


例: 输入图像的**顺时针21° 旋转变换**(坐标变换+灰度插值)

插值方式: 近邻法、双线性、双三次样条



46

图像频域变换



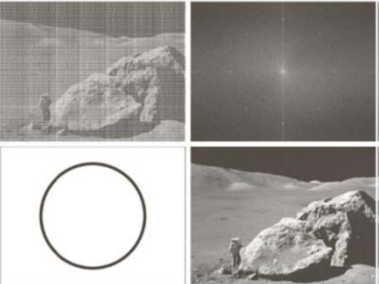


图: 经**正弦噪声污染**的图像的变换域方式滤波

47

本章小结

1, 什么是图像的取样与量化?

2. 图像的空间分辨率、灰度分辨率、颜色深度?

3, 什么是4邻域、8邻域、D邻域?

4. 什么是4邻接(连通)、8邻接(连通)、m邻接(连通)?  
什么是通路?

5, 图像中任意两像素之间的空间距离度量:  
欧氏距离、城区距离、棋盘距离

48