



## 第二章 空域增强：点操作

1



## 第二章 空域增强：点操作

### 2.1 空域技术分类

### 2.2 图像间运算

### 2.3 直接灰度映射

### 2.4 直方图变换

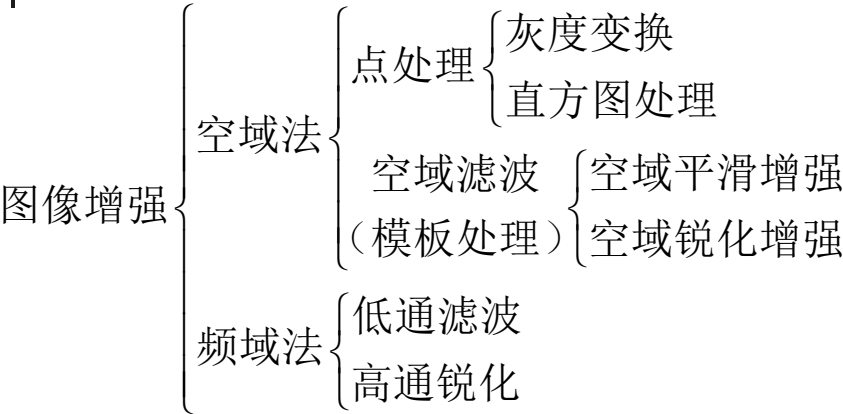
2

# 概述 — 图像增强的目的

- 图像增强的目的：
  - 改善图像视觉效果，提高清晰度
  - 增强感兴趣部分（比如去噪声、锐化目标物边缘等）
- 图像增强并不以图像保真为准则，而是有选择地突出某些对人或机器分析有意义的信息，抑制无用信息，提高图像的使用价值。

3

# 图像增强方法分类



图像增强的通用理论不存在

4

## 基本概念

- 空间域处理可表示为

$$g(x, y) = E_H[f(x, y)]$$

其中：

$f(x, y)$  为输入图像；

$g(x, y)$  为处理后的图像；

$E_H$  是对  $f$  的一种操作，定义在  $(x, y)$  的邻域。

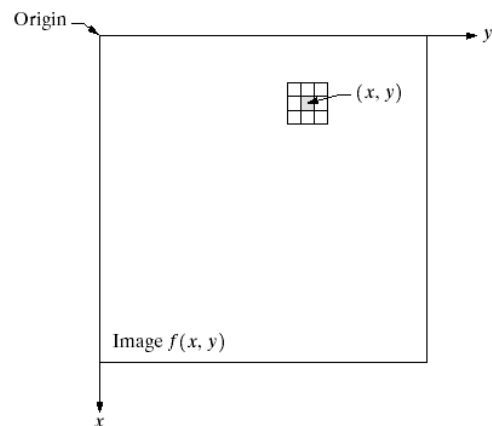
5

## 基本概念

- 点  $(x, y)$  的邻域：

以  $(x, y)$  为中心的  
矩形或正方形内的像  
素。

邻域可以是多  
种形状



6

## 基本概念

- 当邻域中只包含点 $(x, y)$  时，空间域处理可以简化为：

$$s = E_H[r]$$

灰度映射

其中：

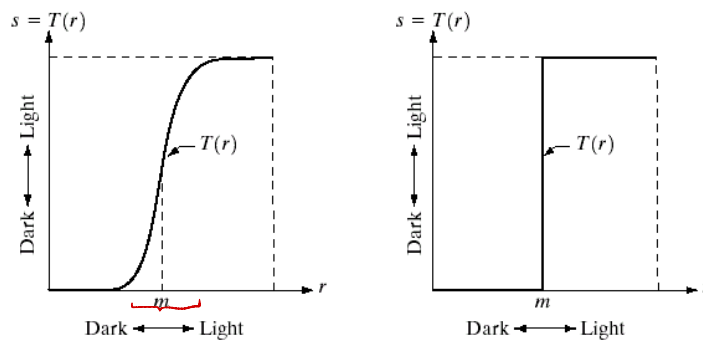
$r$  为  $f(x, y)$  在点 $(x, y)$  处的灰度值；

$s$  为  $g(x, y)$  在点 $(x, y)$  处的灰度值；

7

## 基本概念

分析映射后的目标  
即取级功能



阴天，灰蒙蒙的  
灰度等级集中  
提高对比度

二值化

8

对对比度的要求比分辨率高  
最亮  
取暗

## 基本概念

空域卷积, 效果相当于时域滤波

- **模板**（滤波器、核、掩模、或窗口）：

- 所谓模板就是一个系数矩阵
- 模板大小：经常是奇数，如：

**3x3 5x5 7x7** → 对称的分布

- 模板系数：矩阵的元素

落在“中心”

$w_1 w_2 w_3$

$w_4 w_5 w_6$

$w_7 w_8 w_9$

9

## 基本概念

- 模板运算的定义：

设某图像的子图像：

$z_1 z_2 z_3$

$z_4 z_5 z_6$

$z_7 z_8 z_9$

对 $z_5$ 的模板运算公式为：

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$$

10



## 第二章 空域增强：点操作

---

### 2.1 空域技术分类

### 2.2 图像间运算

### 2.3 直接灰度映射

### 2.4 直方图变换

11



## 2.2 图像间运算

---

**图像间的运算指对多个图像进行的操作，运算的结果是一幅新图像**

### 2.2.1 算术和逻辑运算

### 2.2.2 图像间运算的应用

12



## 2.2.1 算术和逻辑运算

---

### 1. 算术运算

(1) 加法：记为 $p + q$

(2) 减法：记为 $p - q$

(3) 乘法：记为 $p * q$

(4) 除法：记为 $p \div q$

对整幅图象的算术和逻辑运算是逐象素进行的，即在两幅图象的对应（位置）象素间进行。

13



## 2.2.1 算术和逻辑运算

---

### 2. 逻辑运算 --- 只适用于二值图像

(1) 补：记为  $\bar{q}$

(2) 与：记为  $p \cdot q$

(3) 或：记为  $p + q$

(4) 异或：记为  $p \oplus q$

14

## 2.2.1 算术和逻辑运算

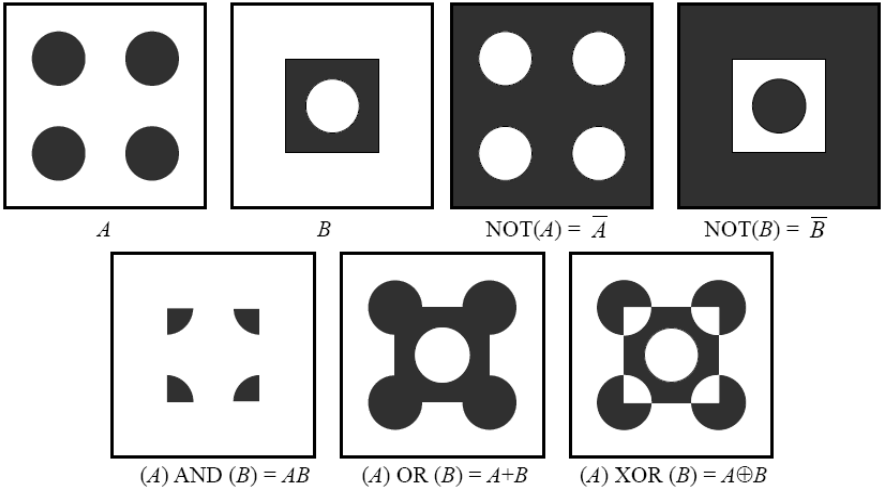


图 4.2.1 基本逻辑运算的示例

15

## 2.2.2 图像间运算的应用

### 1. 图像间加法的应用 --- 去除高斯白噪声

《数字图像处理》冈萨雷斯

### 2.6.3 算术操作 --- p67

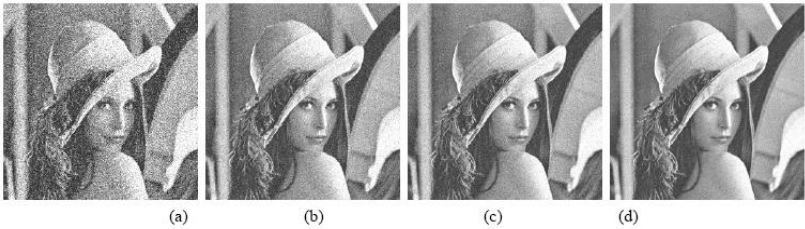


图 4.2.4 用图像平均消除随机噪声

图(a)含高斯白噪声的图像，b,c,d分别为用4，8，16幅图像相加平均的结果。

16

$$\bar{g}(x,y) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K g_k(x,y) \quad g(x,y) \sim (\mu, \sigma)$$

$$E(\bar{g}(x,y)) = f(x,y) \quad \sigma^2 = \frac{1}{K} \sigma^2$$



## 2.2.2 图像间运算的应用

### 2. 图像间减法的应用

用以消除背景，是医学成像中的基本工具之一。



图像减运算实现运动物体的检测

17

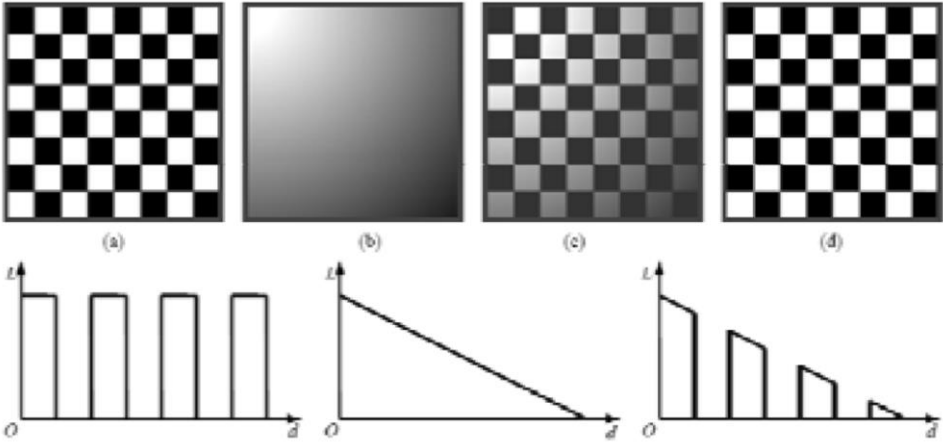
## 2.2.2 图像间运算的应用

### 3. 图像间乘法和除法的应用

图像乘法（或除法）的一个重要应用是校正由于照明或传感器的非均匀性所造成的图像明暗变化。

18

## 2.2.2 图像间运算的应用



(a) 是一幅棋盘图像，(b)表示场景照明在亮度空间上的变化（类似于场景中没有物体时光源位于左上角处上方时照明的结果），(c)为棋盘图像实际成像结果。将图c除以图b，得到如图d的照明非均匀性得到校正的结果。

19

## 2.2.2 图像间运算的应用



图像减运算实现运动物体的检测

20

## 第二章 空域增强：点操作

---

**2.1** 空域技术分类

**2.2** 图像间运算

**2.3** 图像灰度映射

**2.4** 直方图变换

21

## 2.3 图像灰度映射

---

**1.** 图像求反

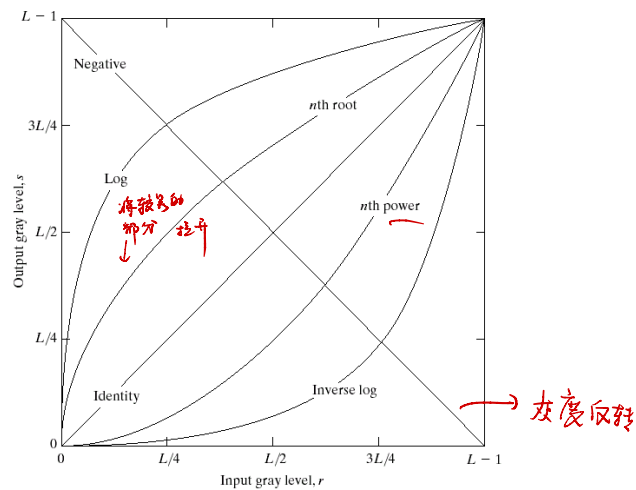
**2.** 对数变换

**3.** 幂次变换 --- 伽玛校正

**4.** 分段线性变换

22

## 图像增强常用的几种灰度变换函数



23

### 1. 图像求反

- 灰度级范围为 $[0, L-1]$ 的图像反转

$$s = L - 1 - r$$

- 普通黑白照片的底片和照片的关系，就是求反的关系。
- 适于增强嵌入图像暗色区域的白色或灰色细节。

24

## 2. 对数变换

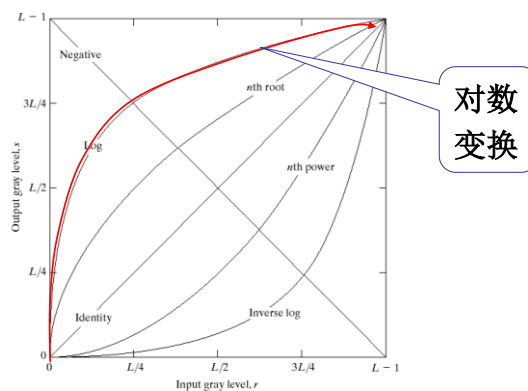
- 表示为

$$s = c \log(1 + r) \quad c \text{ 为常数}$$

- 使窄带低灰度输入图像值映射为一宽带输出值
  - 扩大低灰度值的范围
  - 压缩高灰度值
  - 压缩原图的动态范围

25

## 2. 对数变换

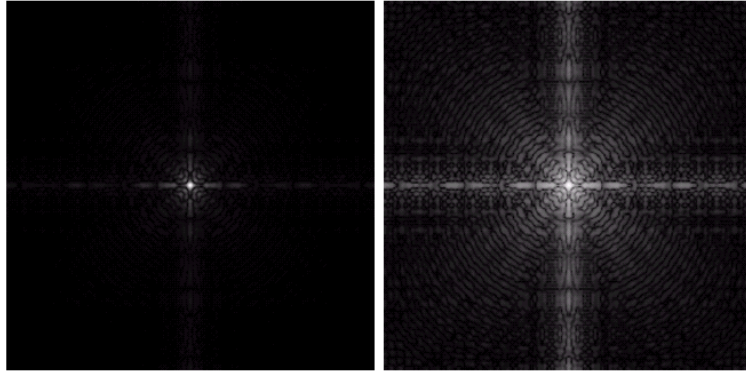


26

## 2. 对数变换

a b

**FIGURE 3.5**  
(a) Fourier spectrum.  
(b) Result of applying the log transformation given in Eq. (3.2-2) with  $c = 1$ .



直接傅立叶

取对数后傅立叶

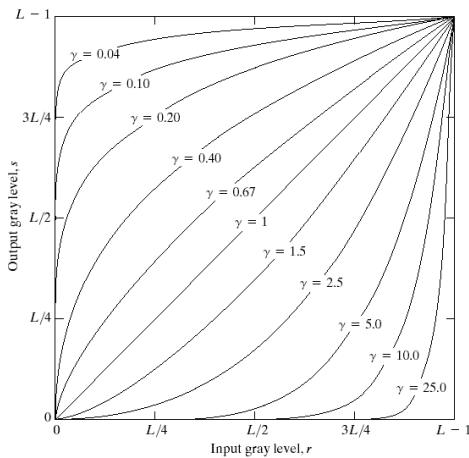
27

## 3. 幂次变换 --- 伽玛校正

- 表示为  $s = cr^\gamma$  ( $c$ 和 $\gamma$ 为常数)

$r < 1$  看黑处细节

$r > 1$  看亮处细节



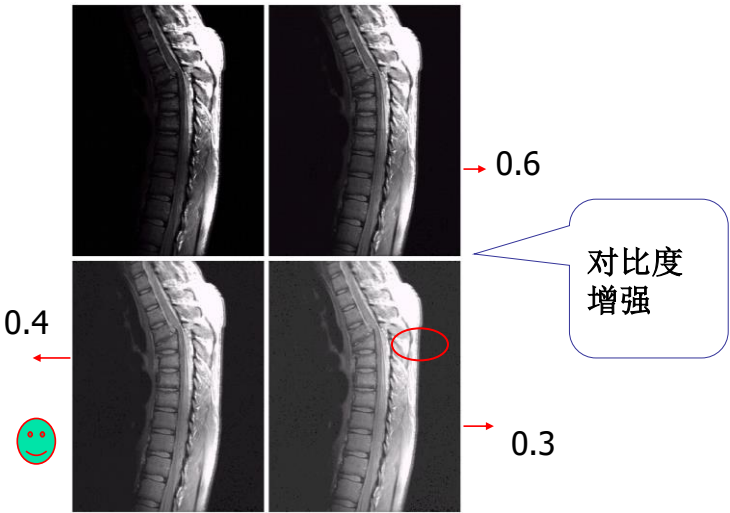
**FIGURE 3.6** Plots of the equation  $s = cr^\gamma$  for various values of  $\gamma$  ( $c = 1$  in all cases).

尝试着选  $\gamma$

28



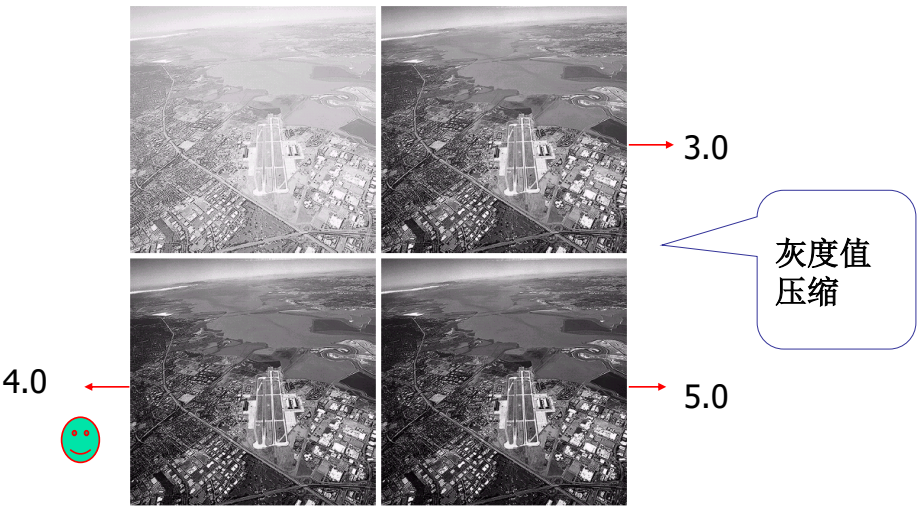
### 3. 幂次变换 --- 伽玛校正



29



### 3. 幂次变换 --- 伽玛校正



30



## 4. 分段线性变换

- 分段线性变换是前几种方法的补充。
- 几个例子：
  - (1) 对比拉伸
  - (2) 灰度切割

31



## 4. 分段线性变换

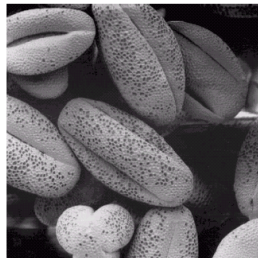
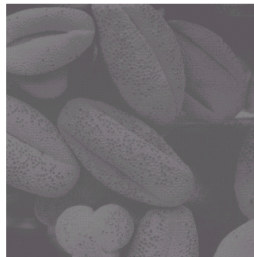
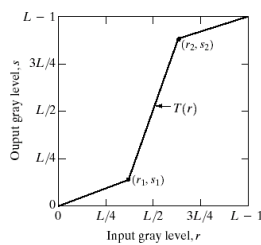
### (1) 对比拉伸

- 用以提高低对比度图像的灰度级的动态范围。
- 低对比度图像
  - 照明不足
  - 成像传感器动态范围太小
  - 透镜光圈设置错误

32



## 4. 分段线性变换



33

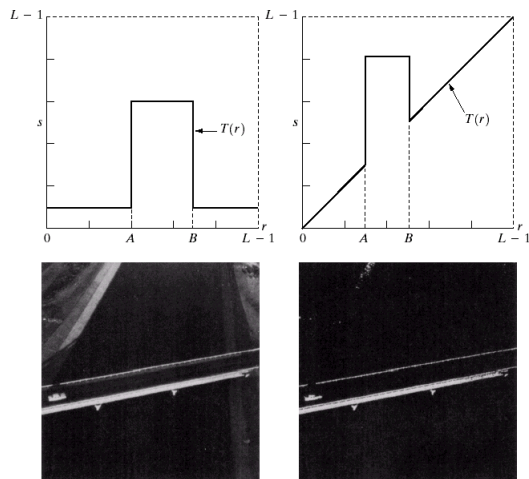
## 4. 分段线性变换

### (2) 灰度切割

- 目的
  - 提高图像中特定灰度范围的亮度
- 应用
  - 增强特征（如卫星图像中大量的水）
  - 增强X射线图中的缺陷

34

## 4. 分段线性变换



35

## 第二章 空域增强：点操作

### 2.1 空域技术分类

### 2.2 图像间运算

### 2.3 直接灰度映射

### 2.4 直方图变换

36

## 1. 直方图

- 灰度直方图是灰度级的函数，描述的是图像中具有该灰度级的像素的个数：其横坐标是灰度级，纵坐标是该灰度出现的频率（对数字图像即指像素的个数）。

- 用数学公式可以表示为

$$h(k) = n_k \quad (k = 0, 1, \dots, L-1)$$

其中：

$n_k$ 是图像中灰度值为k的像素个数。

37

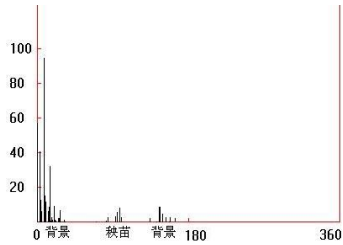
## 1. 直方图

- 直方图（Histogram）是数字图像处理中最简单、最有用的工具之一：

- 是多种空间域处理技术的基础
- 提供有用的图像统计资料
- 图像压缩
- 图像分割
- 实时图像处理的一个流行工具

38

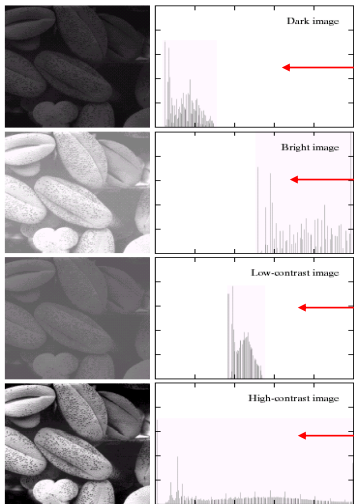
# 1. 直方图



图像分割

39

# 1. 直方图



暗色图像：集中在灰度级低（暗）的一侧

明亮图像：集中在灰度级高（亮）的一侧

低对比度图像：窄而集中在灰度级的中部

高对比度图像：覆盖了灰度级很宽的范围，分布较均匀

40

## 2. 直方图均衡

- 目标：将图像的直方图修正为均匀分布形式，增加像素灰度值的动态范围，从而达到增强图像对比度（清晰度↑）的效果。

41

## 2. 直方图均衡

相对大小不变

- 要找到一种变换  $t = E_H(s)$  使直方图变平直，为使变换后的灰度仍保持从黑到白的单一变化顺序，且变换范围与原先一致，以避免整体变亮或变暗。必须规定：

bit数不变

- (1) 在  $0 \leq s \leq 1$ ， $E_H(s)$  是单调递增函数，且  $0 \leq E_H(s) \leq 1$
- (2) 反变换  $s = E_H^{-1}(t)$  也是单调递增函数， $0 \leq t \leq 1$

42

## 2. 直方图均衡

- 归一化直方图：设一幅图像的像素总数为 $n$ ，共有 $L$ 个灰度级， $n_k$ 为第 $k$ 个灰度级出现的次数。则第 $k$ 个灰度级出现的概率为

$$p(s_k) = n_k / n \quad \begin{matrix} 0 \leq s_k \leq 1 \\ k = 0, 1, \dots, L-1 \end{matrix}$$

- 累积直方图：

$$t_k = E_H(s_k) = \sum_{i=0}^k p(s_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}$$

- (1)  $t_k$  是  $k$  的单值单增函数
- (2) 灰度取值范围一致， $0 \leq t_k \leq 1$
- (3) 将 $s$ 的分布转换为 $t$ 的均匀分布

43

## 2. 直方图均衡

例：设图象有 $64*64=4096$ 个像素，有8个灰度级，灰度分布如下表所示。进行直方图均衡化。

$k$	$n_k$
0	790
1	1023
2	850
3	656
4	329
5	245
6	122
7	81

44

## 2. 直方图均衡

Step1: 计算每个灰度值出现的概率  $p(s_k) = \frac{n_k}{n}$

$k$	$n_k$	$p(s_k)$
0	790	0.19
1	1023	0.25
2	850	0.21
3	656	0.16
4	329	0.08
5	245	0.06
6	122	0.03
7	81	0.02

45

## 2. 直方图均衡

Step2: 计算  $t_k = E_H(s_k) = \sum_{i=0}^k p(s_i)$

$k$	$n_k$	$p(s_k)$	$t_k$
0	790	0.19	0.19
1	1023	0.25	0.44
2	850	0.21	0.65
3	656	0.16	0.81
4	329	0.08	0.89
5	245	0.06	0.95
6	122	0.03	0.98
7	81	0.02	1.00

46

## 2. 直方图均衡

Step3: 把归一化的  $t_k$  , 变回灰度值区间  $[0, L - 1]$  。具体的方法就是令  $t_k = \text{int}[(L - 1)t_k + 0.5]$

$k$	$n_k$	$p(s_k)$	$t_k$	$t_k$
0	790	0.19	0.19	1
1	1023	0.25	0.44	3
2	850	0.21	0.65	5
3	656	0.16	0.81	6
4	329	0.08	0.89	6
5	245	0.06	0.95	7
6	122	0.03	0.98	7
7	81	0.02	1.00	7

47

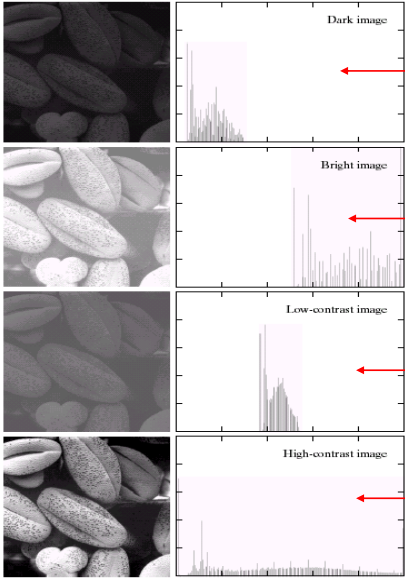
## 2. 直方图均衡

Step4: 对图像中每一个像素的灰度值进行映射，得到均衡后的图像。

48



## 2. 直方图均衡



暗色图像：集中在灰度级低（暗）的一侧

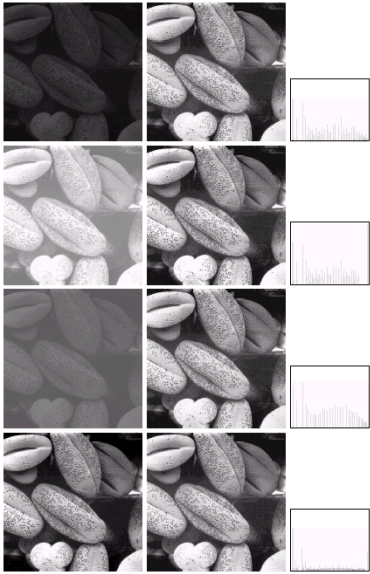
明亮图像：集中在灰度级高（亮）的一侧

低对比度图像：窄而集中在灰度级的中部

高对比度图像：覆盖了灰度级很宽的范围，分布较均匀

49

## 2. 直方图均衡



50

### 3. 直方图规定化

- 直方图规定化（也叫直方图匹配）：修改一幅的直方图，使得它具有有一种预先规定的形状。
- 目标：突出我们感兴趣的灰度范围。

参考：《数字图像处理》，冈萨雷斯，3.3.2节 P101

51

### 3. 直方图规定化

借助直方图变换实现规定/特定的灰度映射

(1) 对原始直方图进行灰度均衡化

$$t_k = EH_s(s_i) = \sum_{i=0}^k p_s(s_i)$$

(2) 规定所需要的直方图，计算能使规定直方图均衡化的变换

$$v_l = EH_u(u_j) = \sum_{j=0}^l p_u(u_j)$$

(3) 将原始直方图对应映射到规定直方图

三个步骤

52

### 3. 直方图规定化

两种映射/对应规则

(1) 单映射规则

$$\left| \sum_{i=0}^k p_s(s_i) - \sum_{j=0}^l p_u(u_j) \right| \quad \begin{array}{l} k = 0, 1, \dots, M-1 \\ l = 0, 1, \dots, N-1 \end{array}$$

(2) 组映射规则 ( $I(l)$ : 整数函数)

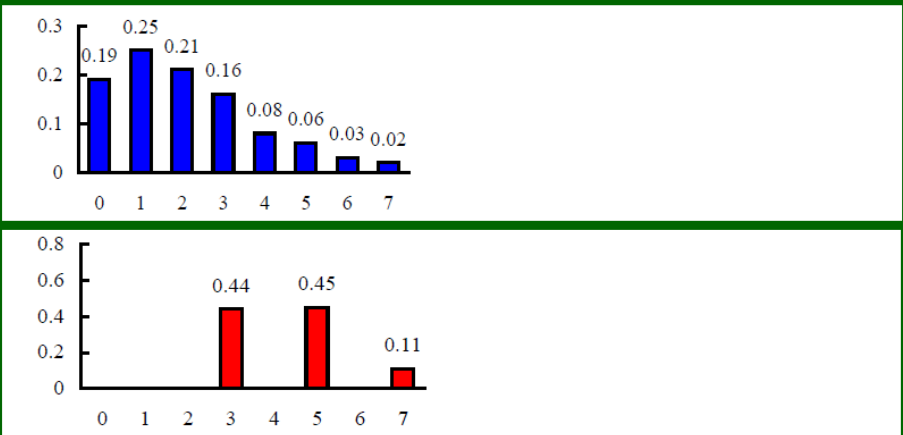
$$\left| \sum_{i=0}^{I(l)} p_s(s_i) - \sum_{j=0}^l p_u(u_j) \right| \quad l = 0, 1, \dots, N-1$$

{表2.4.2}

53

### 3. 直方图规定化

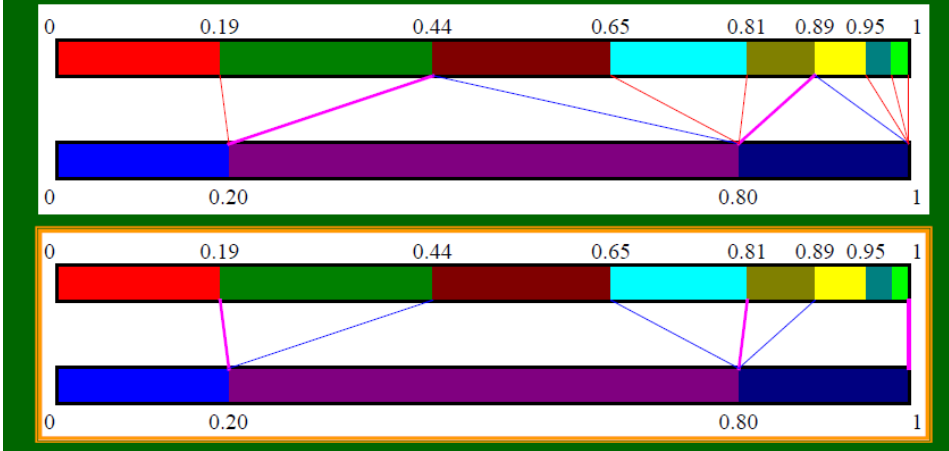
直方图规定化示例



54

### 3. 直方图规定化

#### 单映射规则 vs. 组映射规则



55

### 实验二

1. 对灰度图进行直方图均衡（C编程实现）

**seed.yuv**

56