数字图像处理

第二章

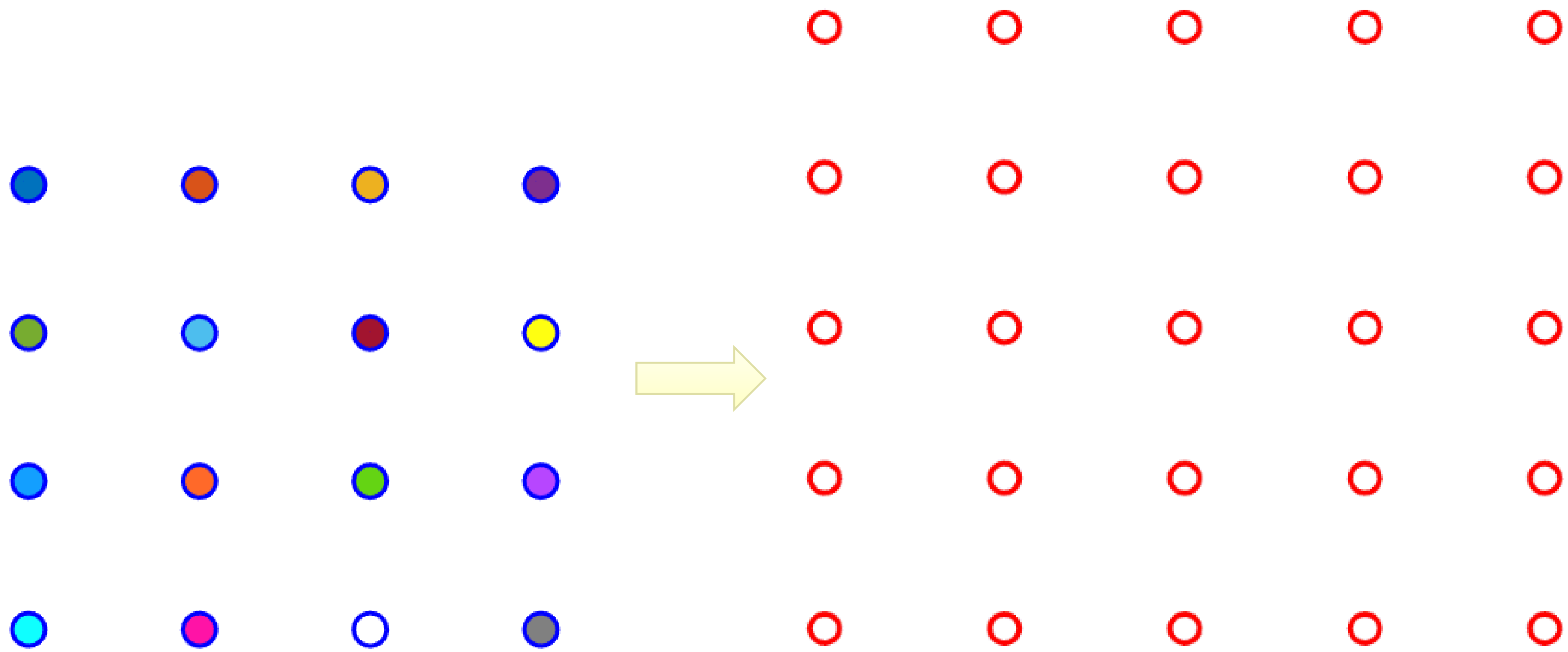
空间域图像增强（Part I）

空间域图像增强

- 图像内插
- 像素间的基本关系
- 空间域图像增强背景知识
- 基本灰度变换
- 直方图处理

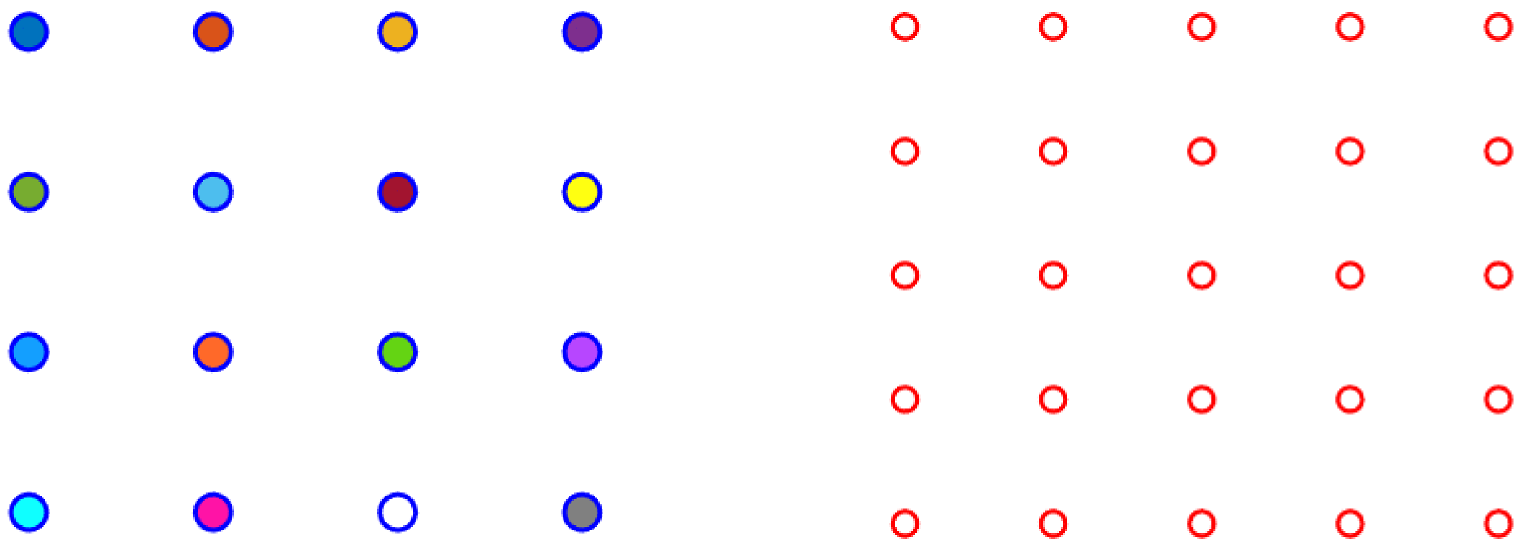
图像内插

- 用已知数据来估计位置未知的数值



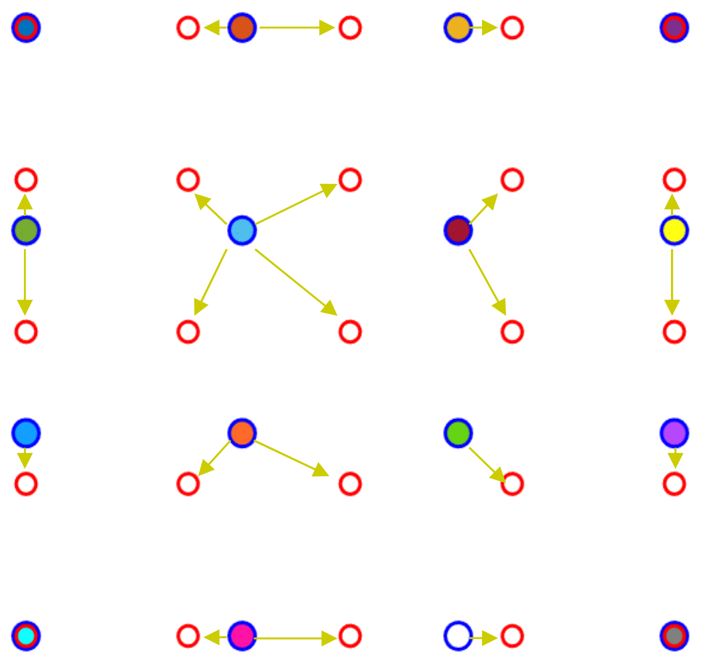
图像内插

- 最近邻内插法



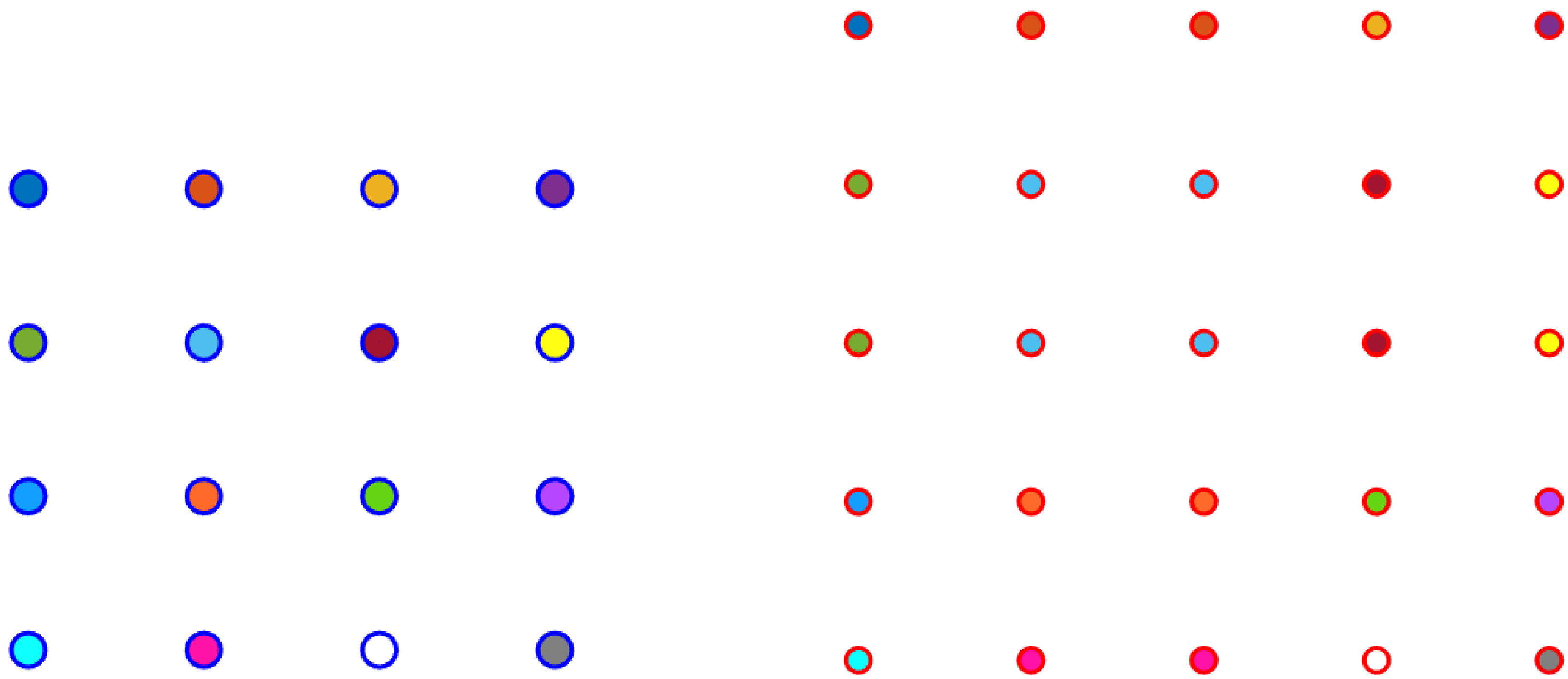
图像内插

- 最近邻内插法



图像内插

- 最近邻内插法



图像内插

- 双线性内插法
  - 用4个最近邻去估计给定位置的灰度

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d$$

    - 求解由4个等式组成的方程组
- 双三次内插法
  - 用16个最近邻去估计给定位置的灰度

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} x^i y^j$$

    - 求解由16个等式组成的方程组

图像内插

- 比较

最近邻内插法

双线性内插法

双三次内插法

空间域图像增强

- 图像内插
- 像素间的基本关系
- 空间域图像增强背景知识
- 基本灰度变换
- 直方图处理

像素间的基本关系

- 相邻像素
- 邻接性、连通性、区域和边界
- 距离度量

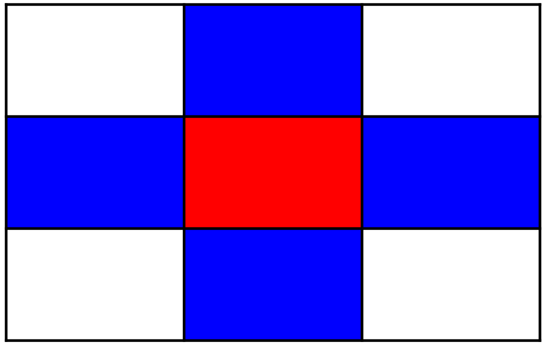
逻辑关系

相邻 ⇄ 通路 ⇄ 连通分量，连通集 ⇄ 区域，边界

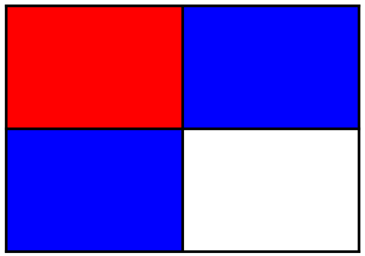
相邻像素

- 4邻域：位于坐标(x,y)的像素p有四个水平和竖直的相邻像素，坐标为：

  $N_4(p)=(x-1,\ y),\ (x+1,\ y),\ (x,\ y-1),\ (x,\ y+1)$



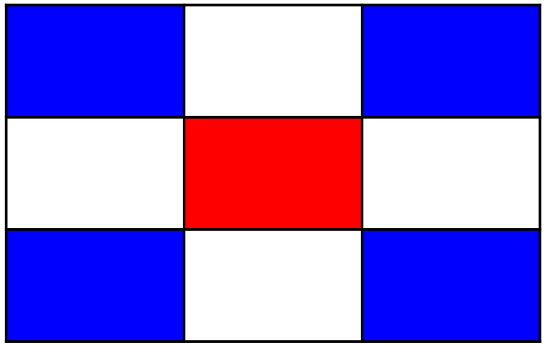
- 边界的像素点怎么办?



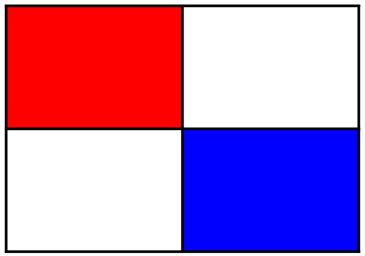
相邻像素

- 4对角邻域：位于坐标(x,y)的像素p有四个对角的相邻像素，坐标为：

$N_D(p)=(x-1, y-1), (x-1, y+1), (x+1, y-1), (x+1, y+1)$



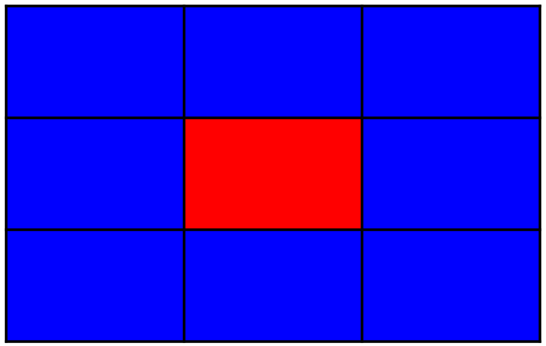
- 边界的点怎么办?



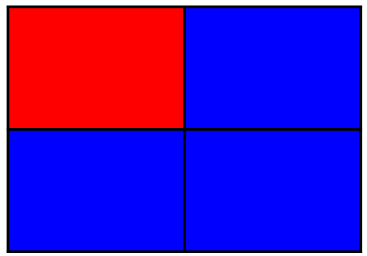
相邻像素

- 8邻域：位于坐标(x,y)的像素p有8个水平、竖直以及对角的相邻像素，坐标为：

$$N_8(p)=N_4(p)+N_D(p)$$



- 边界的点怎么办?



邻接性

- 令V是用于定义邻接性的灰度值集合
  - 对于二值图像，V={1}或V={0}
  - 对于非二值图像，V是灰度级任意一个子集，比如V={128,129,...,255}；
- V集合把灰度级化成2个等价类；也可以认为V集合把灰度图像染成二值图像

邻接性

- 4邻接：如果q在$N_4(p)$集合中，且q的灰度与p的灰度都在集合V中，则q和p是4邻接的
- 8邻接：如果q在$N_8(p)$集合中，且q的灰度与p的灰度都在集合V中，则q和p是8邻接的
- m邻接（混合邻接）：q的灰度与p的灰度都在集合V中，
  - 如果i）q在$N_4(p)$中
  - 或者ii）q在$N_D(p)$中，且$N_4(p) \wedge N_4(q)$的灰度都不在集合V中

则q和p是m邻接的

消除二义性

例子

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

8邻接 m邻接

连通性

- 从坐标(x,y)的像素点p到坐标（s,t）的像素点q的路（也可能是曲线）称为**通路**

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \ldots, (x_{N-1}, y_{N-1}), (x_N, y_N)$$

相邻像素点是邻接的

$$(x,y) = (x_0, y_0)$$

$$(s,t) = (x_N, y_N)$$

通路长度为**N**

如果(x,y)=(s,t)，则此通路称为闭合通路

计算

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

从东北角的1到东南角的1，8通路和m通路的长度是多少？存在4通路嘛？

小测试

	q	1
p	1	
1		

当(p,q)分别取(0,0),(1,0),(0,1),(1,1)，从左下方的1到右上方的1的**m通路**的长度分别是多少？

2、3、3、4

连通集

- 令S代表一幅图像中像素的子集。如果在S中全部像素之间存在一条通路，则说明像素p和像素q在S中是连通的
- 对于S中任何像素p，S中连通到该像素的像素集叫做S的**连通分量**
- 如果S仅有一个连通分量，则集合S叫做**连通集**

区域

- 令R是图像中的像素子集。如果R是连通集，则称R为一个区域
- 如果两个区域的联合形成一个连通集，那么它们是邻接区域。
- 假设图像包括K个不连接的区域，即R_1，…，R_K，且不接触边界。
  - K个区域的并集R_u，称为前景
  - 它们的补集$(R_u)^c$，称为背景

例子

- 8邻接情况下，两个区域邻接
- 4邻接情况下?

$$\left.\begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{array}\right\} R_i$$

$$\left.\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}\right\} R_j$$

边界

- 一个区域R的边界（也称为边缘或轮廓线）是区域中像素的集合
  - 这些点与R补集中的点邻近
  - 这些点至少有一个背景邻点

- 用8连通来定义

$$
\begin{matrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{matrix}
$$

边缘与边界

- 边界：一个有限区域的边界（通常）形成一条闭合通路，是个“整体”概念
- 边缘：具有某些导数值（超过预先设定的阈值）的像素形成，是个“局部”概念；
- 边界只考察其邻点是否属于集合V，属于二值判断。边缘考察灰度级的差别，粒度更细。边缘可能不闭合。
- 什么时候边缘=边界？二值图像

距离度量

- 给定三个像素点
  - p, (x,y)
  - q, (s,t)
  - z, (v,w)
- 如果

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

(b) $D(p,q)=D(q,p)$ 且

(c) $D(p,z) \leqslant D(p,q)+D(q,z)$ 。

则D为距离函数或度量

距离度量

- 欧式距离

$$D_r(p,q)=\sqrt{(x-s)^2+(y-t)^2}$$

- D_4距离（城市街道距离，曼哈顿距离）

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

- D_8距离（棋盘距离）

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

例子

$$
\begin{array}{ccccc}
 & & 2 & & \\
 & 2 & 1 & 2 & \\
2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\
 & 2 & 1 & 2 & \\
 & & 2 & &
\end{array}
\qquad\qquad
\begin{array}{ccccc}
2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\
2 & 1 & 1 & 1 & 2 \\
2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\
2 & 1 & 1 & 1 & 2 \\
2 & 2 & 2 & 2 & 2
\end{array}
$$

分别是什么距离？

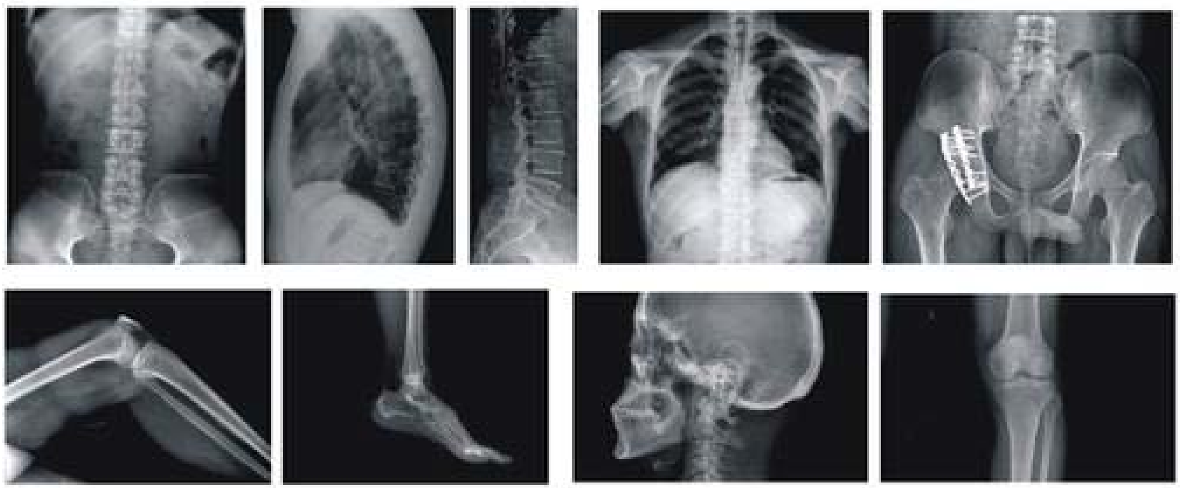
空间域图像增强

- 图像内插
- 像素间的基本关系
- 空间域图像增强背景知识
- 基本灰度变换
- 直方图处理

背景知识

- 增强的首要目标是处理图像，使其比原始图像更适合于**特定**应用
  - 没有通用的理论和标准

面向问题



X成像技术不适用于处理月球发回的照片

背景知识

- 两大类方法:
  - **空间域方法**：图像平面本身，对图像的像素直接处理
    - 直观

  - 变换域方法：空间域 → 变换域 → 处理 → 空间域
    - 频域（傅里叶变换）；

离散

连续

背景知识

- 空间域方法是直接对像素操作的过程

$$g(x,y) = T(f(x,y))$$

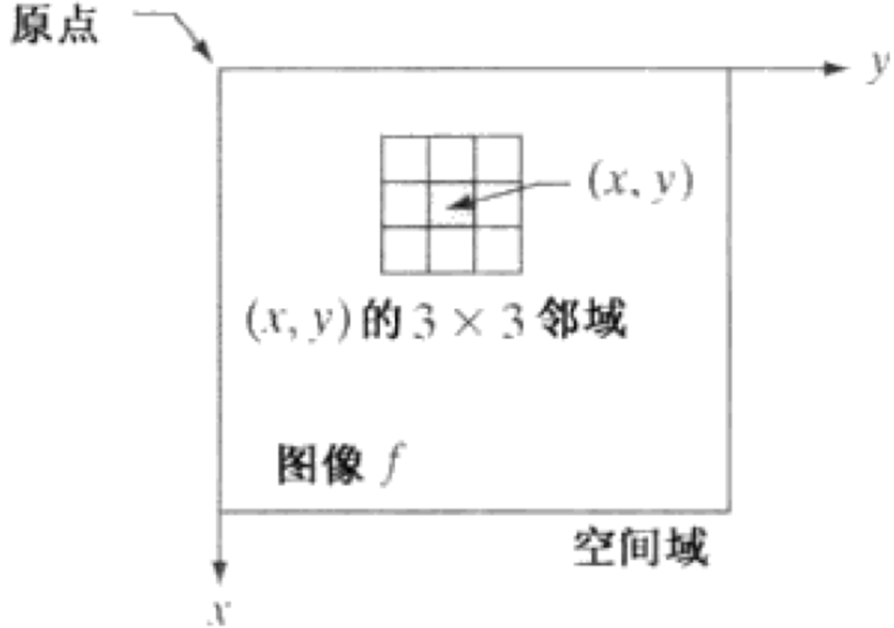
输出图像

原始图像

操作算子，定义在
(x, y) 的邻域

例子

- 邻域原点移动
- 应用算子T
  - 比如计算均值
- 产生输出



- 边界怎么办?
  - 忽略外部、填充

两种类型

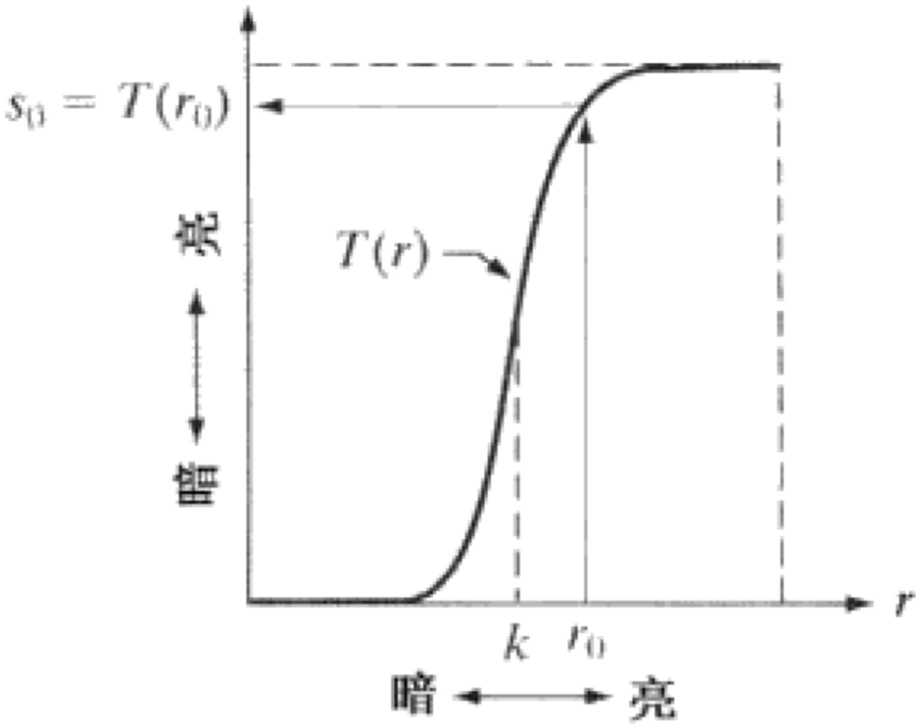
- 空间滤波
  - 空间滤波器：邻域、预定义的操作
- 灰度变换
  - 邻域大小为1的空间滤波
  - 灰度变换函数

$$s = T(r)$$

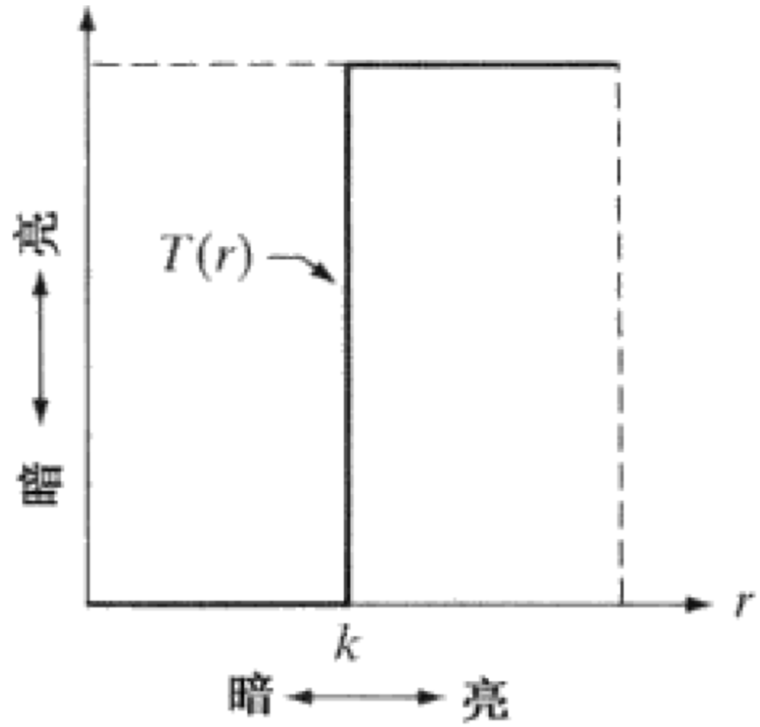
  - 函数可以存储在1维数组中，通过查表实现映射

例子

- 什么效果?



对比度拉伸函数



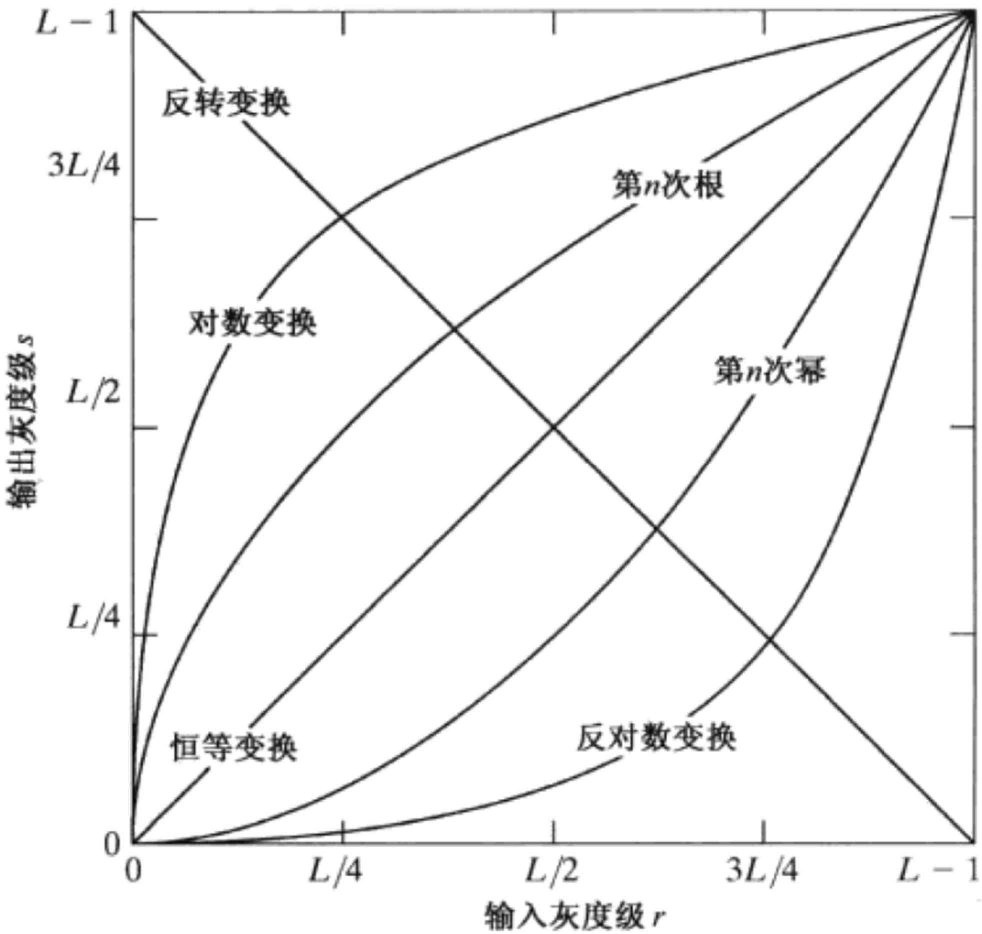
阈值处理函数

空间域图像增强

- 图像内插
- 像素间的基本关系
- 空间域图像增强背景知识
- 基本灰度变换
- 直方图处理

三类基本函数

- 线性函数、对数函数、幂律函数



图像反转

- 公式： $S = L - 1 - r \qquad L = 2^b$
  - 增强嵌入在暗区域中的白色或灰色细节

反转前

反转后

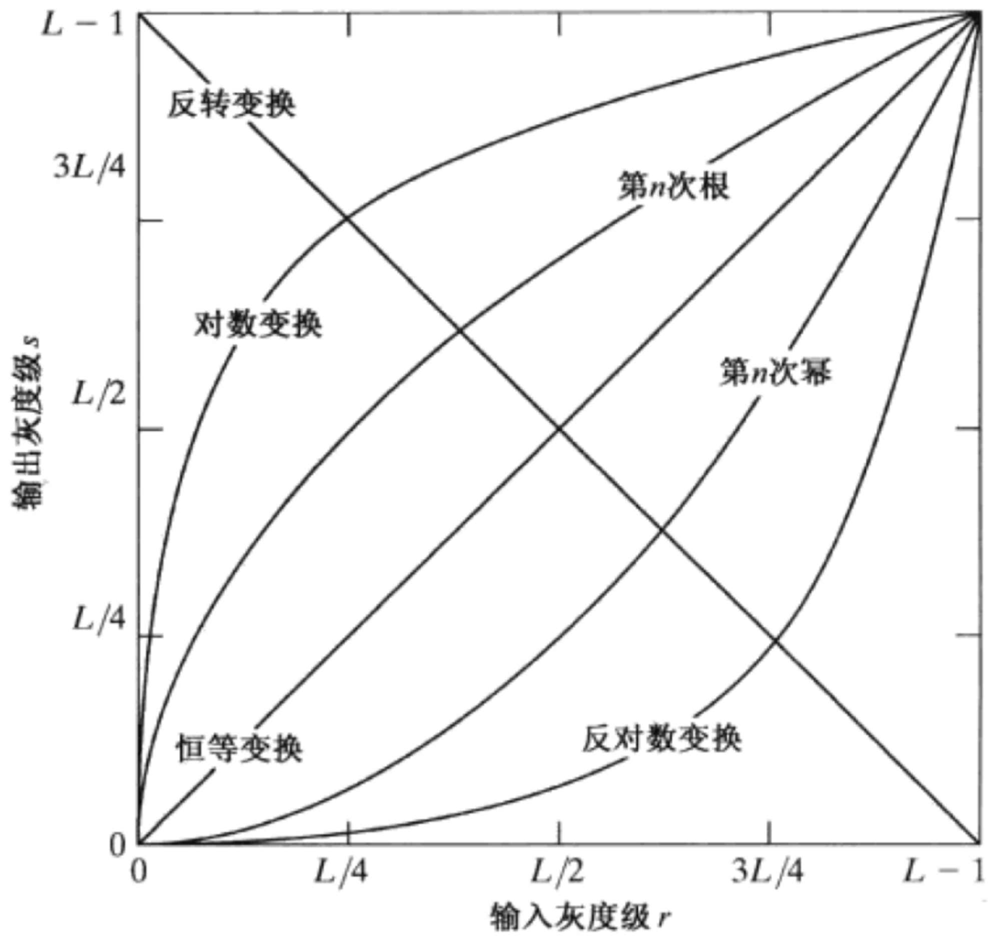
反转后可以看到有一小块病变。

尽管两幅图像本质上内容一样，但是分析图像的难易变了

对数变换

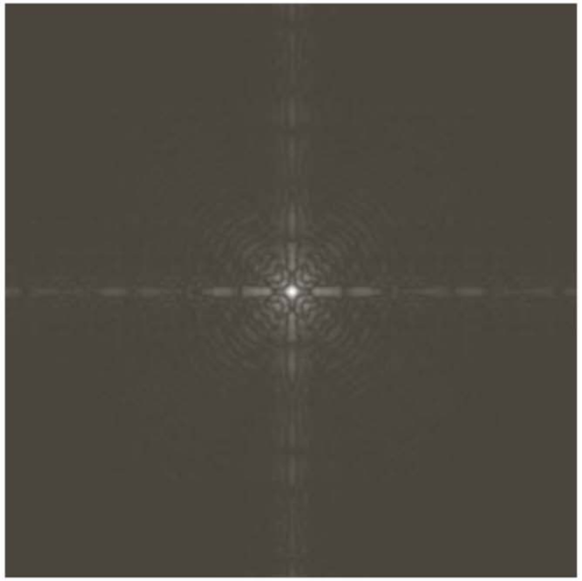
- 公式 $s = c\log(1+r)$
  - 为什么是1+r?

  - 低灰度值拉伸
  - 高灰度值压缩

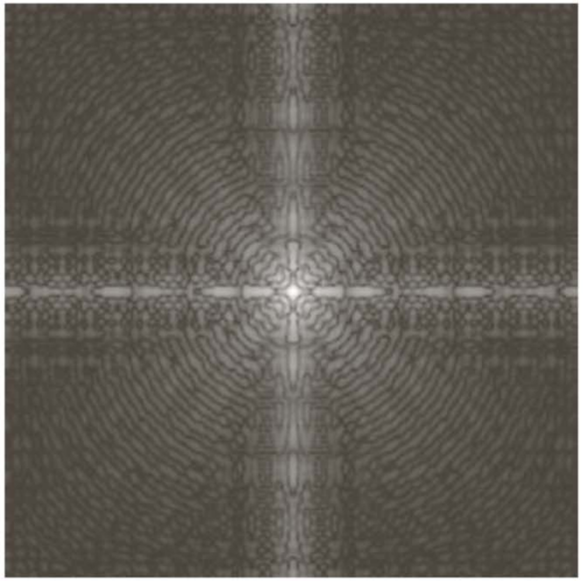


对数变换

- 公式 $s = c\log(1+r)$
  - 压缩数值范围：0~1.5×10^6 → 0~6.2



变换前



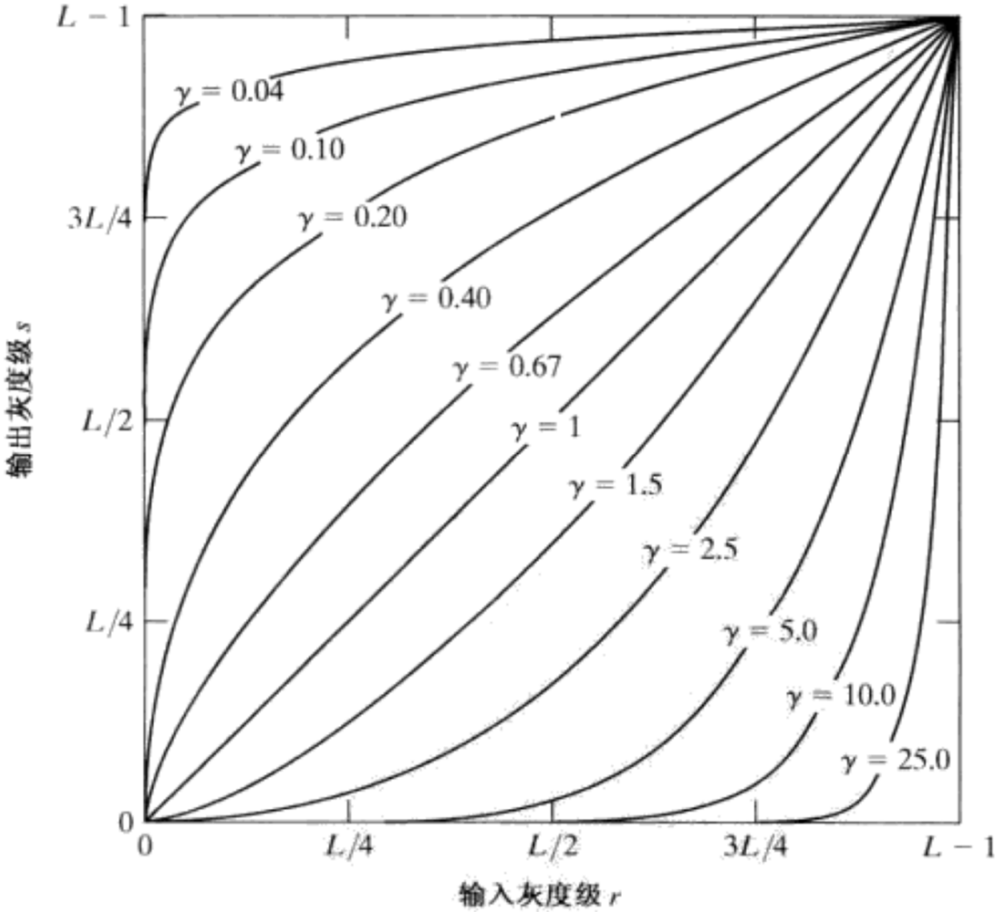
变换后，C=1

变换后，看到了图像更多的细节

幂律变换

- 公式 $s = cr^{\gamma}$
  - 低灰度值拉伸
  - 高灰度值压缩

  - 可以调整γ
  - 伽马变换

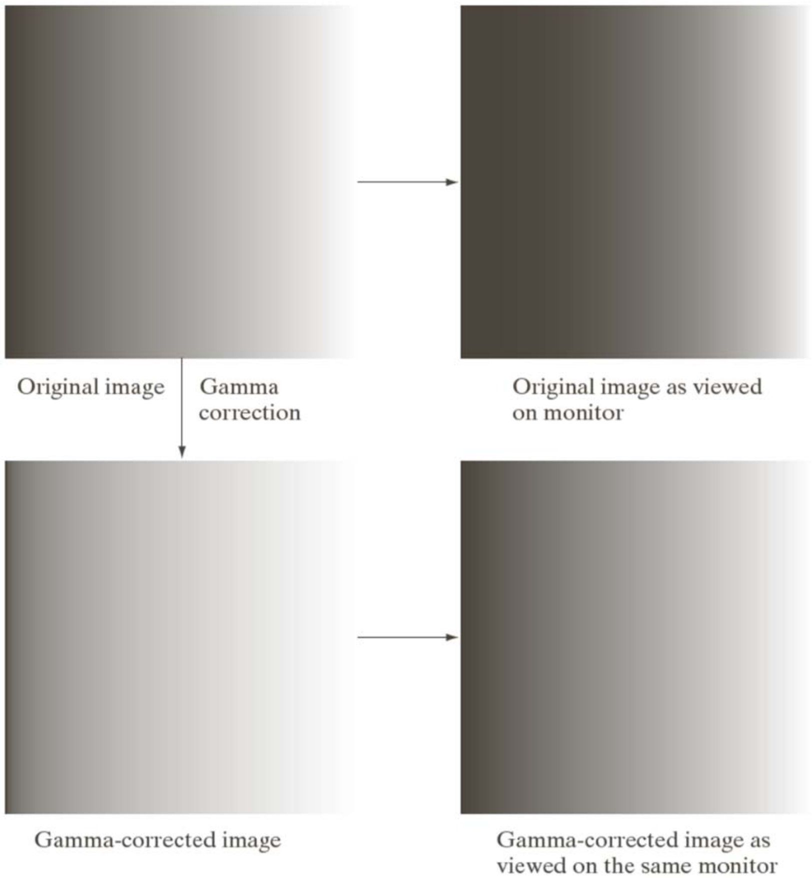


幂律变换

- 公式 $$s = cr^{\gamma}$$

$\gamma = 2.5$

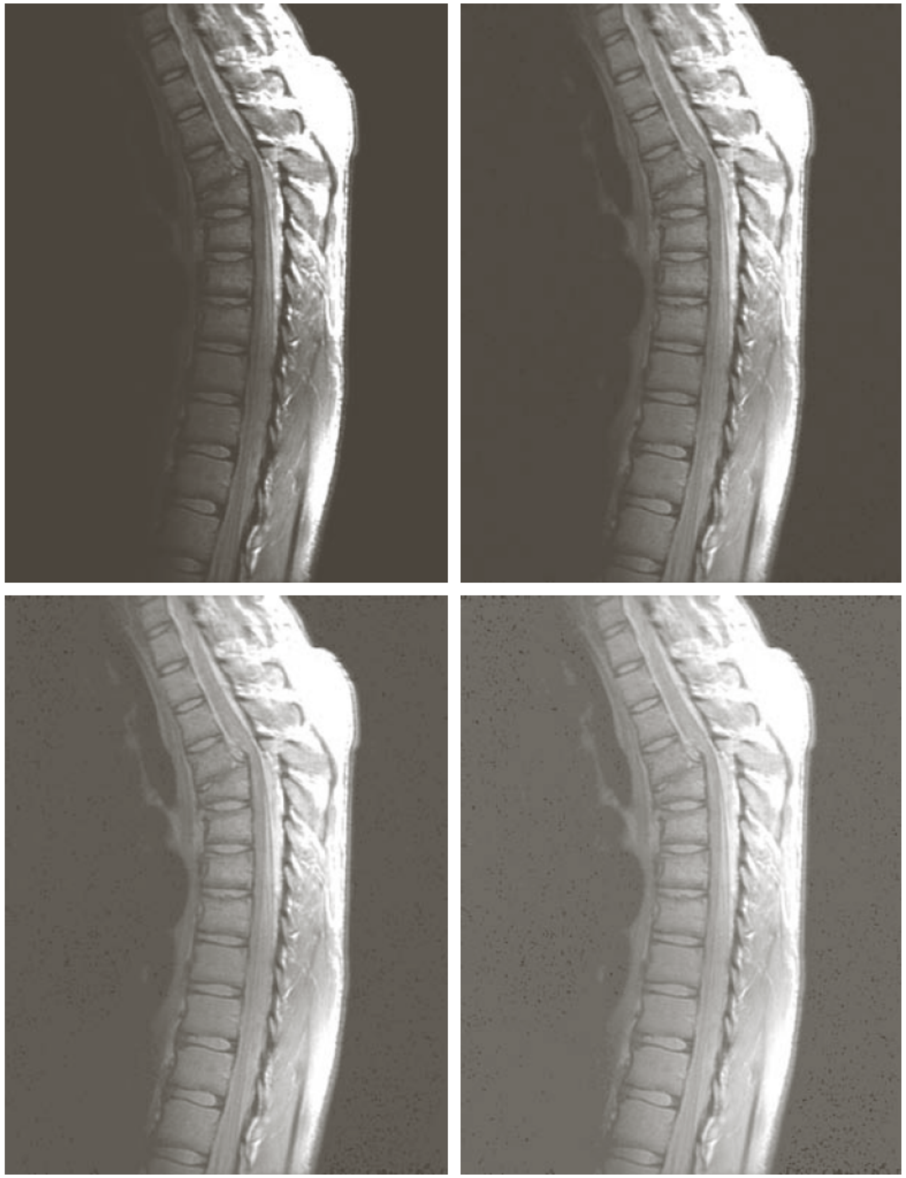
$\gamma = 1/2.5$



经伽马变换后，图像变得更接近真实值

幂次变换

脊椎骨折核磁共振



伽马参数分别取 0. 6, 0. 4, 0. 3

细节增加

对比度降低

幂次变换

伽马参数分别取 3, 4, 5

细节减少

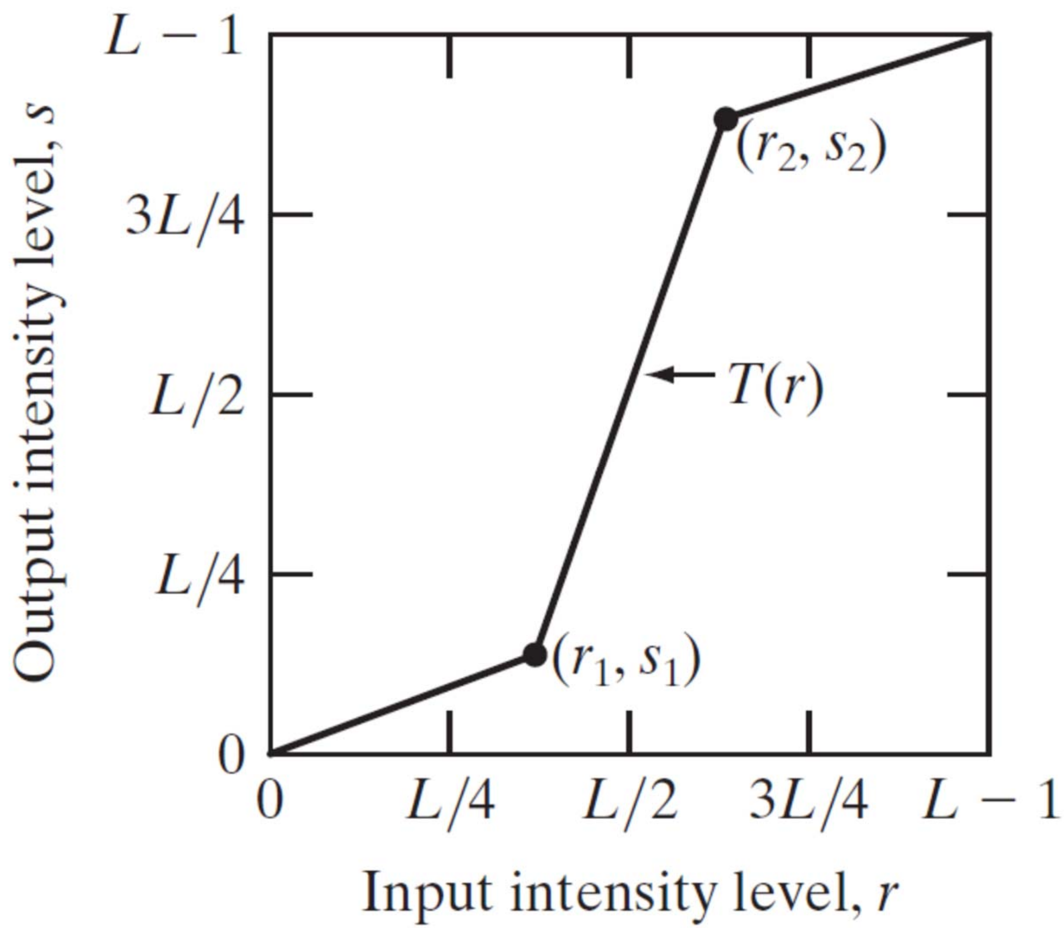
对比度增加

思考

- 如果你不想拉伸整个图像的对比度，你只想拉伸某些灰度级上的对比度，怎么办?

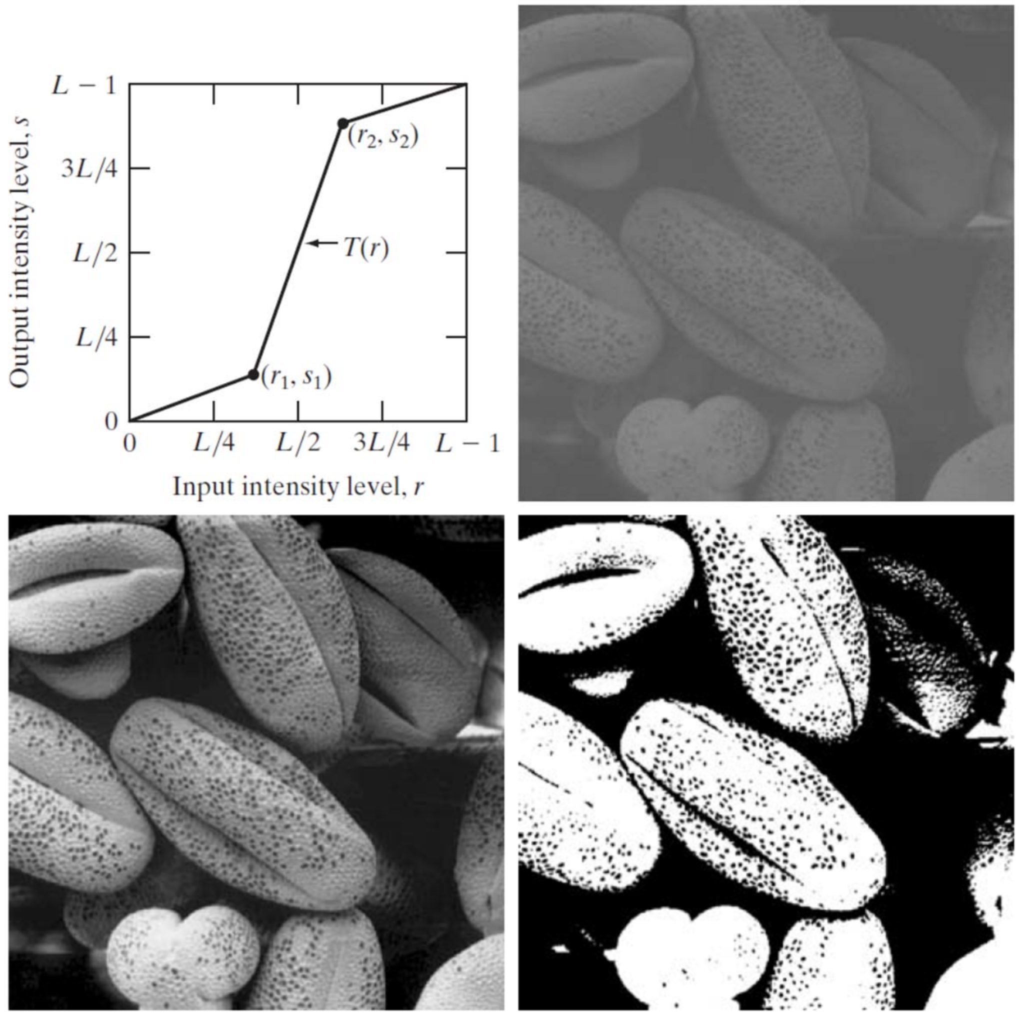
分段线性函数

- 对比拉伸变换
  - 单调递增
- 线性函数
  - $r_1 = s_1, r_2 = s_2$
- 阈值处理函数
  - $r_1 = r_2, s_1 = 0$
  - $s_2 = L - 1$



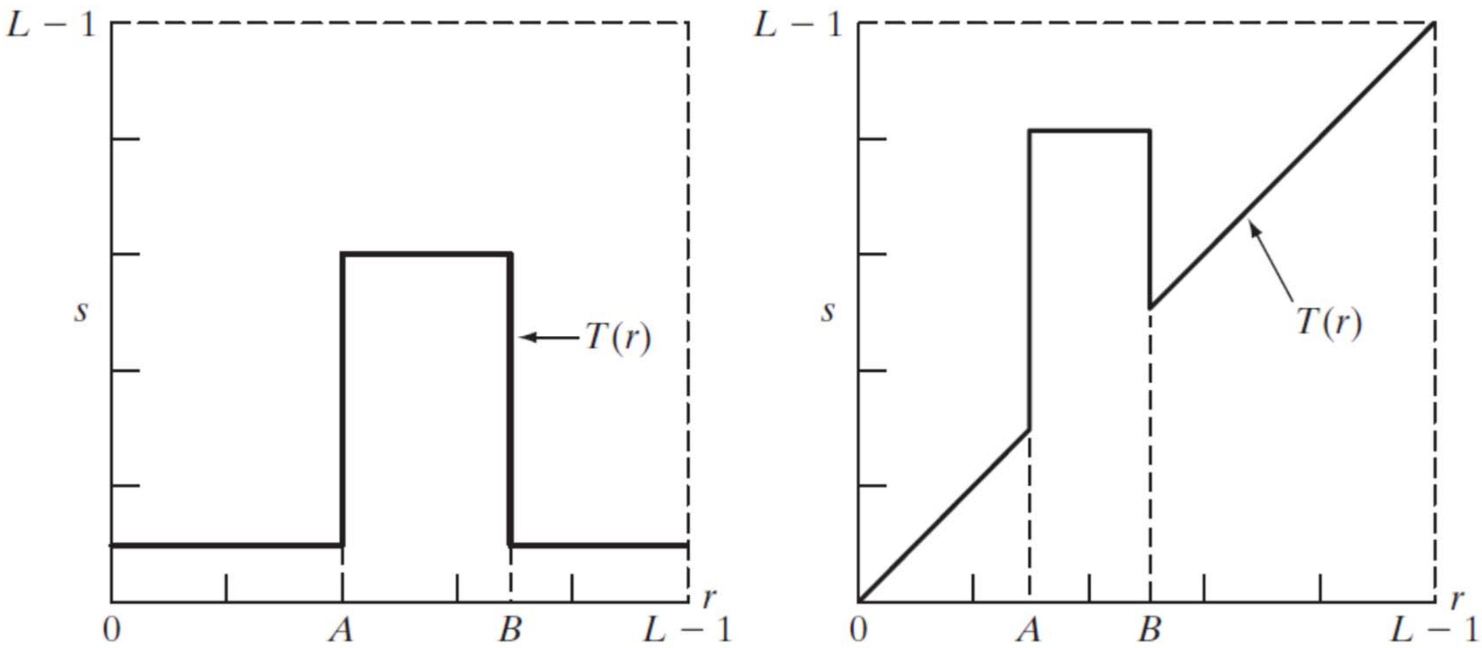
例子

- 线性拉伸
  - $(r_1, s_1) = (r_{\min}, 0)$
  - $(r_2, s_2) = (r_{\max}, L - 1)$
- 阈值处理
  - $(r_1, s_1) = (m, 0)$
  - $(r_2, s_2) = (m, L - 1)$



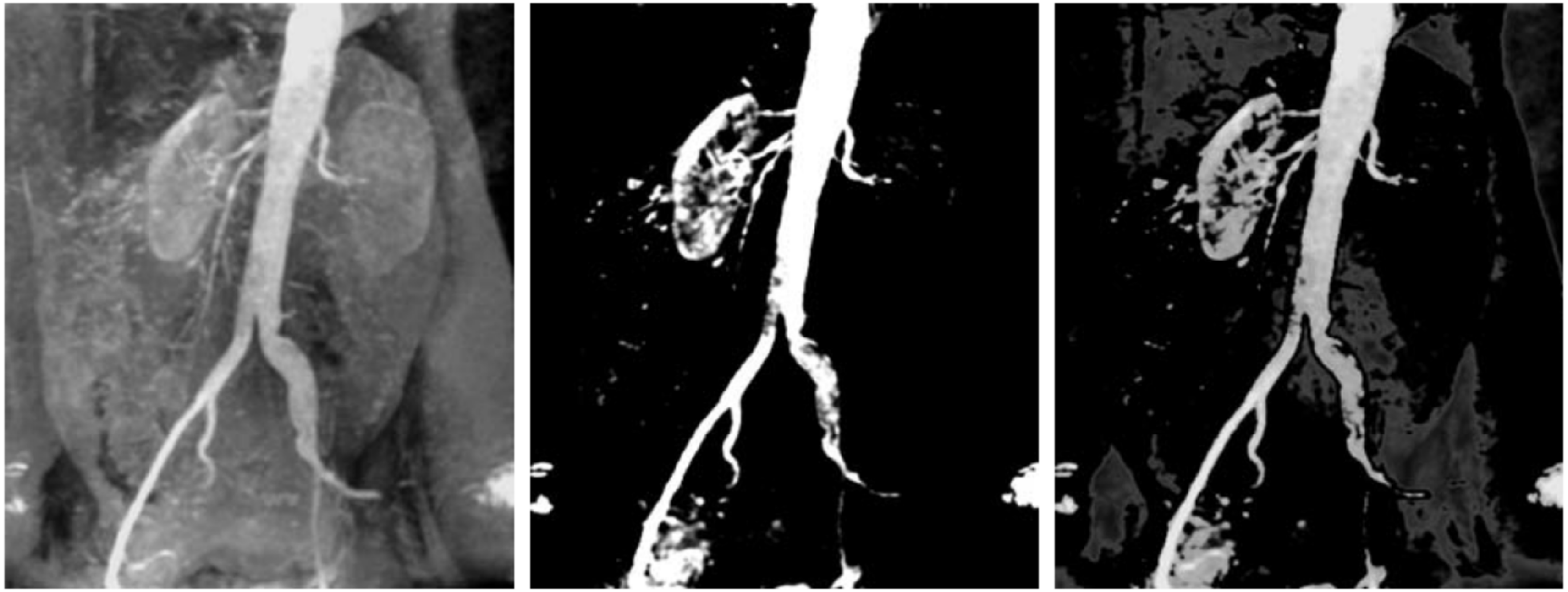
分段线性函数

- 灰度级分层
  - 突出特定灰度范围的亮度



例子

- 大动脉血管造影



比特平面分层

- 突出特定比特的作用
  - 8比特图像可认为由8个1比特平面组成

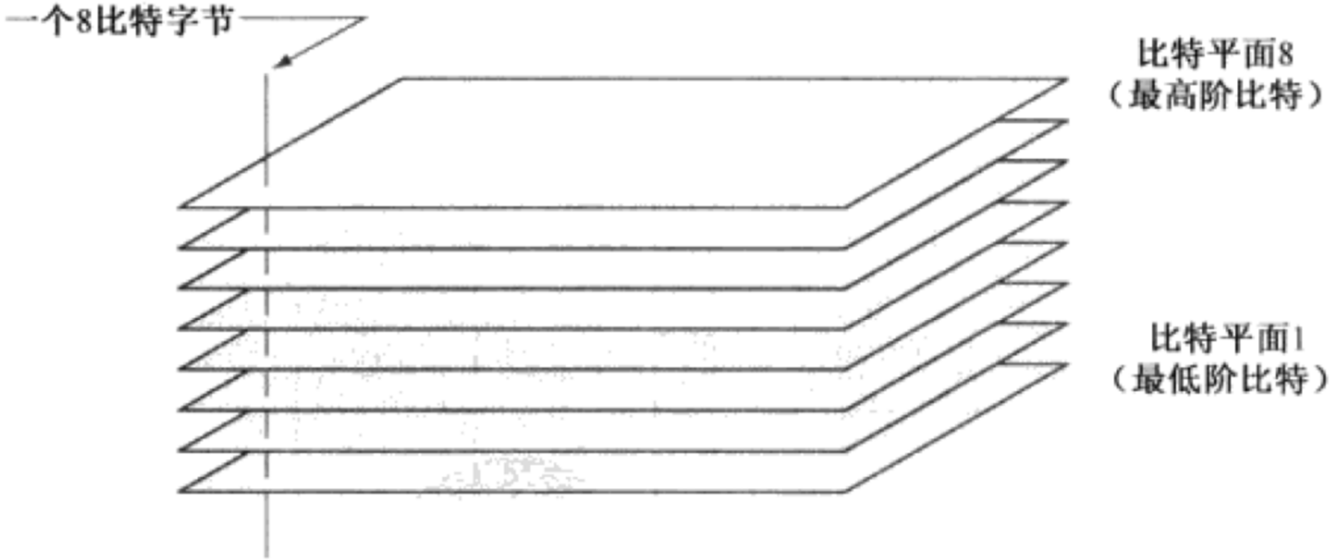
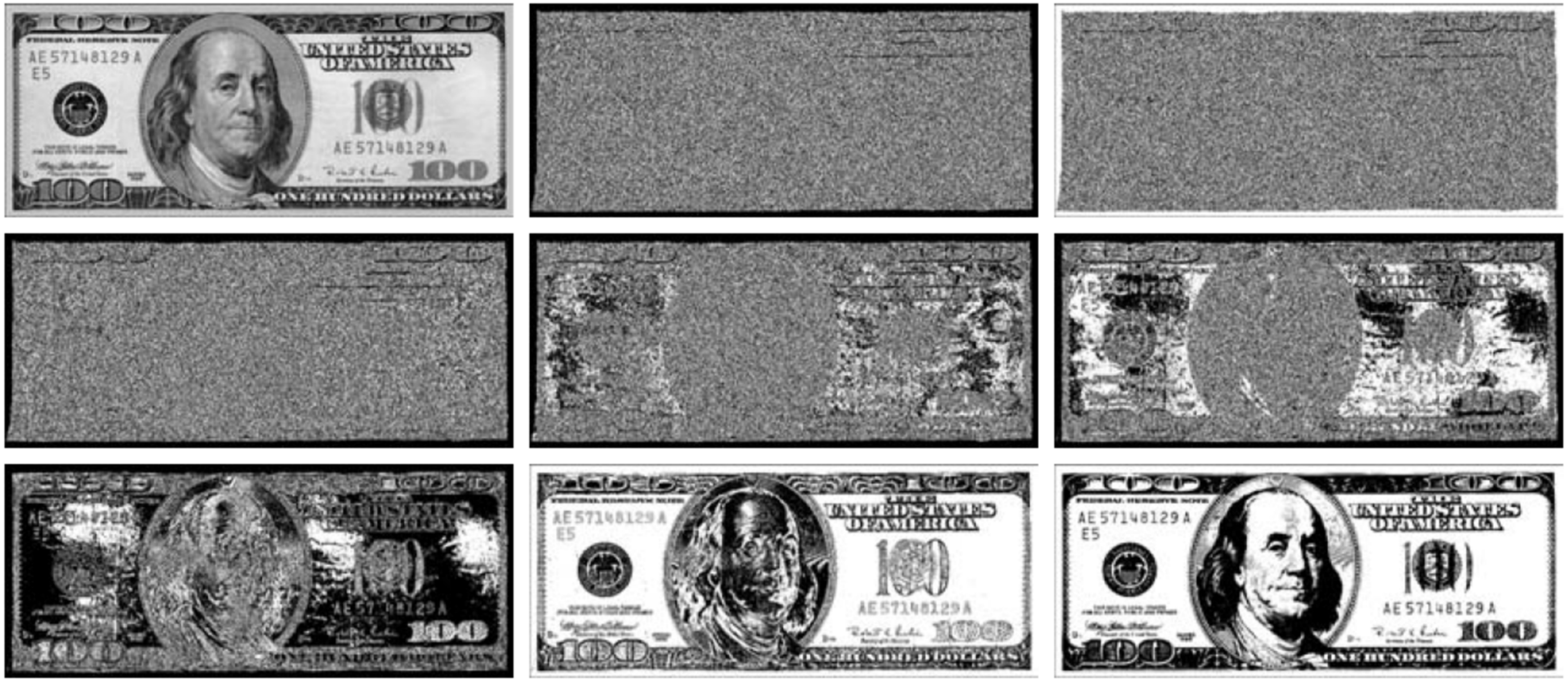


图 3.13　一幅 8 比特图像的比特平面表示

例子

- 高阶比特平面包含视觉上重要的数据
- 低阶比特平面贡献了更精细的灰度细节



边框灰度值194: 11000010

函数实现

- 第8个比特
  - $[0,127] \rightarrow 0,\ [128,255] \rightarrow 255$

其他比特位呢？

应用

- 确定量化该图像比特数的充分性

- 图像压缩
  - 伪轮廓

8、7

8、7、6

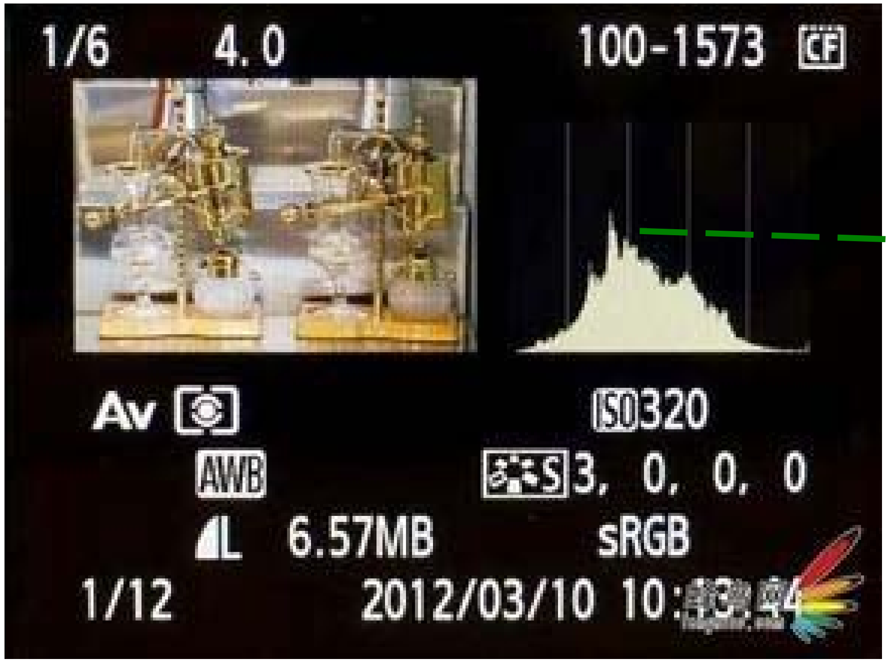
8、7、6、5

空间域图像增强

- 图像内插
- 像素间的基本关系
- 空间域图像增强背景知识
- 基本灰度变换
- 直方图处理

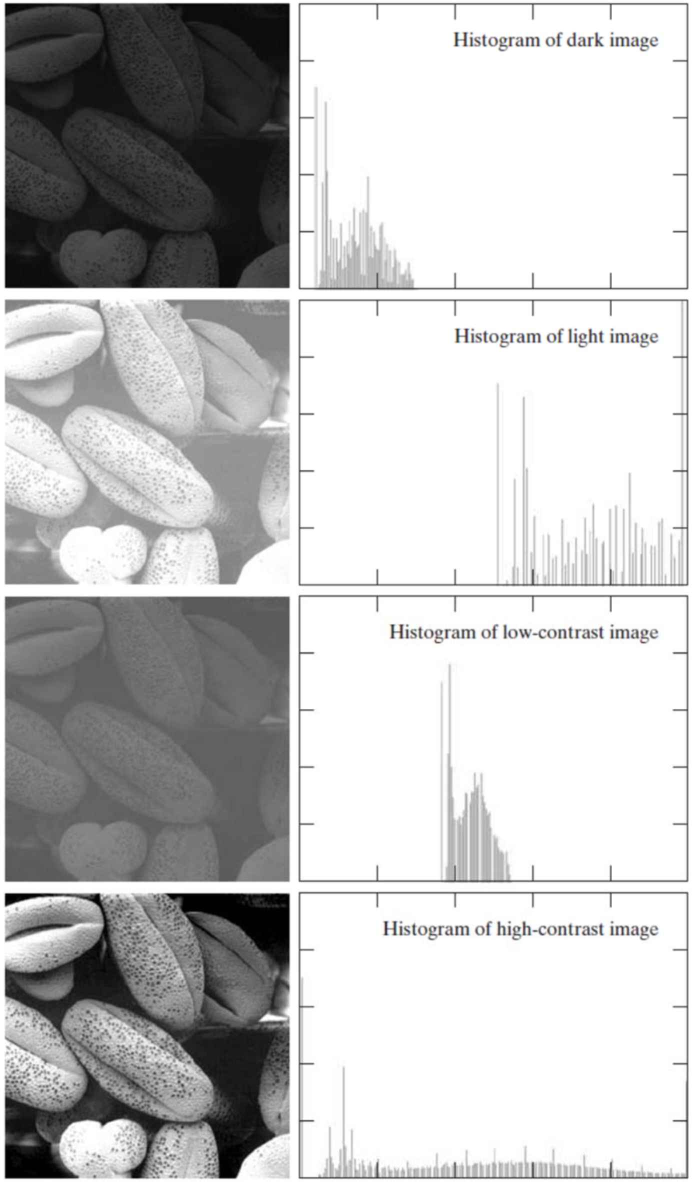
灰度直方图

- 图像中每种灰度级的像素个数
- 灰度直方图的横坐标是灰度级，纵坐标表示该灰度级出现的频率。



直方图

从直方图看图像增强

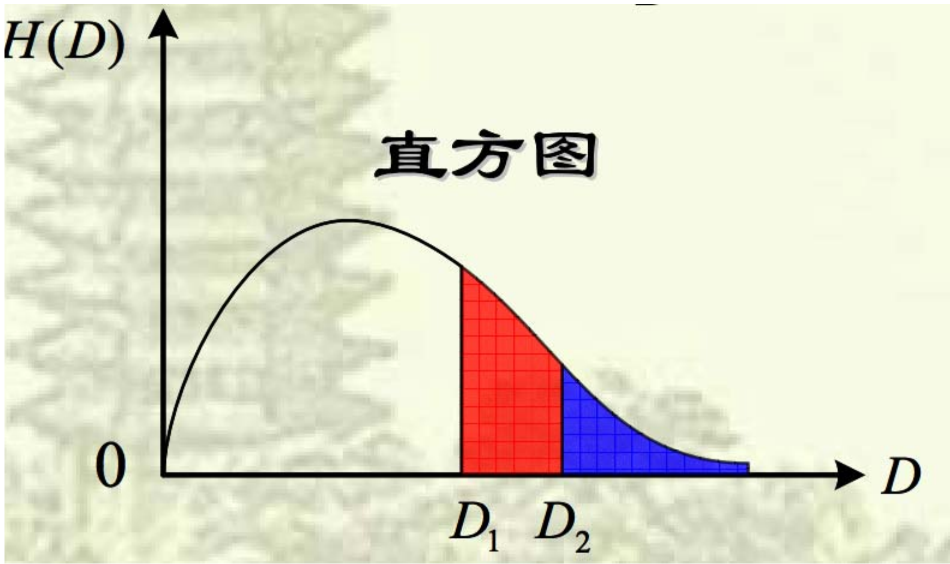


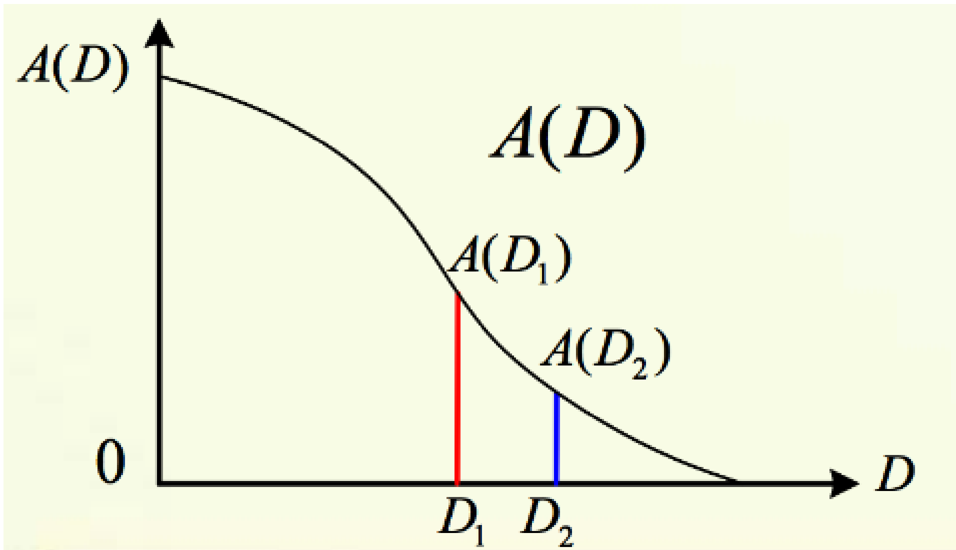
不同的直方图下，图像效果的直观感受

阈值面积函数A(D):

- 连续图像中具有灰度级≥D的轮廓线所包围的面积

$$A(D)=\int_D^{\infty}H(p)dp$$

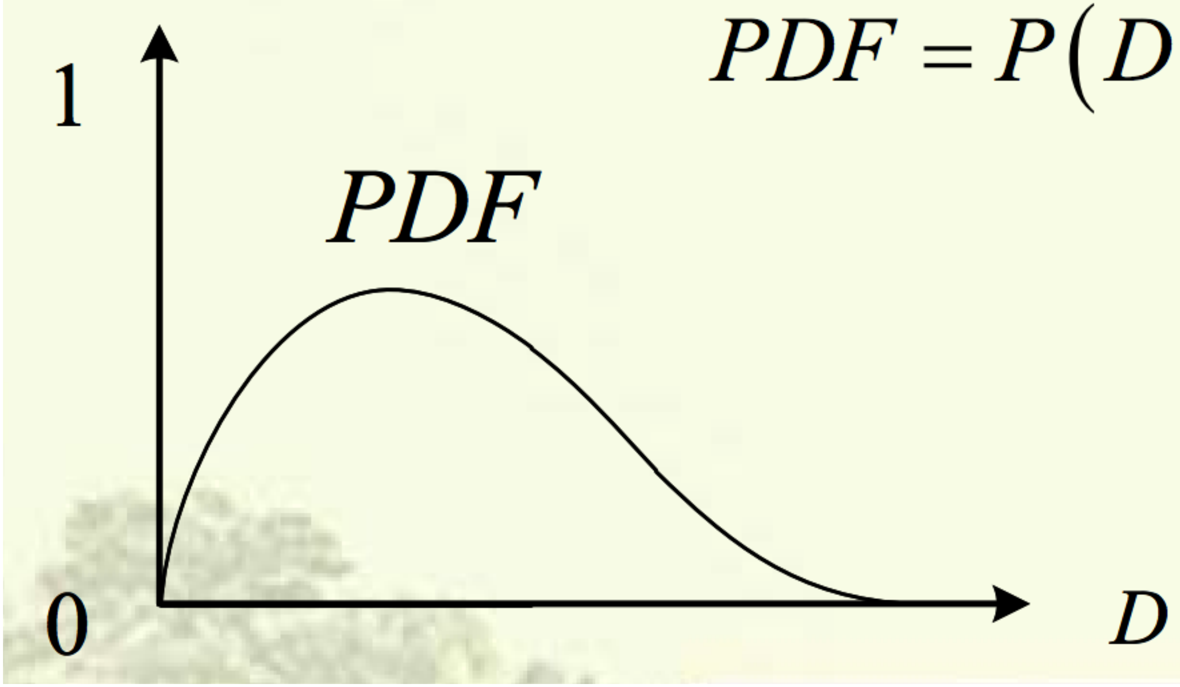




概率密度函数（PDF）

- 归一化到单位面积的直方图

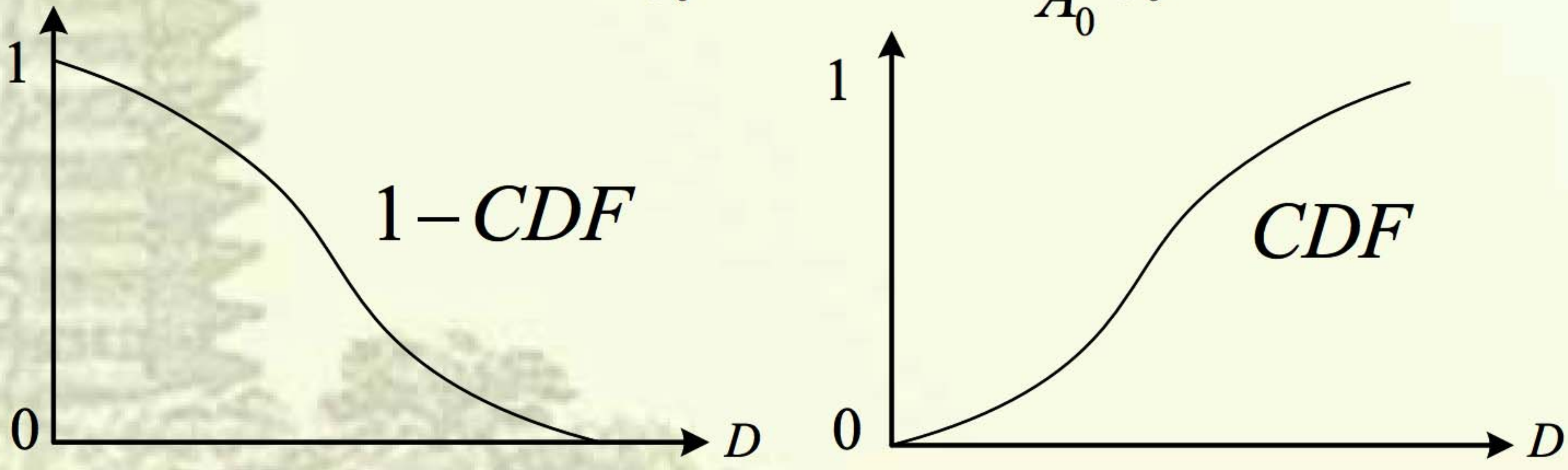
$$PDF = P(D) = \frac{1}{A_0} H(D)$$



累计分布函数（CDF）

- 归一化后灰度级≤D的轮廓线所包围的面积

$$CDF = P(D) = \int_0^D p(u)\,du = \frac{1}{A_0}\int_0^D H(u)\,du$$



定义

- 严格数学定义

$$H(D) = \lim_{\Delta D \to 0} \frac{A(D) - A(D + \Delta D)}{(D + \Delta D) - D} = \lim_{\Delta D \to 0} \frac{A(D) - A(D + \Delta D)}{\Delta D} = -\frac{d}{dD} A(D)$$

- 数字图像时，简化为

$$H(D) = A(D) - A(D+1)$$

实现

- 图像具有L（比如L=256）级灰度，大小为M*N的灰度图像f(x,y)的灰度直方图hist[0…L-1]的算法

1.初始化hist[k]=0; k=0,…,L-1

2.统计hist[f(x,y)]++; x=0,…,M-1, y =0,…,N-1

3.归一化hist[f(x,y)]/(M*N)

应用一

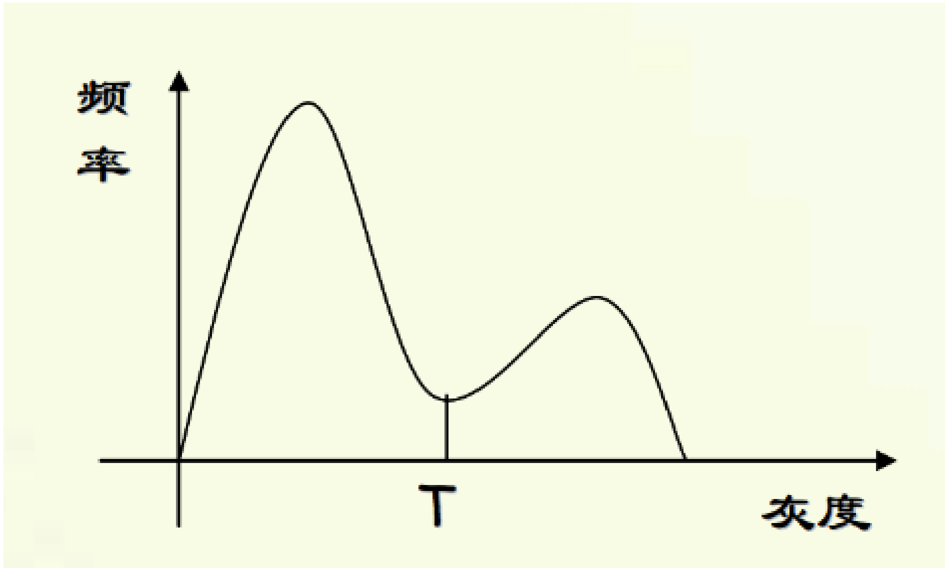
- 图像快速检测?

可以利用灰度直方图来判断一幅图像是否合理的利用了全部被允许的灰度级范围，从而及早发现数字化中出现的问题

应用二

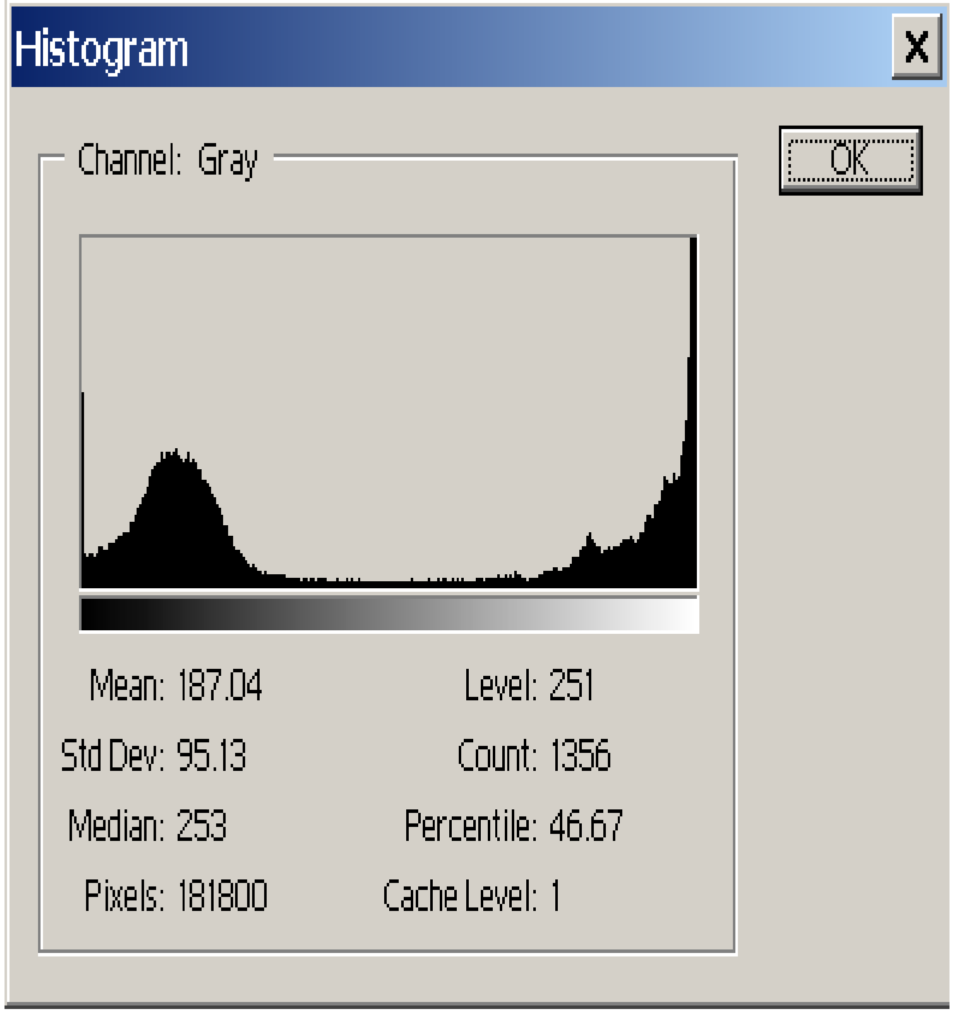
- 分割前景背景

双峰直方图



以直方图两峰之间的谷地**T**为阈值来确定边界，可把图像分为前景背景两部分

例子

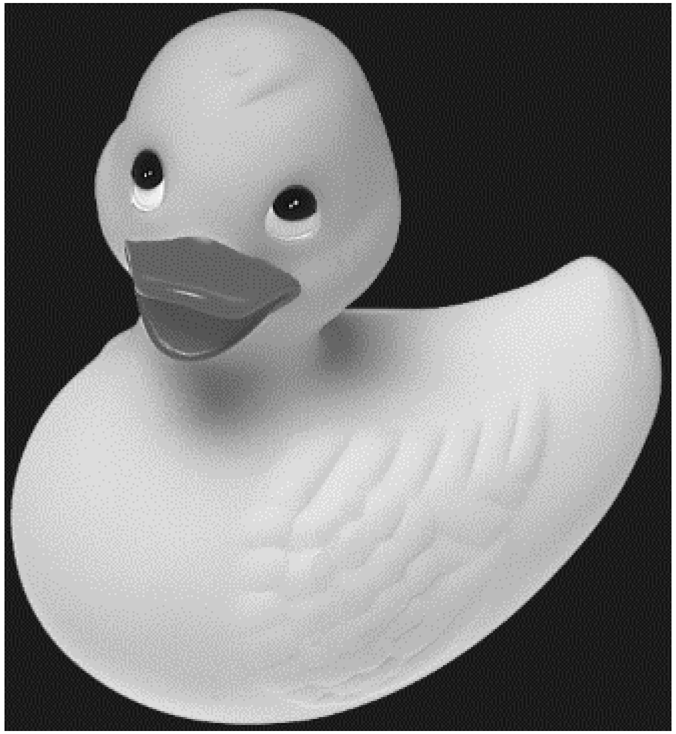

Histogram
X
Channel: Gray
OK
Mean: 187.04
Level: 251
Std Dev: 95.13
Count: 1356
Median: 253
Percentile: 46.67
Pixels: 181800
Cache Level: 1

细节

- 灰度级从115变化到144时，像素为1850，仅占图像总面积的1%。
- 因此把阈值取在115与144之间，比如130
- 如果阈值对应于直方图的谷，阈值从T增加到T+ ΔT，图像变化很小

应用三

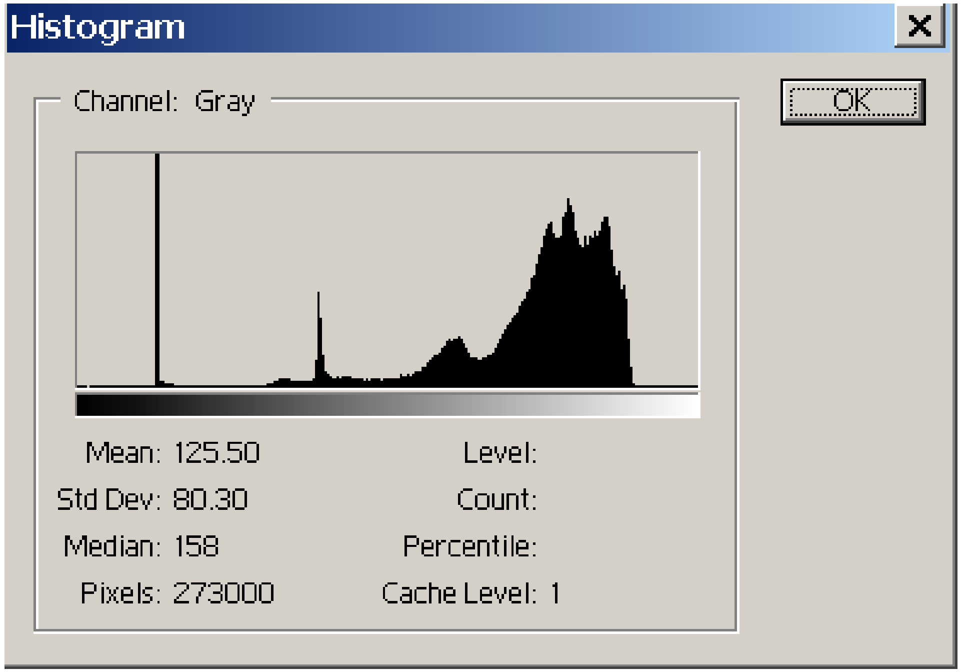
- 面积计算



请计算鸭子占整个图像的面积比例？

观察

- 图像背景灰度大体均匀一致，且背景与物体对比度很强



公式：

$$\int_{D_1}^{\infty} \mathbf{H(D)dD} = \text{物体的面积}$$

结果

- 从灰度54到255级

$$\int_{54}^{255} H(D)dD = 163001$$

- 总像素数500像素*546像素=273000
- 约占图像总面积的60%

下一章