



数字图像处理

第 3 章

空间域图象增强

前章小结

- 人眼视觉特性与成像
 - 人眼的视觉特性
 - 图像的感知与获得
- 数字图象基础
 - 成像变换、采样和量化
 - 像素之间的关系、连通性、距离度量
 - 图象运算一点运算（算术与逻辑）、区域运算
- 需要掌握的知识点
 - 人眼的视觉特性及与图像处理的关系
 - 图像质量度量的基本因素

本章主要内容

- 图像空间域增强的基本概念，
- 点处理增强：灰度变换
 - （图像反转、对数变换、幂次变换、分段线性变换）、
- 直方图统计增强
 - （均衡化、规定化）
- 算术/逻辑操作增强
- 邻域处理增强：
 - 空间邻域滤波基本概念
 - 空间平滑滤波器的均值滤波器和中值滤波器
 - 空间锐化滤波器的拉普拉斯算子和梯度算子

本章基本要求

➤ 基本要求

- 了解图象增强的目的和实际应用
- 掌握各种图象空域增强算法的基本原理、应用特点和实现方法
- 学会结合实际需求，选择合适的增强算法进行图象处理，并分析处理结果
- 通过实践环节学会利用matlab工具进行图象增强处理
- 利用编程实现数字图象的增强处理

§ 3.1 本章概述

➤ 章节说明

➤ 3.2 基本的灰度变换

➤ 反转、对数、幂次、分段线性

➤ 3.3 直方图处理

➤ 均衡、均匀化、局部增强、直方图统计

➤ 3.4 算术/逻辑操作

➤ 减法、平均

➤ 3.6 平滑空域滤波

➤ 线性、统计排序

➤ 3.7 锐化空域滤波

➤ 拉普拉斯、梯度法

➤ 3.8 混合空间增强

§ 3.1本章概述

➤ 图象增强

- 目标：改善图象质量/改善视觉效果
- 标准：相当主观，因人而异
 - 没有完全通用的标准
 - 可以有一些相对一致的准则
- 技术：“好”，“有用”需要视具体应用的结果来评价

§ 3.1本章概述

➤ 技术分类

➤ 1、根据其处理所涉及的空间不同

➤ 图象域（空域）方法，可以分为两种

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

➤ 基于像素

$$t = EH(s)$$

➤ 基于模板

$$t = EH[s, n(s)]$$

➤ 变换域（频域）方法，处理步骤如下

➤ ① 将图象从图象空间转换到频域空间

➤ ② 在频域空间对图象进行增强

➤ ③ 再将图象从频域空间转换回图象空间

$$g(x, y) = T^{-1}\{EH[T[f(x, y)]]\}$$

§ 3.1本章概述

➤2、根据其处理策略不同

- 全局的方法（整图）

- 局部的方法（子图）

➤3、根据其处理对象不同

- 灰度图象（单性质）

- 彩色图象（多性质）

§ 3.2 直接灰度变换

➤ 1. 修改灰度

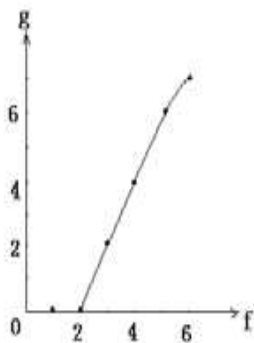
- 假定原图为 $f(x,y)$ ，改变后的图为 $g(x,y)$ 。
- 修改灰度是使用一种变换关系曲线或查表来进行 $f(x,y)$ $g(x,y)$ 的灰度变换，以实现动态范围和对比度的改变。
- 记为 $g = T[f]$ ，目的是找变换关系 T 。

§ 3.2 直接灰度变换

➤ 修改灰度以期改变对比度和动态范围的简单例子

f	g
0	0
1	0
2	0
3	2
4	4
5	6
6	7
7	7

3	3	4	4
2	3	4	5
2	3	4	5
2	3	4	5



2	2	4	4
0	2	4	6
0	2	4	6
0	2	4	6



左为值, 右为图; 上为原始图, 下为变换结果
变换表和变换曲线

§ 3.2 直接灰度变换

➤ 2. 简单变换

➤ 反转图

➤ 规范化 (normalization)

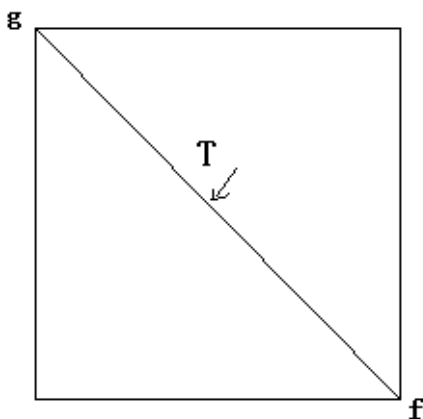
➤ 非线性调整动态范围 (对数、指数)

➤ 灰度级分割 (分段线性)

§ 3.2 直接灰度变换

■ 反转图

- 求反转图相当于在照相底片和印像之间变换。变换曲线是一条直线



➤ 举例

➤ 原图



➤ 反转图



§ 3.2 直接灰度变换

➤ 规范化

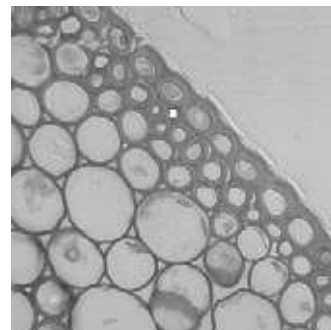
(normalization)

- 规范化是将原动态范围从 f_{\min} — f_{\max} 改变成0-255。也即进行线性变换，将动态范围扩大。公式如下：

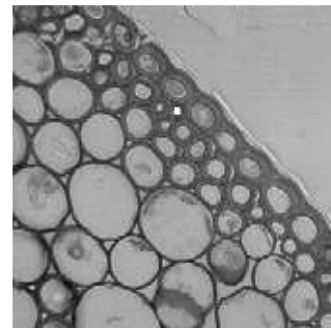
$$g(x, y) = \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \times 255$$

■ 举例

■ 原图



■ 规范化



§ 3.2 直接灰度变换

➤ 压缩动态范围

➤ 需求:

- 现代CCD相机的灰度级可达18 bits，而一般显示器的动态范围只有8 bits（0-255），打印纸上则更低。
- 图象的傅里叶频谱动态范围很大，无法直接观看。

➤ 压缩方法

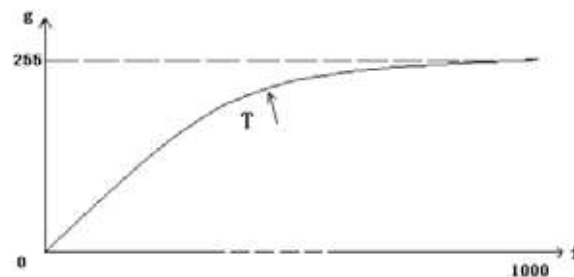
- 一般采用对数方式来压缩，即： $g = c \log(1 + f)$
 - 其中c为常数，使得g的范围为0—255。

“1”的作用是防止
 $\log 0$ 无意义

➤ 举例

➤ 变换函数

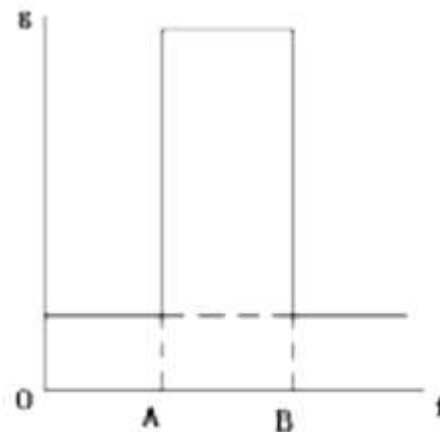
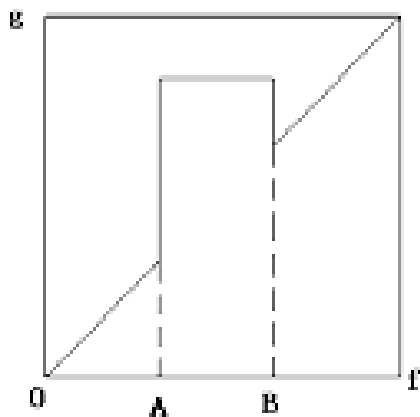
- 注意观看频谱



§ 3.2 直接灰度变换

➤ 灰度级分割

➤ 感兴趣的灰度为A-B，对这一区域灰度增强



其他像素灰度不变

其他灰度范围的像素灰度取低值

§ 3.2 直接灰度变换-实践与问题

➤ matlab工具实践

➤ 数字图像的灰度分布

➤ imhist

➤ 灰度范围的线性调整

➤ imadjust

➤ 灰度范围的非线性调整

➤ Imadjust, 灰度变换按照gamma曲线

➤ 彩色图像的范围调整

➤ 变换的目的是增加目标的可识别性

➤ 现实中, 有些目标已经消失在量化误差中

➤ 量化前的灰度变换是有意义的。

§ 3.3直方图处理

灰度统计直方图

$$H(k) = n_k$$

1-D的离散函数

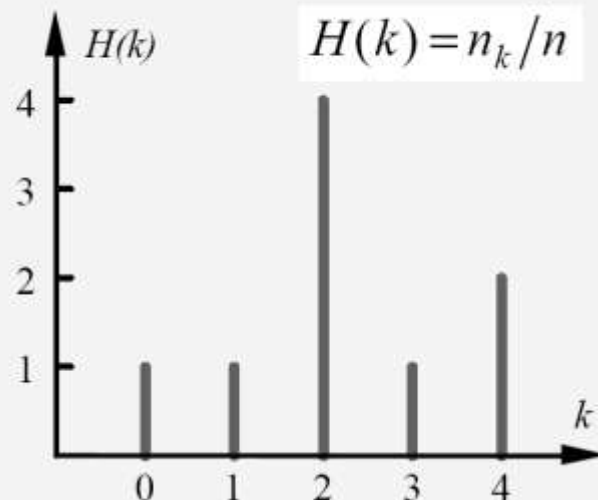
提供了图象像素的灰度值分布情况

计算:

设置一个
有 L 个元素的数
组，对原图的灰
度值进行统计

4	0	3
2	4	1
2	2	2

$$n = 9$$
$$L = 5$$



§ 3.3 直方图处理

➤ 直方图的意义

➤ 反应图象的灰度分布情况

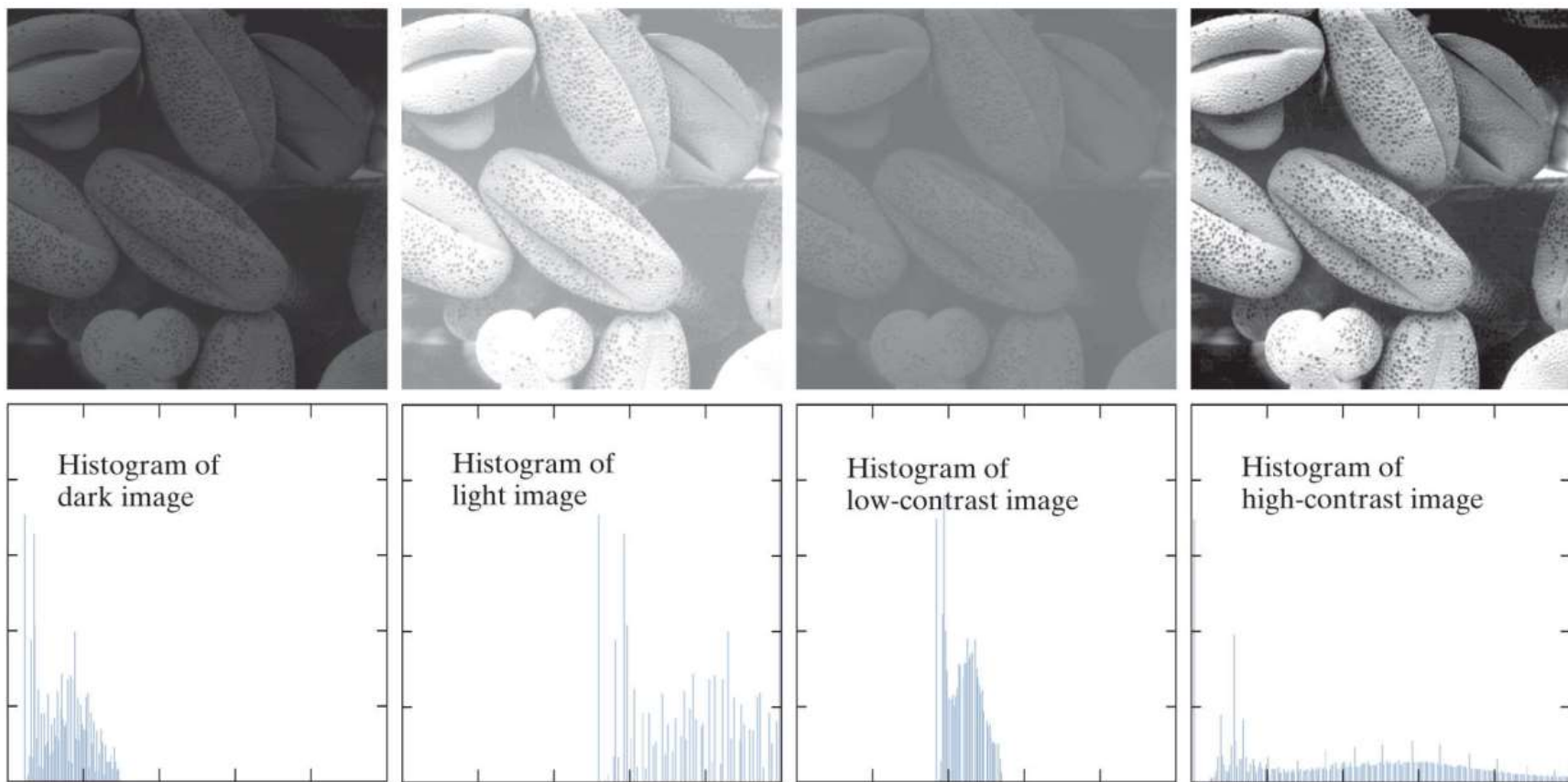
- 低端分布的直方图，图象较暗
- 高端分布的直方图，图象太亮
- 直方图分布狭窄，图象对比度不够
- 直方图的多个峰值，一般对应多类目标

➤ 指出图象增强处理的方向

- 直方图的均衡化
 - 均匀分布的直方图，扩大动态范围，增大图象对比度
- 直方图的规定化
 - 符合特定分布的直方图，有目的的增强感兴趣目标

§ 3.3 直方图处理

► 不同类型直方图



§ 3.3 直方图处理



➤ 1、直方图均衡化

➤ 借助直方图变换实现（归一的）灰度映射

➤ 均衡化（线性化）基本思想

➤ 变换原始图象的直方图为均匀分布

➤ ==> 大动态范围

➤ 使像素灰度值的动态范围最大

➤ ==> 增强图象整体对比度（反差）

§ 3.3 直方图处理

➤ 增强函数需要满足的条件

➤ (1) $EH(s)$ 在 $0 \leq s \leq L-1$ 范围是单值单增函数,

➤ 各灰度级在变换后仍保持排列次序, 不能颠倒黑白

➤ (2) 对于 $0 \leq s \leq L-1$, 有 $0 \leq EH(s) \leq L-1$

➤ 变换前后灰度值动态范围一致, (可推广到范围可指定)

➤ 累积直方图可以满足上述条件

§ 3.3 直方图处理

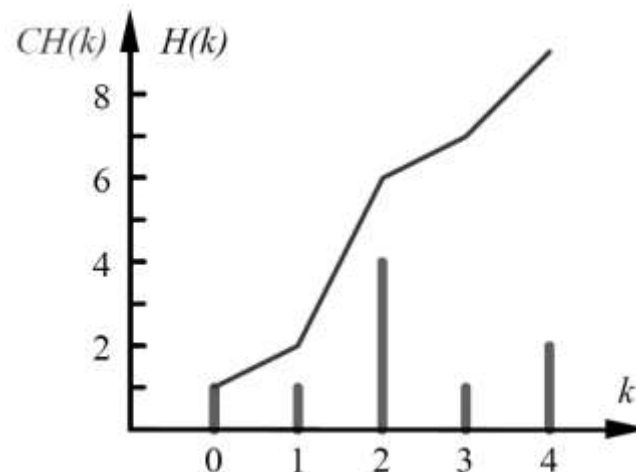
➤ 累计直方图介绍

➤ 累积直方图函数

➤ 举例表示

4	0	3
2	4	1
2	2	2

$$\begin{aligned}n &= 9 \\L &= 5\end{aligned}$$



➤ 直方图概率表示

$$p_s(s_k) = \frac{n_k}{n}$$

$$0 \leq p_s(s_k) \leq 1$$

$$k = 0, 1, \dots, L-1$$

➤ 累计直方图概率表示

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

§ 3.3 直方图处理

➤ 变换思路

➤ 根据累积直方图

- 整个区间划分为与原图像相同的灰度层次 $[0, L-1]$
- t_k 表示第 k 个层次的灰度值，它是 k 的单值单增函数
- 根据CDF可以将 s 的分布转换为 t 的均匀分布

➤ 均衡化的实施方法

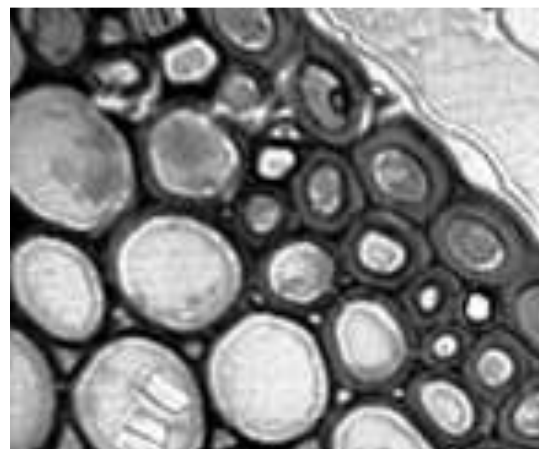
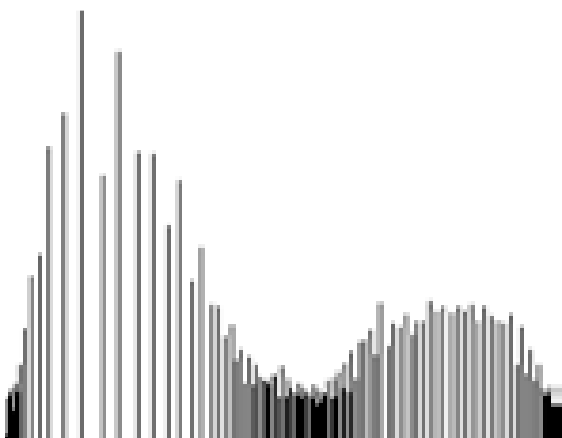
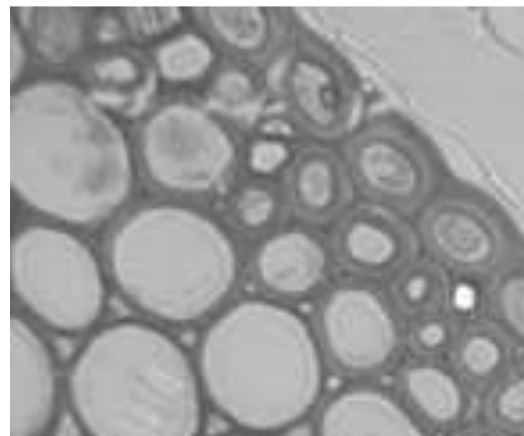
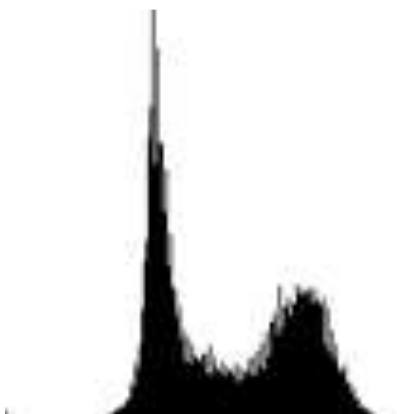
- 根据图象的直方图，得到累积直方图
- 通过累积直方图进行均匀化灰度重分配
- 根据确定的灰度变换关系，对全图进行灰度变换

§ 3.3 直方图处理

序号	运算	步骤和结果							
1	列原图灰度 s_k , $k=0,1,\dots,7$	0	1	2	3	4	5	6	7
2	统计各灰度像素 y_k	790	1023	850	656	329	245	122	81
3	计算直方图	0.19	0.25	0.21	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02
4	计算累计直方图CDF	0.19	0.44	0.65	0.81	0.89	0.95	0.98	1
5	取整 $t_k = \text{int}[(L-1)\text{CDF} + 0.5]$	1	3	5	6	6	7	7	7
6	映射关系 $s_k \rightarrow t_k$	$0 \rightarrow 1$	$1 \rightarrow 3$	$2 \rightarrow 5$	$3, 4 \rightarrow 6$		$5, 6, 7 \rightarrow 7$		
7	新灰度下的像素 y_k		790		1023		850	985	448
8	新直方图		0.19		0.25		0.21	0.24	0.11

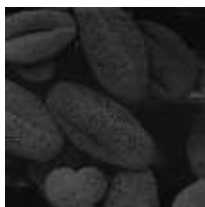
§ 3.3直方图处理

➤ 直方图均衡举例

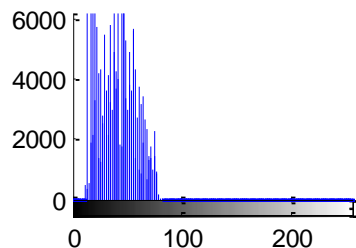


§ 3.3直方图处理

原图



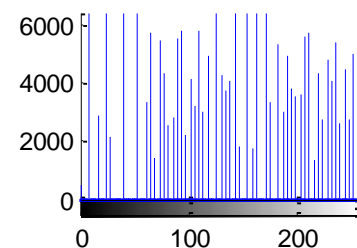
原图直方图



直方图均衡



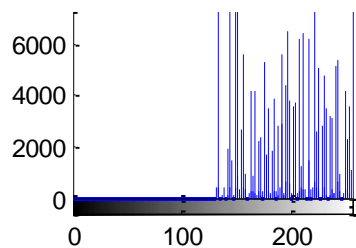
均衡后直方图



原图



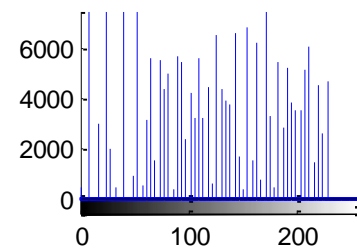
原图直方图



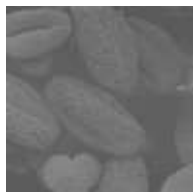
直方图均衡



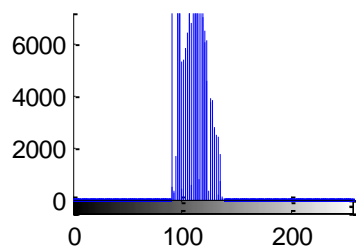
均衡后直方图



原图



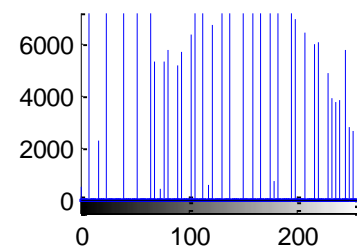
原图直方图



直方图均衡



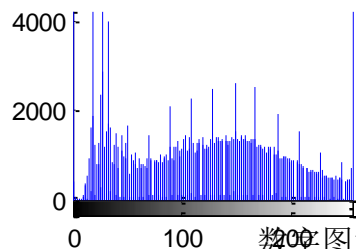
均衡后直方图



原图



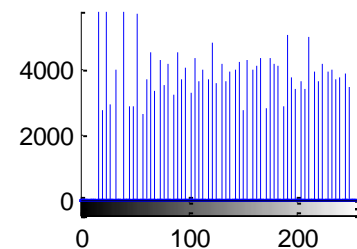
原图直方图



直方图均衡



均衡后直方图

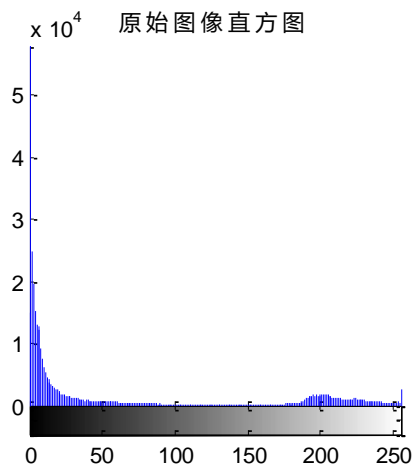


§ 3.3直方图处理-均衡效果不理想

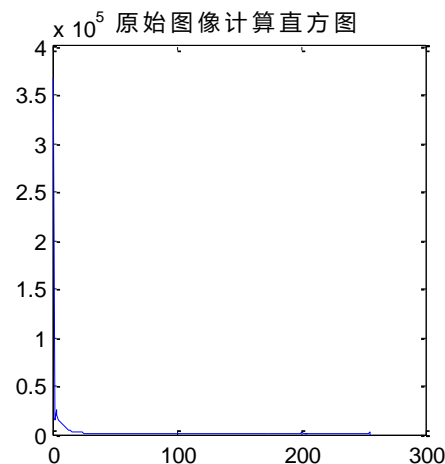
原始图像



原始图像直方图



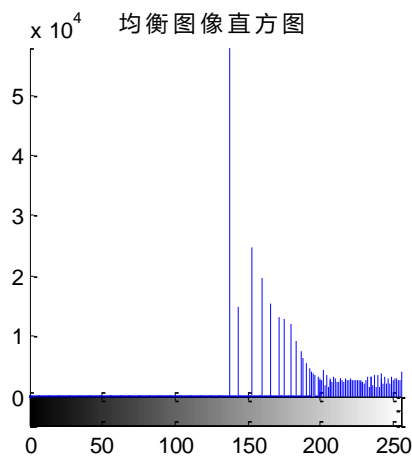
原始图像计算直方图



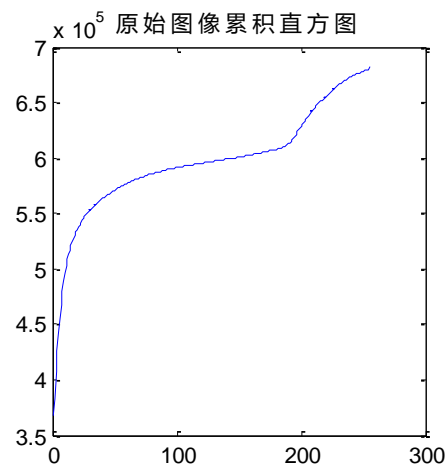
直方图均衡图像



均衡图像直方图



原始图像累积直方图



§ 3.3 直方图处理

➤ 2、直方图规定化

➤ 借助直方图变换实现规定/特定的灰度映射

➤ 处理方法

➤ (1) 对原始直方图计算灰度累积直方图

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

➤ (2) 对规定化直方图，计算灰度累积直方图

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

➤ (3) 通过累积直方图的对应关系，得到灰度映射关系

§ 3.3 直方图处理

➤ 映射规则

➤ 两种映射规则，找到满足映射误差最小的方案

(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)

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

§ 3.3 直方图处理

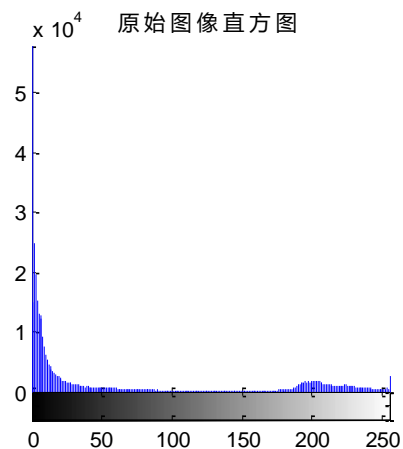
序号	运算	步骤和结果							
1	列原图灰度 $s_k, k=0,1,\dots,7$	0	1	2	3	4	5	6	7
2	统计各灰度像素 y_k	790	1023	850	656	329	245	122	81
3	计算直方图	0.19	0.25	0.21	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02
4	计算累计直方图CDF- t_k	0.19	0.44	0.65	0.81	0.89	0.95	0.98	1
5	规定直方图	0	0	0	0.2	0	0.6	0	0.2
6	规定累计直方图CDF- u_k	0	0	0	0.2	0.2	0.8	0.8	1
7s	SmL映射 (最小化 u_k-t_k)	3	3	5	5	5	7	7	7
8s	确定映射关系	0, 1→3		2, 3, 4→5			5, 6, 7→7		
9s	变换后直方图	0	0	0	0.44	0	0.45	0	0.11

§ 3.3直方图处理

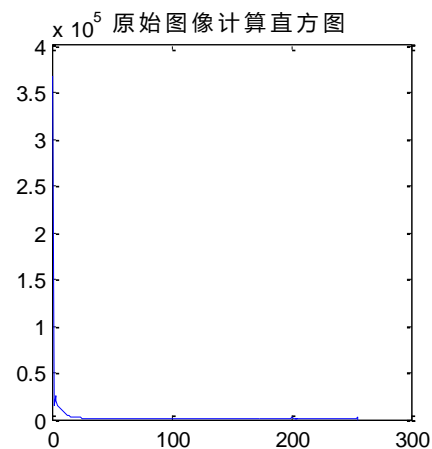
原始图像



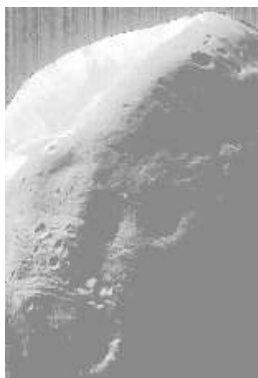
原始图像直方图



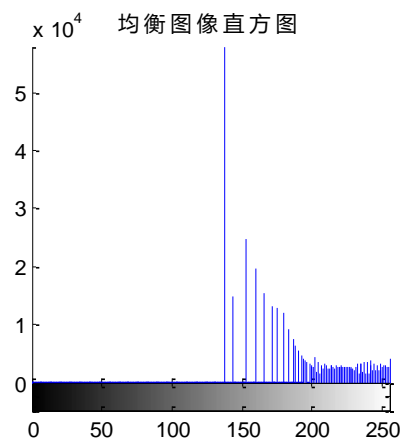
原始图像计算直方图



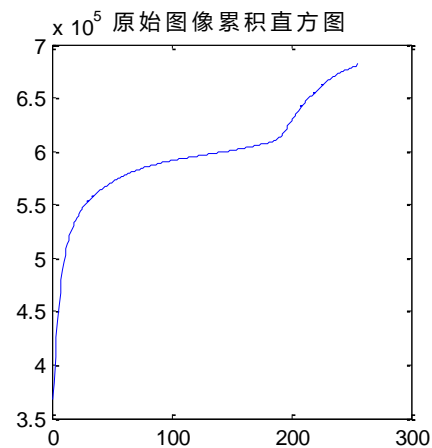
直方图均衡图像



均衡图像直方图



原始图像累积直方图

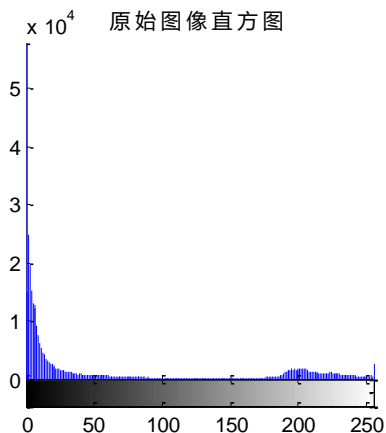


§ 3.3直方图处理

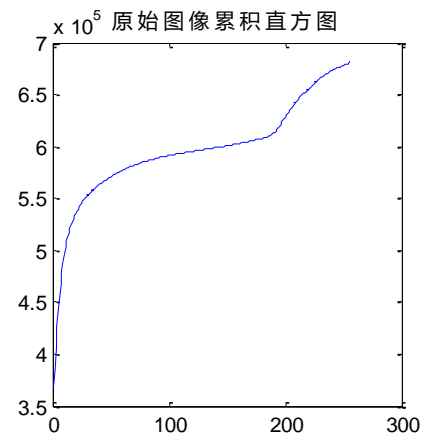
原始图像



原始图像直方图



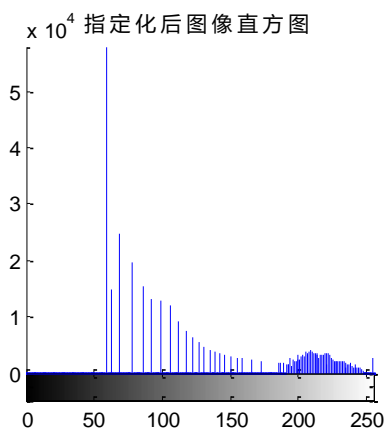
原始图像累积直方图



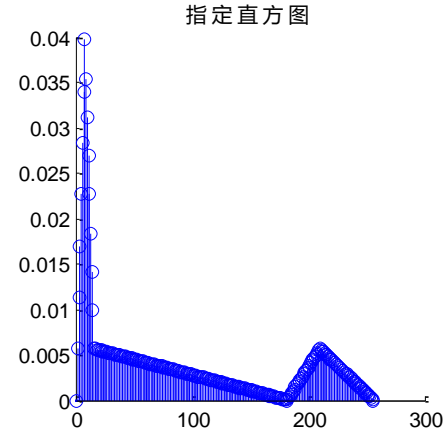
直方图指定化后图像



指定化后图像直方图



指定直方图



§ 3.3直方图处理

- 直方图规定化vs. 直方图均衡化
 - 直方图均衡化： 自动增强
 - 效果不易控制
 - 总得到全图增强的结果
 - 直方图规定化： 有选择地增强
 - 须给定需要的直方图
 - 可特定增强的结果

§ 3.3 直方图处理

- 直方图处理需要说明的问题
 - 量化的数据表示使得处理的结果只能近似达到希望的目的
 - 处理的手段是合并相近的灰度层次
 - 实质上丢掉了细节信息
 - 直方图处理能获得改善视觉效果的作用
 - 但是，对计算机识别分类而言是有一定的不良影响

§ 3.3 直方图处理

- 直方图处理的matlab实践与问题
 - 直方图函数
 - 直接计算直方图均衡
 - 自定义指定直方图进行规定化
- 问题
 - 直方图均衡增加图像对比度，损失原图像灰度级别数，牺牲了反差小的目标的识别性
 - 灰度级别不多的情况下，均衡后会产生类似于量化误差的虚假轮廓，要改善视觉效果还需要对虚假轮廓进行处理。

§ 3.3 直方图处理

➤ 3.局部增强

➤ 全局图像增强

- 损失局部的灰度细节

➤ 局部增强的应用需求

- 局部细节需要突出
- 缓慢背景灰度变化影响需要消除

➤ 局部增强实现

- 局部邻域确定（窗口）
- 窗口移动
 - 逐个像素（效果好）
 - 非重叠（效率高）

§ 3.3 直方图处理

➤ 处理结果

- 1. 突出细节：大暗框中的小暗框
- 2. 汽车轮胎影像处理结果

原始图像



直方图均衡图像



自适应直方图均衡图像



§ 3.3 直方图处理

➤ 4. 图像增强中使用直方图统计

➤ 直方图是一个统计特征

➤ 可以直接导出均值和方差

➤ 均值：图像的背景亮度

➤ 方差：图像的对比度

➤ 局部与全局的统计特性

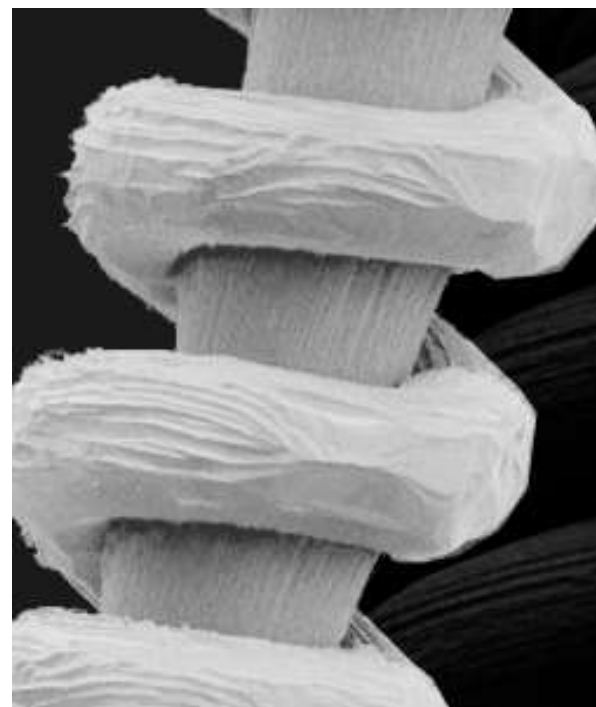
➤ 突显局部统计特性用于增强

➤ 应用案例

➤ 比较局部和全局的统计特性

➤ 重点增强区域

➤ 局部背景亮度低，局部对比度低



§ 3.4 图像间运算



- 1. 去除噪声-利用多幅图像相加
 - 假设：噪声在空间位置上互不相关
- 2. 差异检测-利用多幅图像相减
 - 要求：多幅图像之间位置准确对应
- 3. 区域选择-利用多幅图像相乘
 - 逻辑运算，制作感兴趣区域为1的掩膜图像

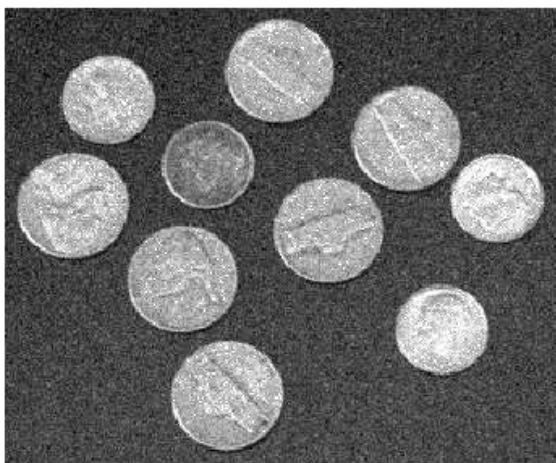
§ 3.4 图像间运算

► 图像平均去噪（多图像相加）

原始图像



受到噪声影响的图像



8图相加处理后的



§ 3.4 图像间运算

➤ 图像相减，检测差异



§ 3.5 空域滤波增强

- 关于空域滤波的考虑：
 - 空域滤波算法的构思
 - 以平滑滤波为例
 - 平滑的主要目标是去除噪声
 - 平滑的附加要求是保护图像信息的细节
 - 保边缘的平滑滤波算法算法
 - 邻域平均
 - 基于噪声估计的平均、基于边缘估计的平均
 - 邻域中值
 - 多窗口中值、加权中值

§ 3.5 空域滤波分类

➤ 在图象空间借助模板进行邻域操作

➤ 分类1:

- (1) 线性：如邻域平均
- (2) 非线性：如中值滤波

➤ 分类2:

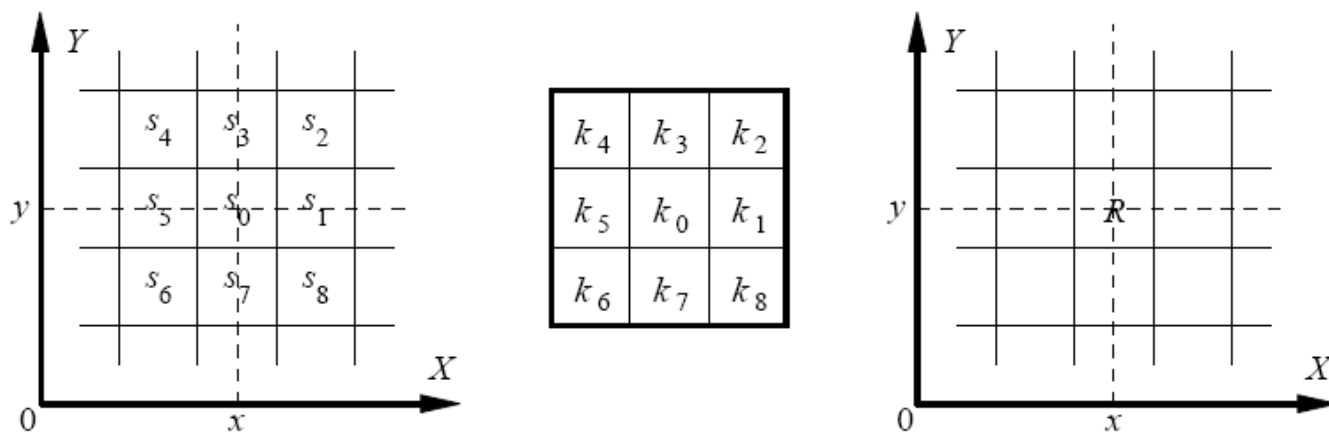
- (1) 平滑：模糊，消除噪声
- (2) 锐化：增强被模糊的细节

功能 \ 特点	线性	非线性
平滑（低通）	G1	G2
锐化（高通）	G3	G4

§ 3.5 空域滤波原理

➤ 滤波器实现方法——邻域加权运算

- 可以用空间掩模来对图象进行空间滤波，处理图象的高频、低频和特殊频段的分量。
- 所谓“掩模”就是一个窗口，作为象素变换的模板，并表示了变换关系。掩模本身就是空间滤波器。



$$R = k_0 s_0 + k_1 s_1 + \dots + k_8 s_8$$

§ 3.5空域滤波原理

➤ 用空间掩模实现空间滤波

➤ 对于图象中的任何一点，将掩模放在该位置上，则该点进行变化之后将由新值**R**代替，其中

$$➤ R = k_0s_0 + k_1s_1 + \dots + k_8s_8$$

➤ 如果掩模遍历图象中的全部点则可以产生变换后的新图。

➤ 由 k_i 值的不同可以将其称为低通或高通等等。

➤ 掩模计算的过程，也就是数学上离散卷积的过程

$$g(m,n) = f(m,n) * h(m,n)$$

其中： $f(x,y)$ 为原图， $h(x,y)$ 为处理模板， $g(x,y)$ 为滤波结果

3.5空域滤波原理

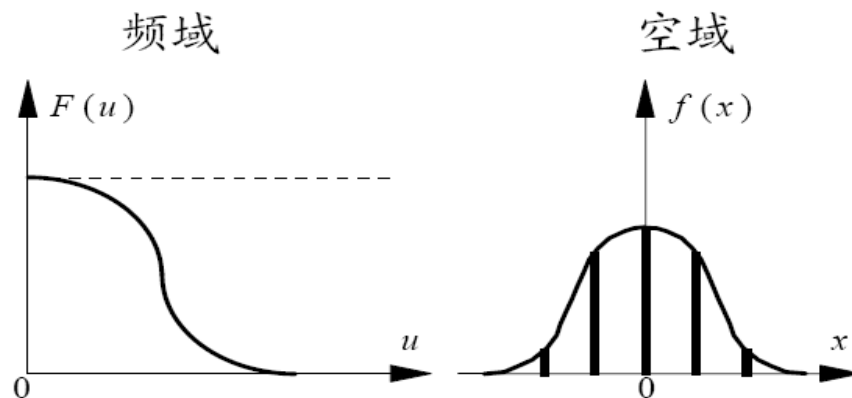
➤ 空间滤波概述

- 空间滤波处理图象中不同频率的分量。
 - 图象中的高频分量对应图中灰度急剧变化的区域，
 - 低频分量对应灰度变化平缓的区域。
- 低通滤波器：可以减弱噪声，使图更平滑，但同时降低图象的清晰度。
- 高通滤波器：使得图中的边缘和细节更清晰，但噪声也随之被强化。

§ 3.6 平滑滤波器

➤ 原理

- 减弱或消除高频分量，保留低频分量
- 平滑处理往往用于图象分割之前，因为它可以去除噪声也可以填补图象边缘中的间隙，有利于从图象中找出目标。



§ 3.6 平滑滤波器

➤ 1、线性平滑滤波器（G1）

➤ 系数都是正的（中心系数大，周围系数小）

➤ 保持灰度值范围（所有系数之和为1）

➤ 例：邻域平均

$$z = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} k_i s_i$$

k_4	k_3	k_2
k_5	k_0	k_1
k_6	k_7	k_8

1	1	1
1	1	1
1	1	1

§ 3.6 平滑滤波器

➤ 1.1 不同窗口情况

原始图像



3X3八邻域平均去噪



5X5八邻域平均去噪



7X7八邻域平均去噪



§ 3.6 平滑滤波器

➤ 平均去噪和高斯模板去噪

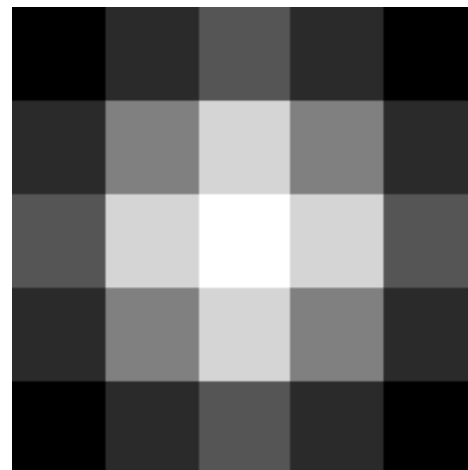
3X3四邻域平均去噪



5X5邻域高斯去噪



5X5邻域高斯模板



§ 3.6 平滑滤波器

➤ 1.2 平滑滤波的边缘保持

➤ 1.2.1 带门限的邻域平均

➤ 思想：有噪声就进行邻域平均去噪，无噪声不处理

➤ 如何判断噪声存在

➤ 简单门限判定

➤ 被处理像素的灰度与邻域均值的差别不大，认为噪声不存在，或可以容忍，不作处理；反之用邻域均值取代原像素灰度

$$g(m, n) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{(i, j) \in S} f(i, j), & \left| f(m, n) - \frac{1}{N} \sum_{(i, j) \in S} f(i, j) \right| > T \\ f(m, n), & \text{其他} \end{cases}$$

§ 3.6平滑滤波器

➤ 1.2.2半邻域平均

➤思想：判断邻域中有无边缘，没有边缘，可以不担心细节信息被平滑，被处理像素灰度采用全邻域均值；否则，根据邻域中的目标信息为被处理像素赋值

➤如何判断边缘是否存在：

- 邻域中8个邻点像素分为2组，灰度值小的3个A组，其他B组
- 两组之间灰度差别大，认为有边缘，否则无边缘

➤算法：

- 对P点的邻点 A_i 灰度排序，分为A、B两组
- 计算A组均值 M_3 ，B组加P点均值 M_6 和全邻域均值N
- 根据预设门限T，被处理像素的新灰度为

$$g(m, n) = \begin{cases} N, & |M_6 - M_3| \leq T \\ M_6, & |M_6 - M_3| > T \end{cases}$$

A_3	A_2	A_1
A_4	P	A_0
A_5	A_6	A_7

§ 3.6平滑滤波器

➤ 2、非线性平滑滤波器（G2）-统计排序滤波

➤ 邻点平均滤波有损于图的清晰度。中值滤波器可做到只去除噪声而不使原图清晰度变坏。

➤ 原理：将一个窗置于感兴趣点之上，将窗中所有邻点灰度值排序，变换后在该感兴趣点上的灰度值将由邻点排序后的中值代替。

➤ 中值滤波窗口形状

➤ 3X3窗口、5X5窗口

➤ +字窗口、X字窗口、正方形窗口

§ 3.6平滑滤波器

► 中值滤波对比

原始图像



3X3八邻域平均去噪



3X3中值滤波去噪



§ 3.6 平滑滤波器

低通滤波与中值滤波比较

原图



噪声图



低通
滤波
图

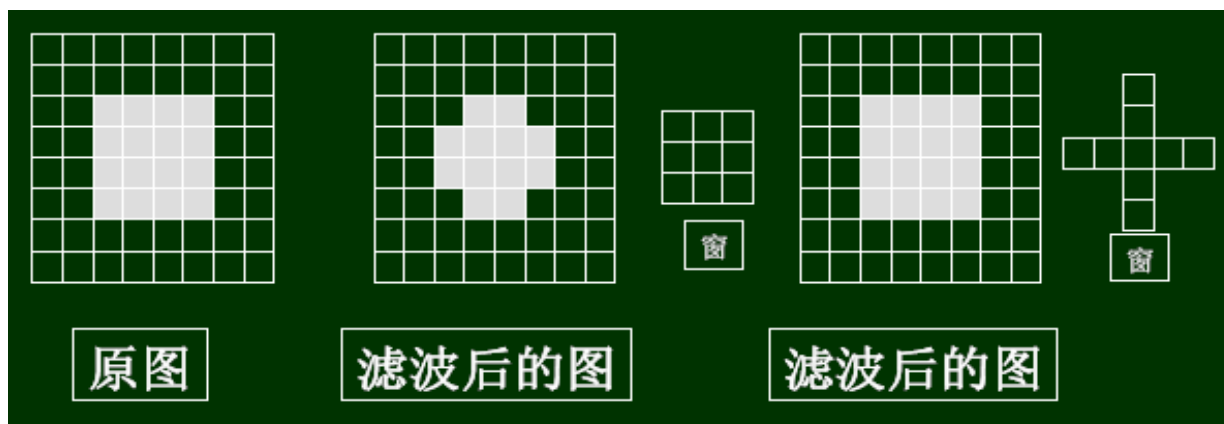


中值滤
波图



§ 3.6 平滑滤波器

➤ 中值滤波结果与窗口形状有关

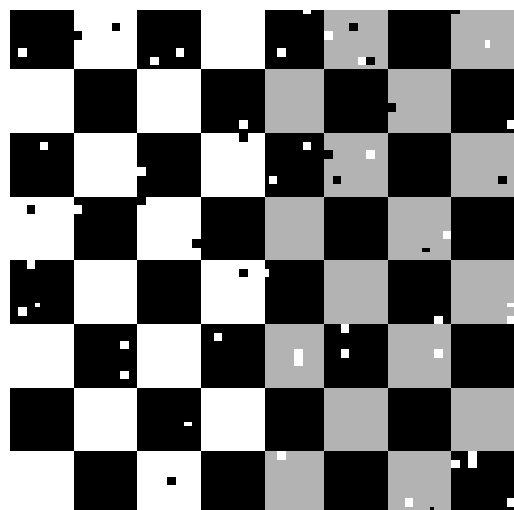


➤ 如何自适应选择窗口形状，减少滤波对形状变化的影响？

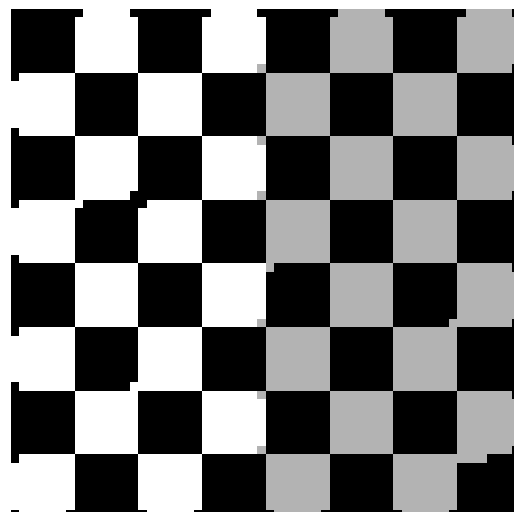
§ 3.6 平滑滤波器

► 中值滤波对边界的变形

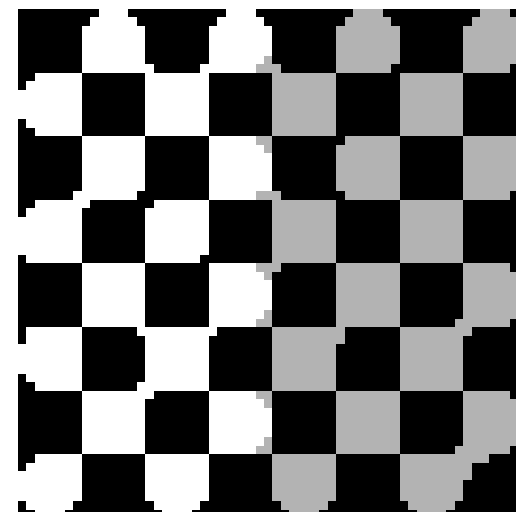
原始图像



3X3中值滤波去噪



5X5中值滤波去噪



§ 3.6 平滑滤波器

➤ 多窗口中值滤波

- 计算以 $P(x,y)$ 为中心的3X3十字形窗口内像素的中值

$$md_1 = \text{Median}\{b, d, f, h, P\}$$

a	b	c
h	P	d
g	f	e

- 计算以 $P(x,y)$ 为中心的3X3 X字形窗口内像素的中值

$$md_2 = \text{Median}\{a, c, e, g, P\}$$

- 计算9点平均 $av = \frac{1}{9}(a + b + c + \dots + h + P)$

- 计算差值

$$\Delta_1 = md_1 - P(m, n)$$

$$\Delta_2 = md_2 - P(m, n)$$

$$\Delta_3 = P(m, n) - av$$

• 两种形状的窗口，更接近目标的形状
• 像素灰度低，目标与中值较小的窗口形状近似
• 像素灰度高，目标与中值较大的窗口形状近似

- 处理后像素的新值

$$g(m, n) = \begin{cases} md_1, & \Delta_1 = \Delta_2 \\ \max(md_1, md_2), & \Delta_1 \neq \Delta_2, \Delta_3 \geq 0 \\ \min(md_1, md_2), & \Delta_1 \neq \Delta_2, \Delta_3 < 0 \end{cases}$$

§ 3.6 平滑滤波器

百分比（percentile）滤波器

中值滤波器是一个特例

最大值 $g_{\max}(x, y) = \max_{(s, t) \in S_{xy}} \{f(s, t)\}$

最小值 $g_{\min}(x, y) = \min_{(s, t) \in S_{xy}} \{f(s, t)\}$

锐化变换

$$S(x, y) = \begin{cases} g_{\max}(x, y) & \text{if } g_{\max}(x, y) - f(x, y) \leq f(x, y) - g_{\min}(x, y) \\ g_{\min}(x, y) & \text{otherwise} \end{cases}$$

取图像里面的最亮点

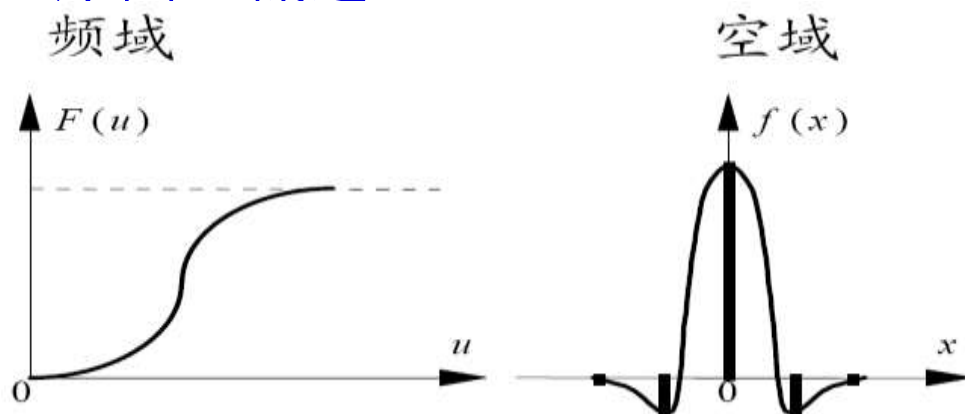
取图像里面的最暗点

取图像里面的极端点，锐化作用

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 原理

- 减弱或消除低频分量，保留高频分量，又称高通滤波器
- 把低通滤波器的概念用到高通中来。如果从图象中除去低频分量剩下的就是高频分量了，即
 - 高通 = 原图 - 低通



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 1、线性锐化滤波器（G3）

- 中心系数为正，周围系数为负
- 输出平均值为零
- 灰度变换到 $[0, L - 1]$ 便于显示
- 最简单的锐化（高通）滤波模板

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} - \frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 3×3 高通滤波的掩模示例

$\frac{1}{9}$	-1	-1	-1
	-1	8	-1
	-1	-1	-1



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 高频提升

- 如果把高通滤波的结果加到原图乘以一个系数后的图中去，其结果是原图中的低频信号没有完全除去，高频信号有了一定程度的增加。因而称为高频提升。
- $\text{高频提升} = \text{参数} \times \text{原图} + \text{高通}$
- 如果参数=0就还原成高通。如果 >0 ，则部分低频保留而高频得到了加强。
- 高频提升的方法是提高打印质量和出版业经常用到的工具。

§ 3.7 锐化滤波器

高频提升

原图



0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

1	-2	1
-2	5	-2
1	-2	1



$\frac{1}{7}$	-1	-2	-1
	-2	19	-2
	-1	-2	-1

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 前面所提模板的检测情况

原始图像



模板 1



模板 2

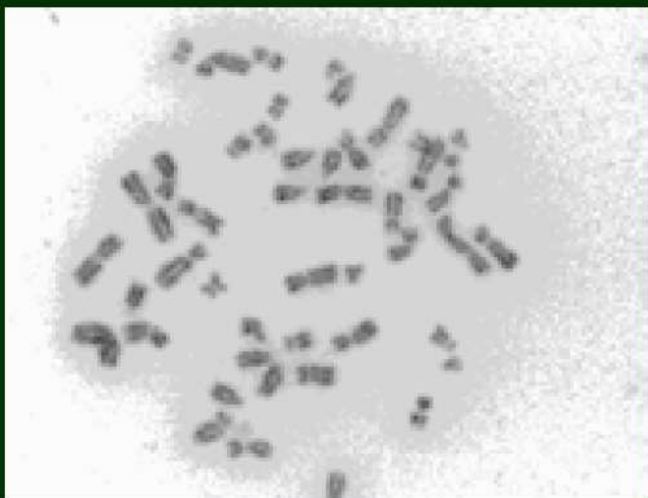


模板 3

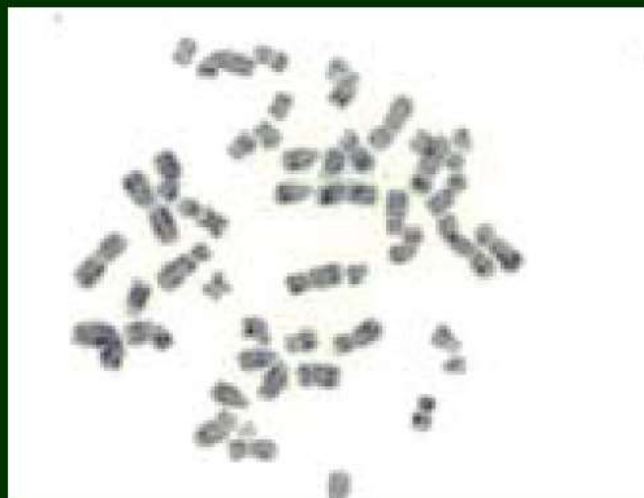


§ 3.7 锐化滤波器

高频提升示例



原图



高频提升后的图

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 2、非线性锐化滤波器（G4）

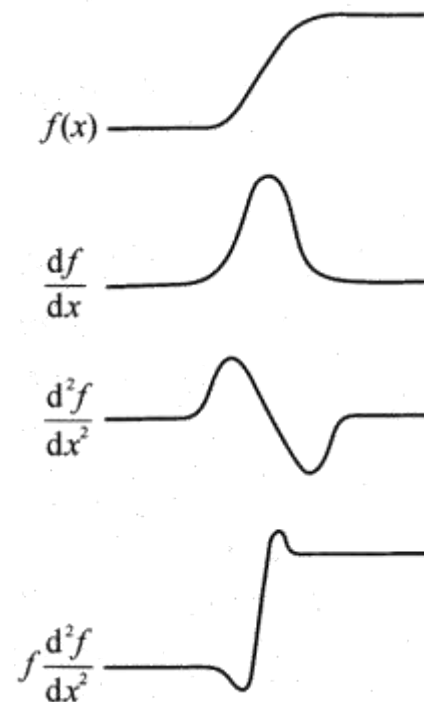
- 邻点平均的滤波效果使图象模糊。它是邻点灰度值相加的结果，可类比为积分，那么可以期待求邻点差分—微分将产生正好相反的效果。
- 最常见的微分方法是求梯度，因而微商滤波器也经常就是**梯度滤波器**。
 - （需要用2个模板分别沿 x 和 y 方向计算）

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}^T \quad \frac{\partial f}{\partial x} = f(x, y) - f(x-1, y)$$

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 2.1 锐化模板的概念

- 一维波形的锐化
- 一阶微分和二阶微分处理的特点
 - 一阶微分产生较宽的边界
 - 二阶微分对细节的响应强烈
 - 一阶微分对灰度阶梯响应强烈
 - 二阶微分对灰度阶梯产生双响应
- 锐化处理一般采用二阶微分
- 一阶微分在图像处理中主要用于边界提取



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 二维图像的差分

➤ 需要分别考虑水平和垂直两个方向

阶数	方向	差分
一阶	水平方向	$f(x,y)-f(x+1,y)$
	垂直方向	$f(x,y)-f(x,y+1)$
二阶	水平方向	$-f(x+1,y)+2f(x,y)-f(x-1,y)$
	垂直方向	$-f(x,y+1)+2f(x,y)-f(x,y-1)$

➤ 综合得到二阶微分（拉普拉斯算子）

$$\nabla^2 f(x, y) = 4f(x, y) - f(x+1, y) - f(x-1, y) - f(x, y+1) - f(x, y-1)$$

$$\nabla^2 f(x, y) = -4f(x, y) + f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)$$

➤ 锐化的算法

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - \nabla^2 f(x, y) & \text{模板中心系数为负} \\ f(x, y) + \nabla^2 f(x, y) & \text{模板中心系数为正} \end{cases}$$

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 2.2 梯度运算可以编成模板

➤ 4邻域模板

➤ 水平方向

0	0	0
-1	2	-1
0	0	0

垂直方向

0	-1	0
0	2	0
0	-1	0

综合

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

锐化

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

➤ 8邻域扩展模板

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

高频提升

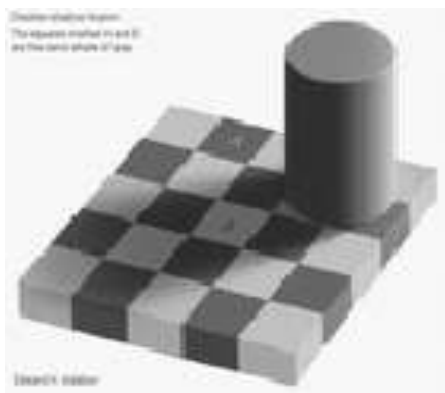
-1	-1	-1
-1	A+8	-1
-1	-1	-1

- $A=1$, 锐化处理
- $A>1$, 高频提升
- A 足够大, 灰度常数扩展

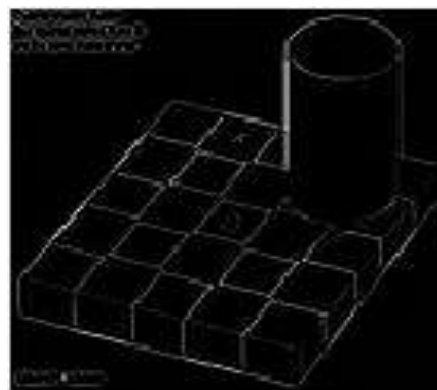
§ 3.7 锐化滤波器

➤ 拉普拉斯算子锐化结果

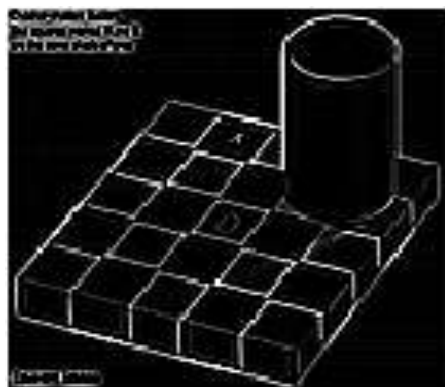
原始图像



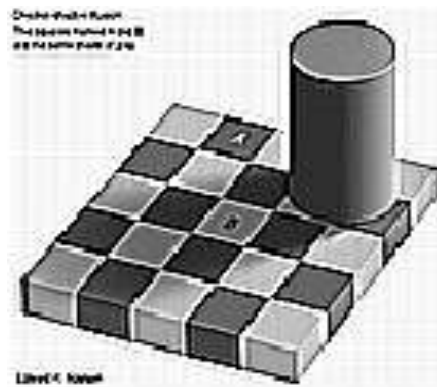
4邻域拉普拉斯边界检测



8邻域拉普拉斯边界检测



8邻域拉普拉斯边界增强



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 几种典型梯度模板

-1	0
0	1

-1	0
0	1

Roberts

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Prewitt

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel

5	5	5
-3	0	-3
-3	-3	-3

-3	5	5
-3	0	5
-3	-3	-3

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

-3	-3	-3
-3	0	5
-3	5	5

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

5	-3	-3
5	0	-3
5	-3	-3

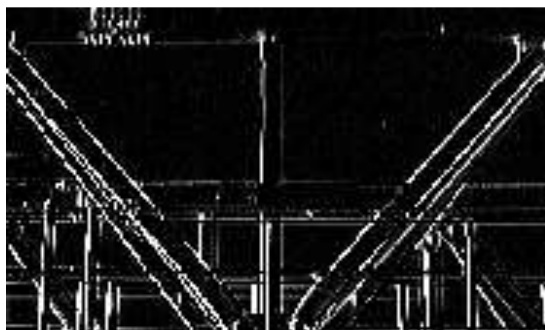
5	5	-3
5	0	-3
-3	-3	-3

Kirsch

§ 3.7 锐化滤波器

➤ Kirsch模板的方向性检测

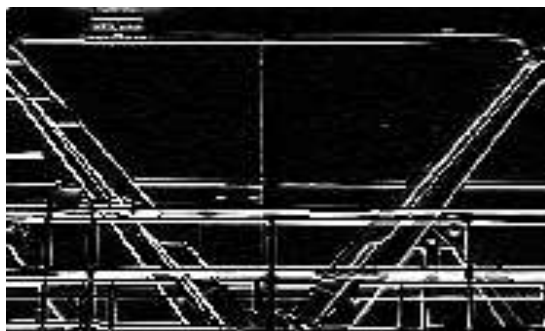
kirsch方向：0



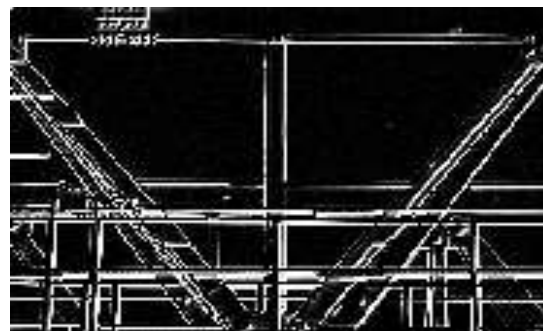
kirsch0方向：45



kirsch0方向：90



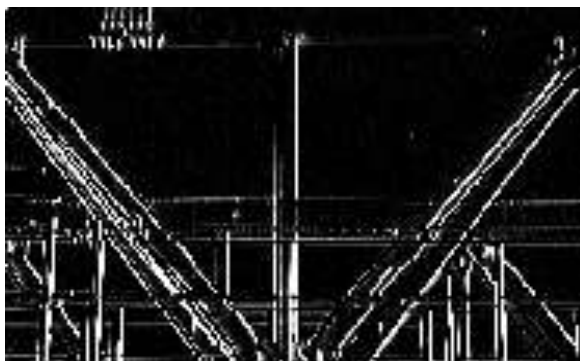
kirsch0方向：135



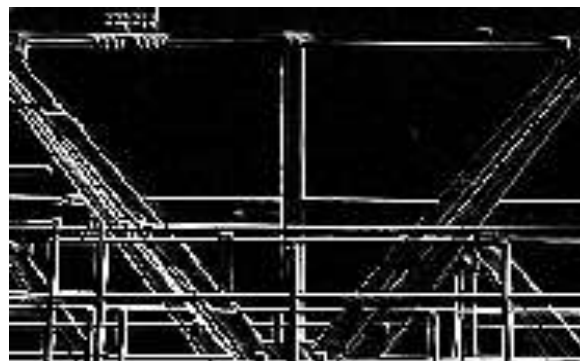
§ 3.7 锐化滤波器

➤ Kirsch模板的方向性检测

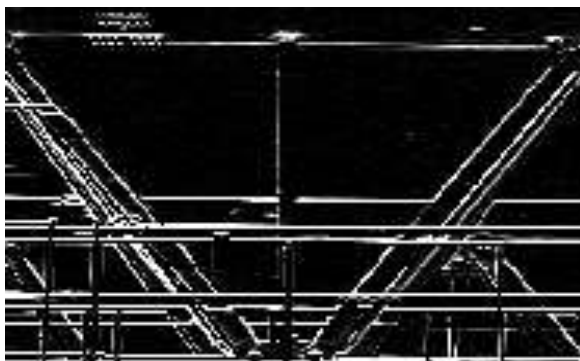
kirsch0方向：180



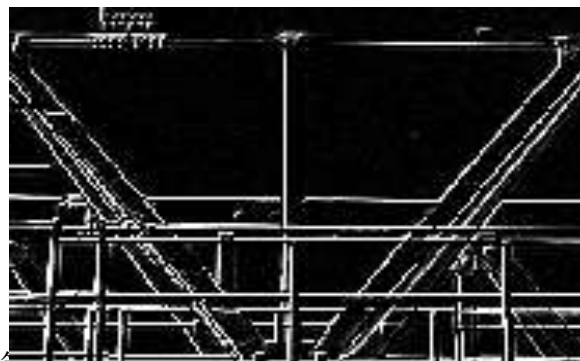
kirsch0方向：225



kirsch0方向：270



kirsch0方向：315



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 2.3 模板的构造讨论

➤ LoG(Laplacian of Gaussiay)算子

➤ 拉普拉斯算子对噪声十分敏感。

➤ 改进：先用高斯平滑去噪再进行拉普拉斯运算。

➤ 高斯分布

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

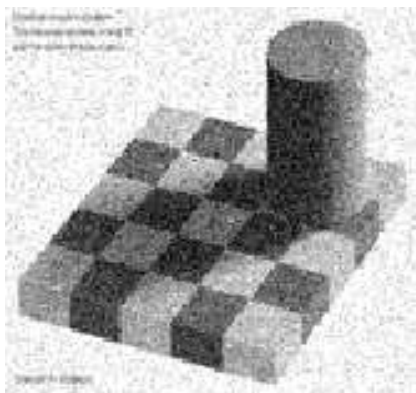
➤ LoG算子

$$LoG(x, y) = \frac{-1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

§ 3.7 锐化滤波器

➤ 拉普拉斯算子锐化结果-噪声影响

加噪声原始图像



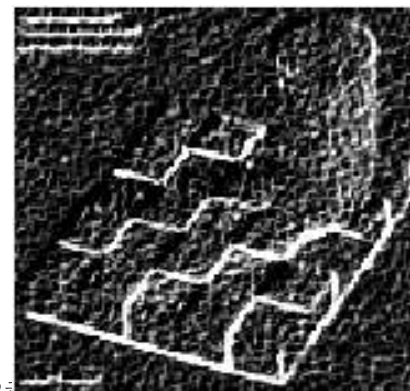
噪声情况下4邻域拉普拉斯检测



噪声情况下8邻域拉普拉斯检测

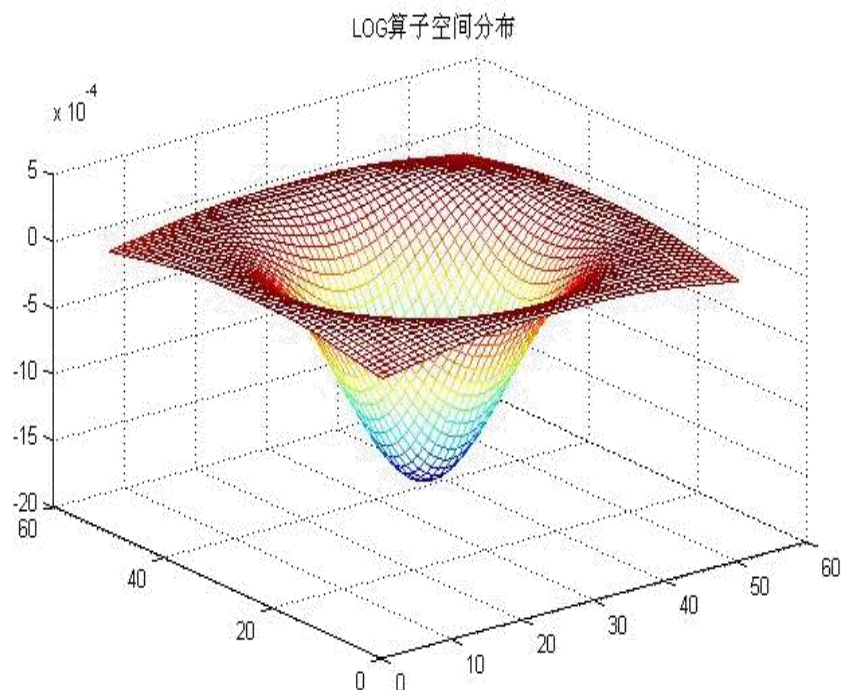
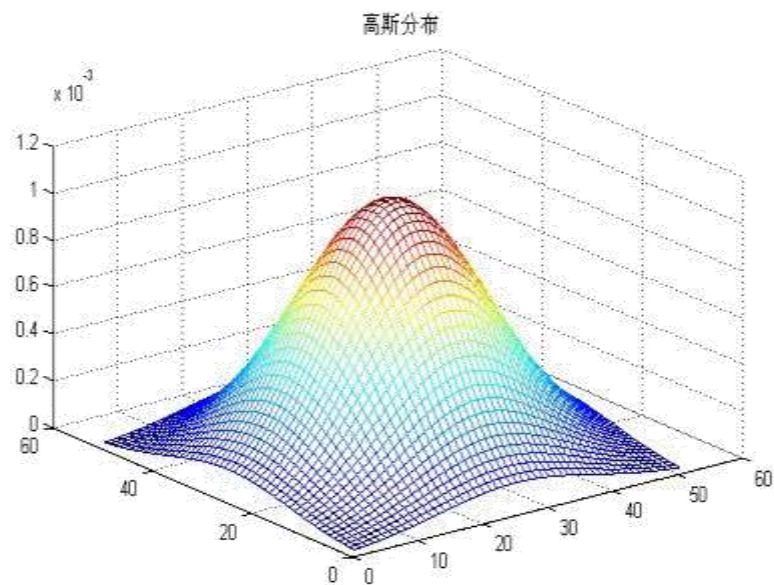


噪声情况下sobel检测



§ 3.7 锐化滤波器

➤ LoG算子计算结果



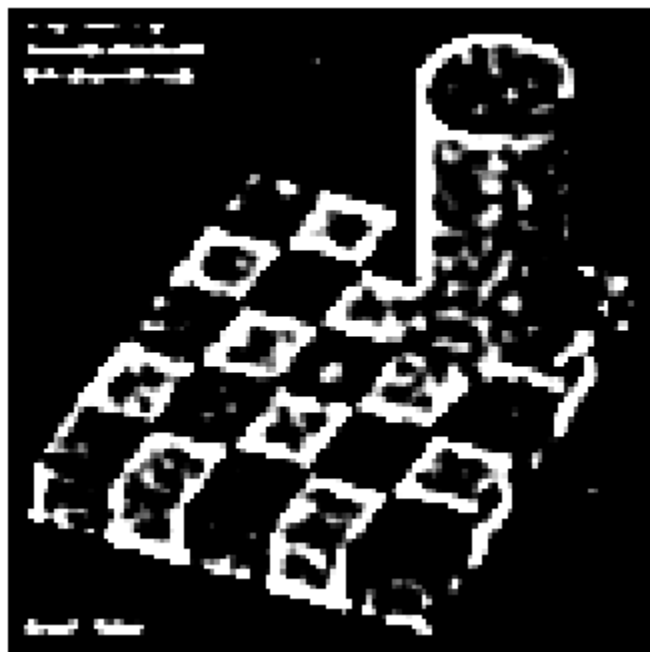
§ 3.7 锐化滤波器

用差分计算当 $\sigma=1.4$ 时, LoG在 9×9 的窗中表示

0	1	1	2	2	2	1	1	0
1	2	4	5	5	5	4	2	1
1	4	5	3	0	3	5	4	1
2	5	3	-12	-24	-12	3	5	2
2	5	0	-24	-40	-24	0	5	2
2	5	3	-12	-24	-12	3	5	2
1	4	5	3	0	3	5	4	1
1	2	4	5	5	5	4	2	1
0	1	1	2	2	2	1	1	0

§ 3.7 锐化滤波器

- LOG算子与拉普拉斯算子的检测对比
 - 窗口9X9, σ 为1.5



§ 3.7 锐化滤波器

➤ 2.4 Wallis算子

➤ 根据图像局部统计特性进行自适应锐化的算子

➤ 在邻域 D_{ij} 有 M 个像素

➤ 邻域均值 $\bar{f}(i, j) = \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in D_{ij}} f(m, n)$

➤ 邻域方差 $\sigma^2(i, j) = \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in D_{ij}} [f(m, n) - \bar{f}(i, j)]^2$

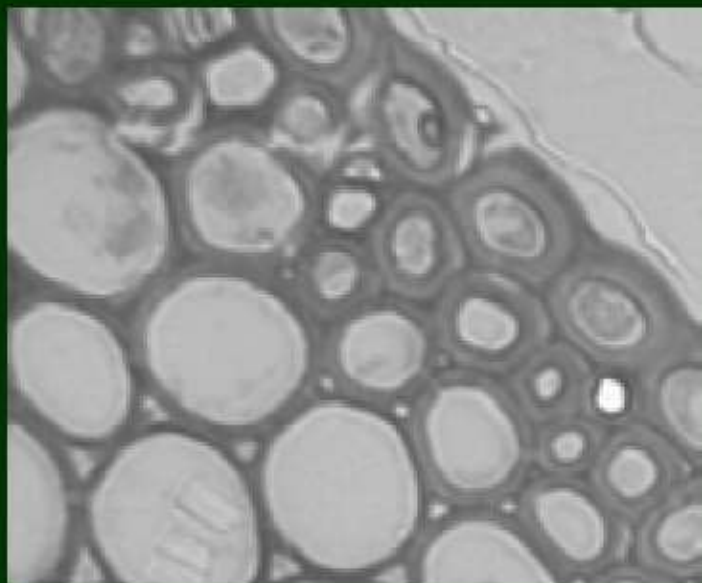
➤ 锐化后像素的灰度

$$g(i, j) = [\alpha m_d + (1 - \alpha) \bar{f}(i, j)] + [f(i, j) - \bar{f}(i, j)] \frac{A \sigma_d}{A \sigma(i, j) + \sigma_d}$$

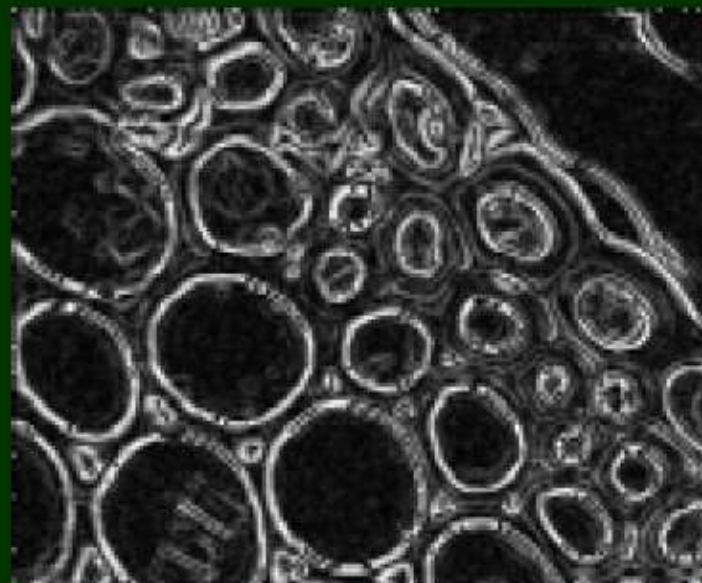
➤ 其中 m_d 和 σ_d 表示设计的均值和标准差， A 是增益系数， α 控制增强图像中边缘和背景的比例

§ 3.7 锐化滤波器

Sobel 法求梯度示例



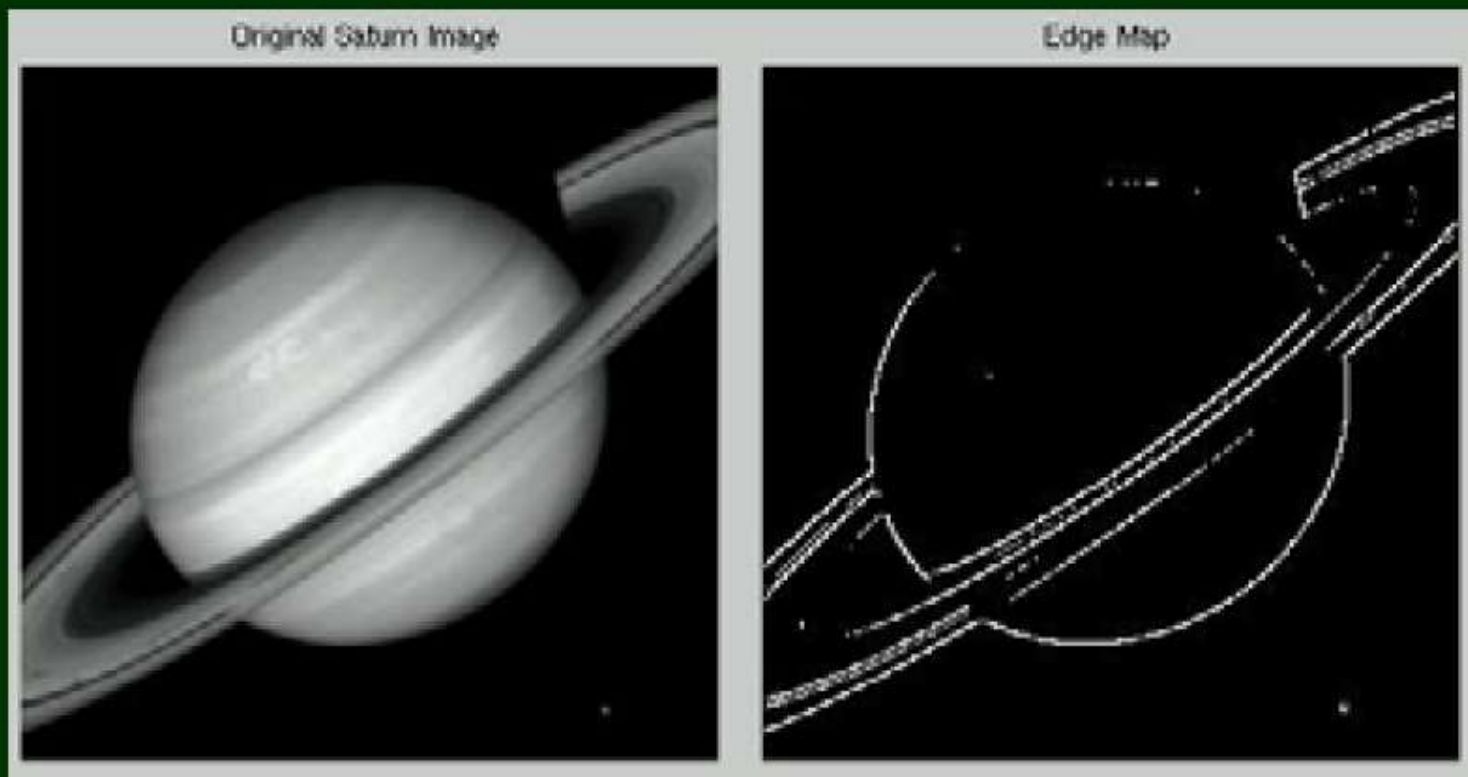
原图



用Sobel法求梯度方法得的结果

§ 3.7 锐化滤波器

Robert's 算子



§ 3.7 锐化滤波器

Prewitt's 算子



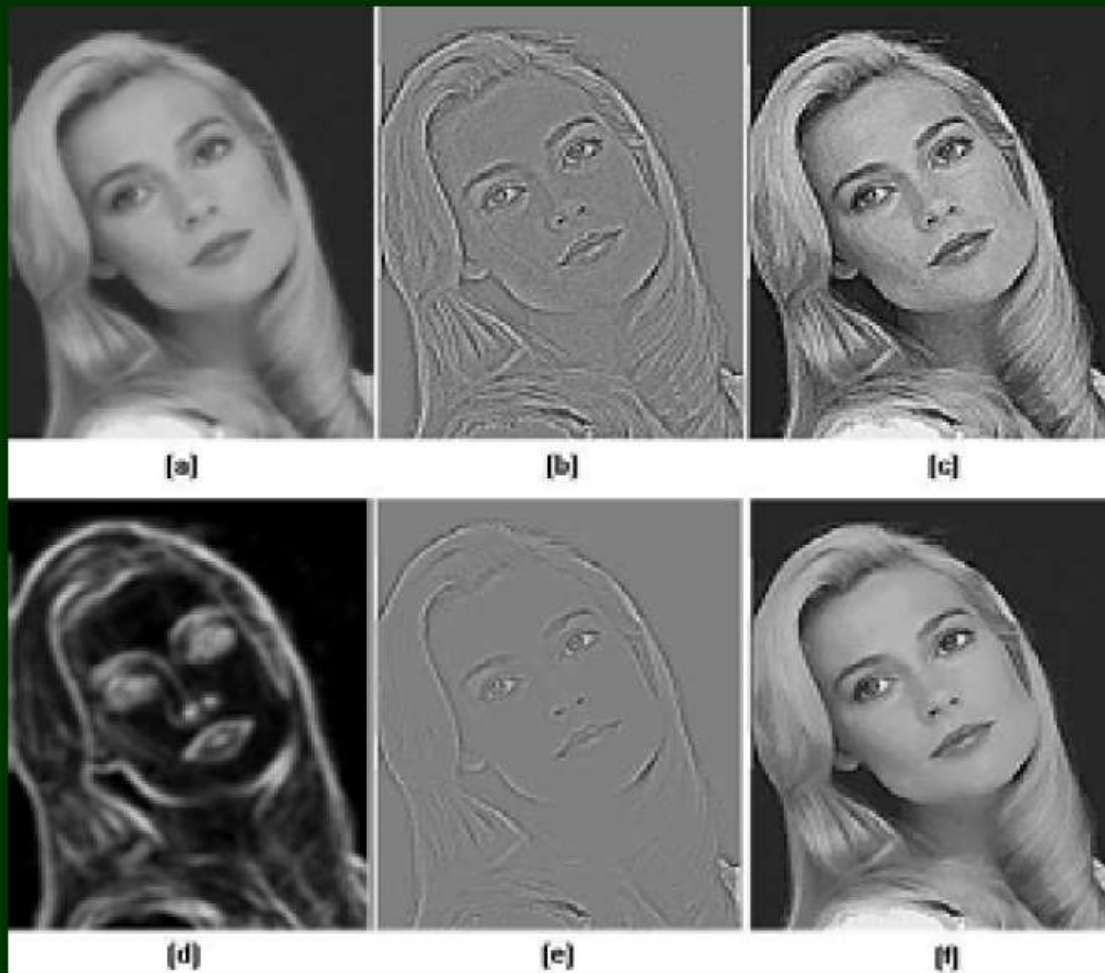
§ 3.7 锐化滤波器

Sobel's 算子



§ 3.8 混合空间增强 (P108)

简单线性组合空域滤波器示例



(a)原图;

(b) 经拉普拉斯 (Laplacian) 变换后的图;

(c) 空间不变高通滤波 ((a) + (b));

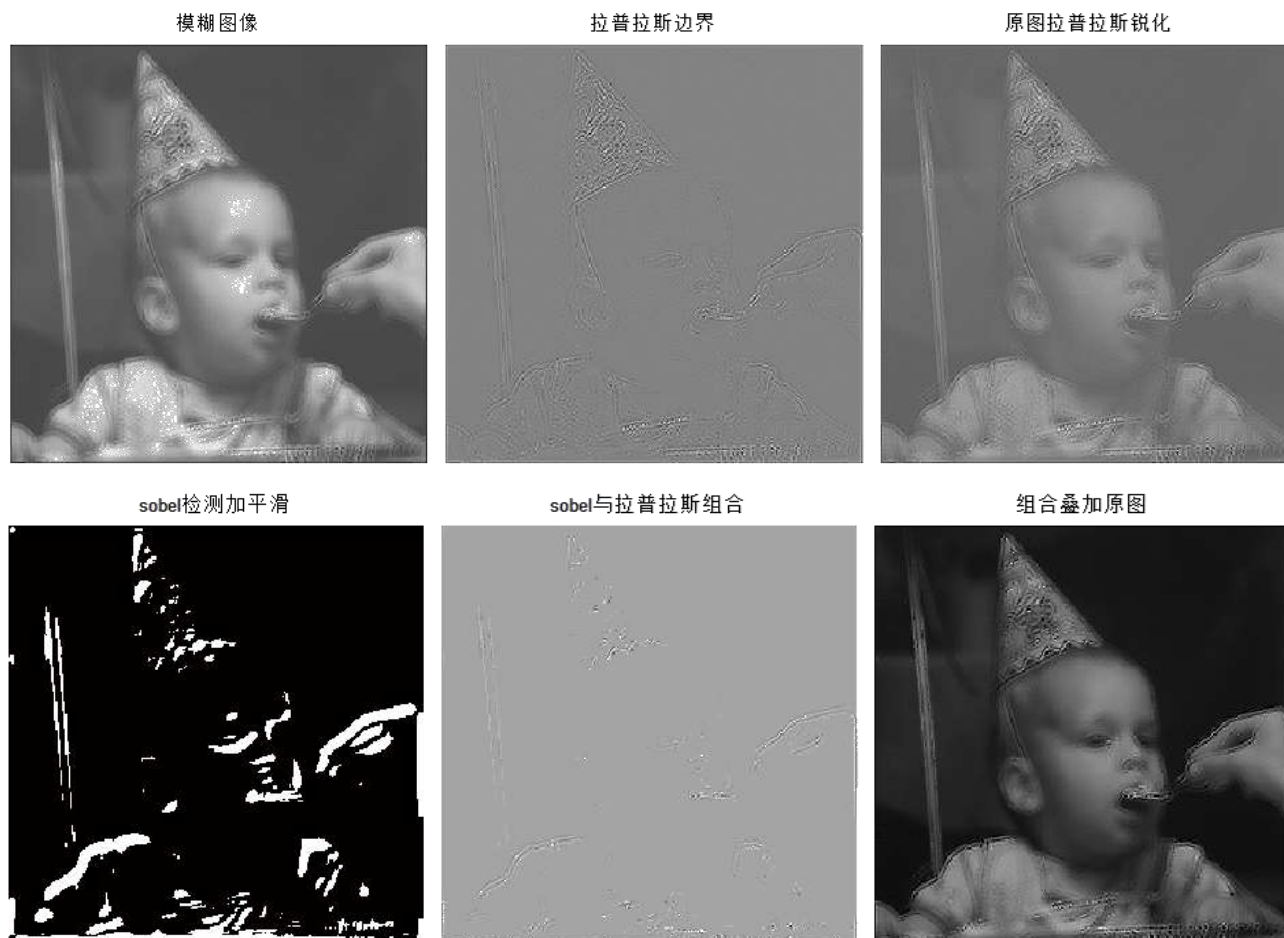
(d) Sobel 算子+ 5x5 平滑;

(e) ((b) x (d));

(f) 图象增强 ((a) + (e))

§ 3.8 混合空间增强

► 重复前面过程的结果



本章小结

➤ 灰度变换增强

- （图像反转、对数变换、幂次变换、分段线性变换）、

➤ 直方图统计增强

- （均衡化、规定化、直方图统计对增强处理的意义）

➤ 算术/逻辑操作增强

➤ 邻域处理增强：

- 空间平滑滤波器的均值滤波器和中值滤波器
- 空间锐化滤波器的拉普拉斯算子和梯度算子
- 去噪声和保细节的综合考虑