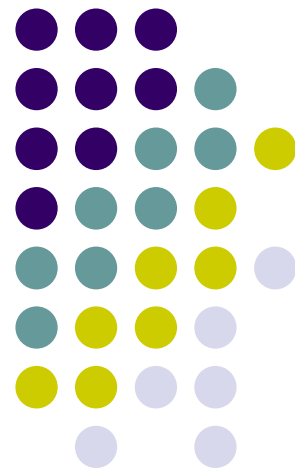




# 数字图像处理

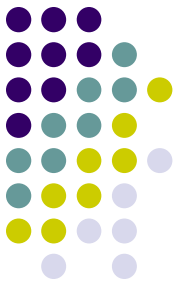
## 第六讲 图像分割



# 提纲



- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测



# 引言

- 图像分割
  - 把图像细分为构成它的区域或物体
  - 分割的粒度取决于应用问题
- 分割是图像处理最困难问题之一
  - 分割的精度决定了处理任务的成败
- 分割的基本原理
  - 灰度的不连续性：根据灰度的突变分割
  - 灰度的相似性：区域内的图像很相似

# 基础知识



- $R$ 表示图像所占的区域
- 图像分割将 $R$ 分割成 $n$ 个区域 $R_1, \dots, R_n$ :
  1.  $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$
  2.  $R_i$ 是一个连通集合,  $i = 1, \dots, n$
  3.  $R_i \cap R_j = \emptyset, \forall i \neq j$
  4.  $Q(R_i) = \text{True}, i = 1, \dots, n$
  5. 对于任意的相邻区域 $R_i$ 和 $R_j$ ,  $Q(R_i \cup R_j) = \text{False}$ 
    - $Q(\cdot)$ 表示某个用于划分区域的函数

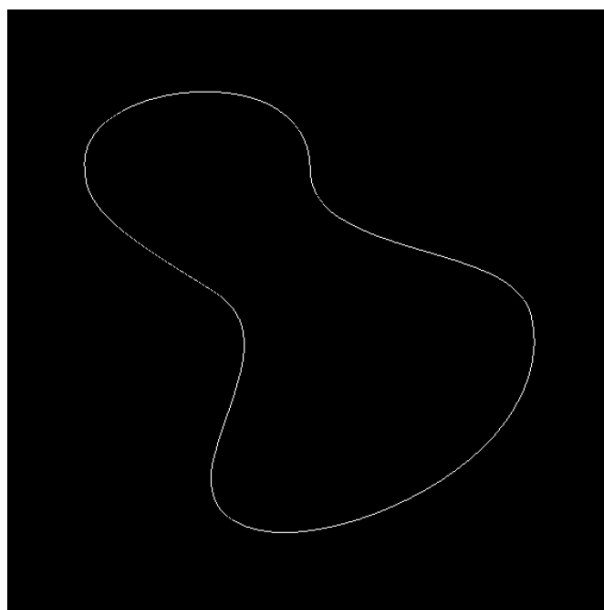
# 灰度的不连续性



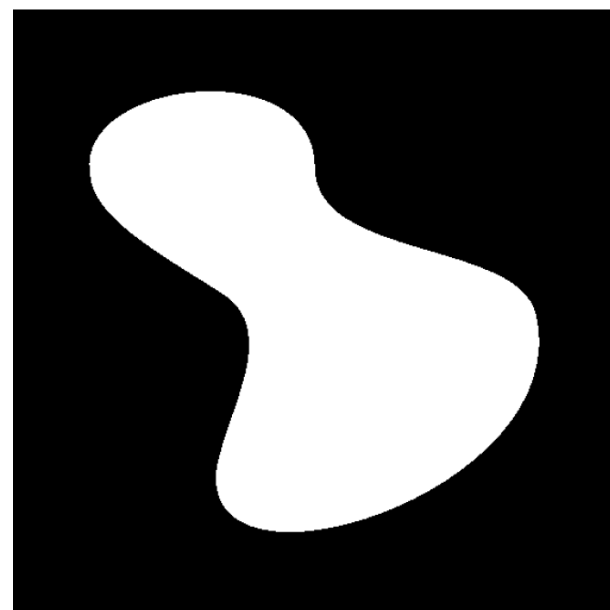
- 区域的边界之间差异大，且和背景不同
  - 利用灰度的局部不连续性检测边界
- 基于边缘的分割



原图



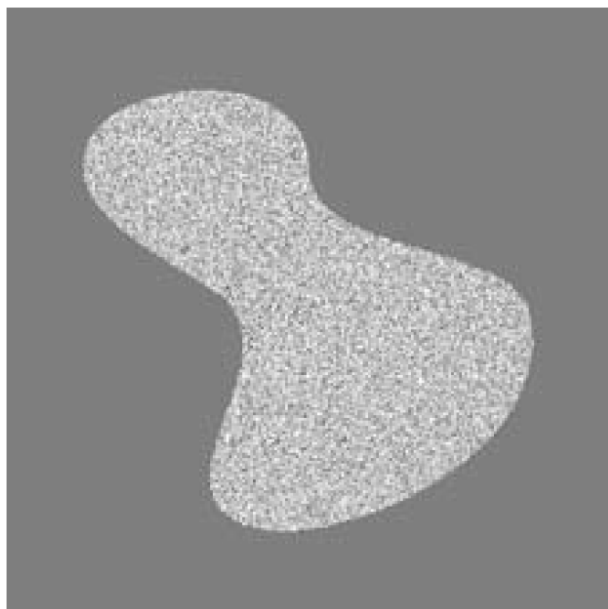
计算边界



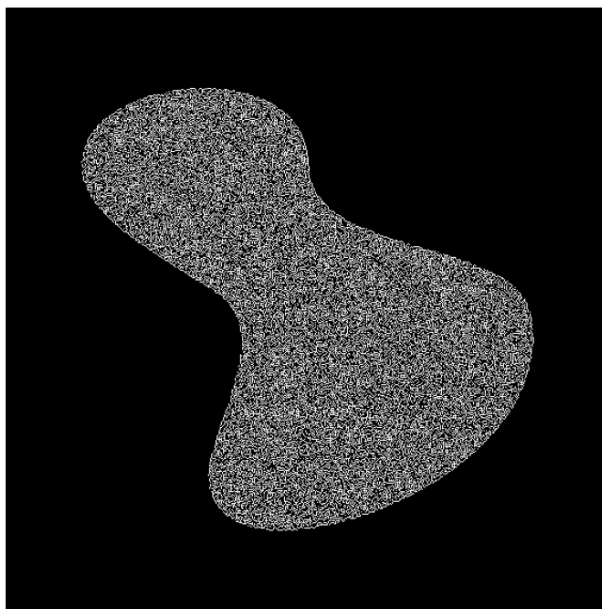
分割

# 灰度的相似性

- 基于区域分割
  - 区域内的像素依据某些准则很相似



原图



边缘信息

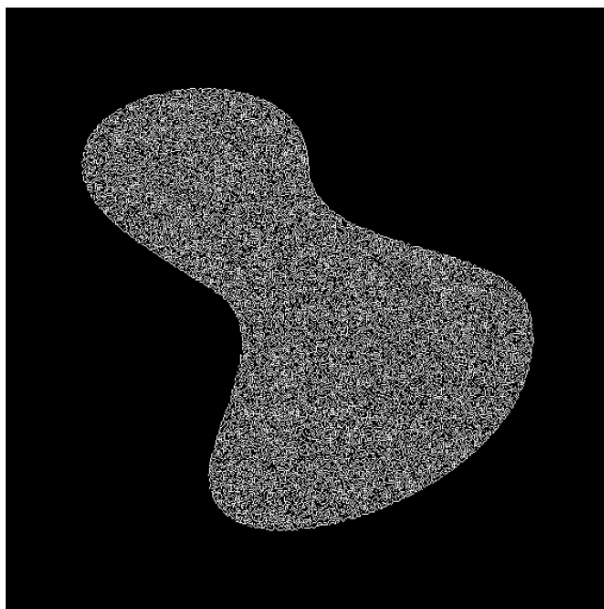
# 灰度的相似性

- 基于区域的分割
  - 区域内的像素依据某些准则很相似

分割成 $4 \times 4$ 区域，标准差非零标为白色



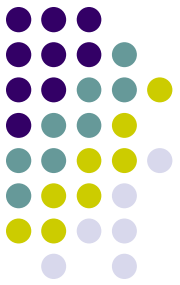
原图



边缘信息



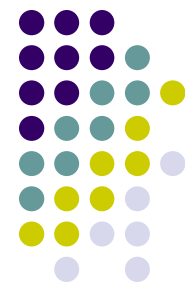
分割



# 提纲

- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测





# 基本概念

- 边缘
  - 边缘像素：灰度发生剧烈变化
  - 边缘是连通的边缘像素集合
- 线
  - 一种特殊的边缘
  - 两侧的灰度值都很大或都很小
- 点
  - 长宽只有1个像素的线

# 提纲



- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测

# 背景知识



- 1阶或2阶导数可以检测局部灰度突变
- 1阶导数的性质
  - 在恒定灰度区域为零
  - 在突变（斜坡、台阶）的起点非零
  - 沿着斜坡非零
- 2阶导数的性质
  - 在恒定灰度区域为零
  - 在突变（斜坡、台阶）的起点和终点非零
  - 沿着恒定斜率斜坡为零

# 数学基础



- 一维函数  $f(x)$
- 一阶导数

- 数值是有限的
- 最小间隔1像素

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'(x) = f(x + 1) - f(x)$$

- 二阶导数

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\partial f'(x)}{\partial x} = f'(x + 1) - f'(x)$$

$$= f(x + 2) - f(x + 1) - f(x + 1) + f(x)$$

$$= f(x + 2) - 2f(x + 1) + f(x)$$

# 数学基础



- 一维函数  $f(x)$

- 一阶导数

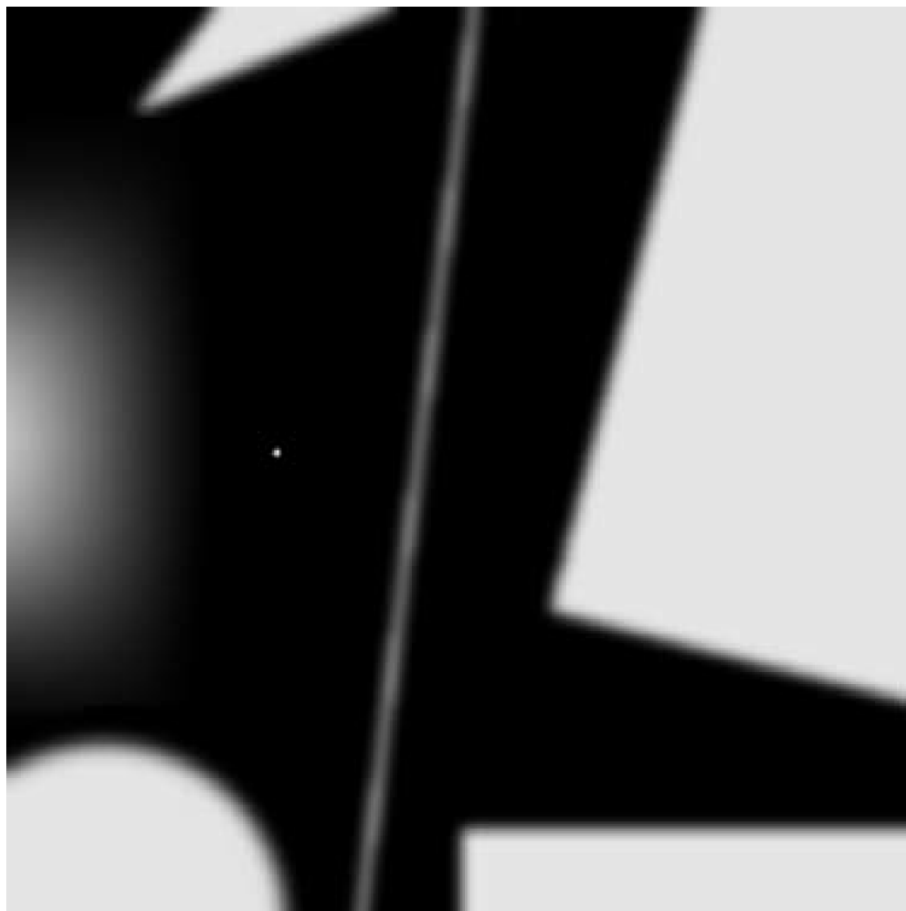
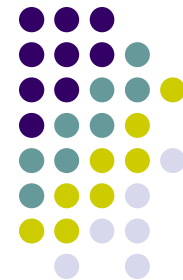
$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'(x) = f(x + 1) - f(x)$$

- 二阶导数

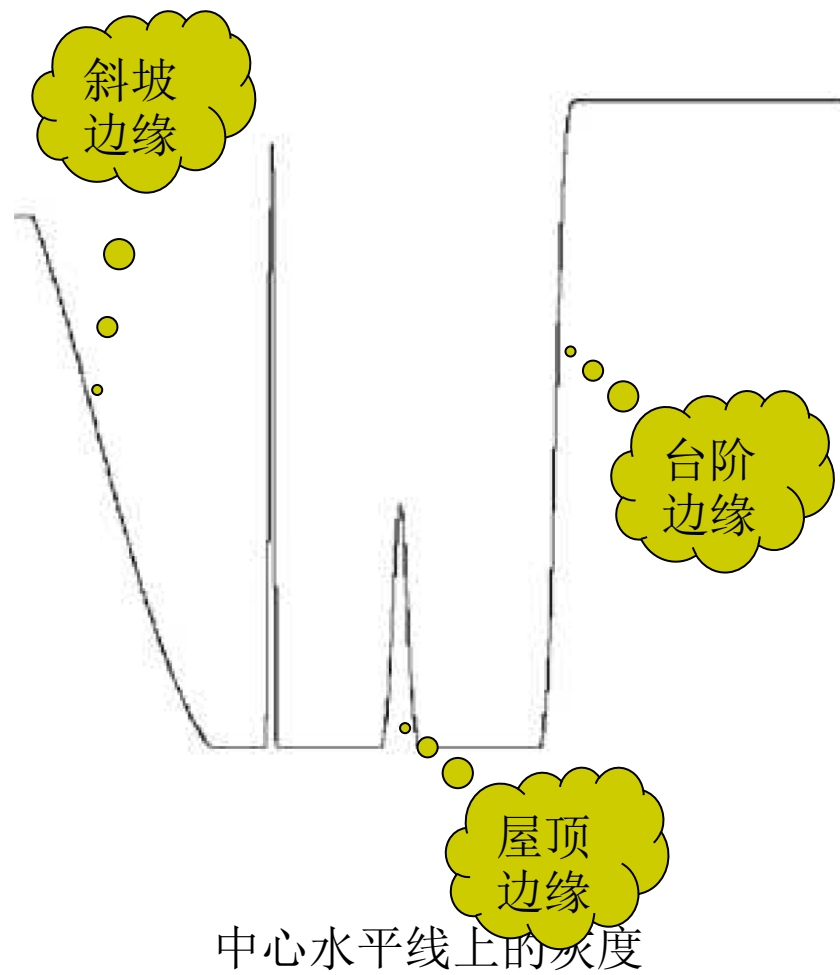
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f''(x) = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x)$$



# 举例



原图



# 举例

## 一阶、二阶导数

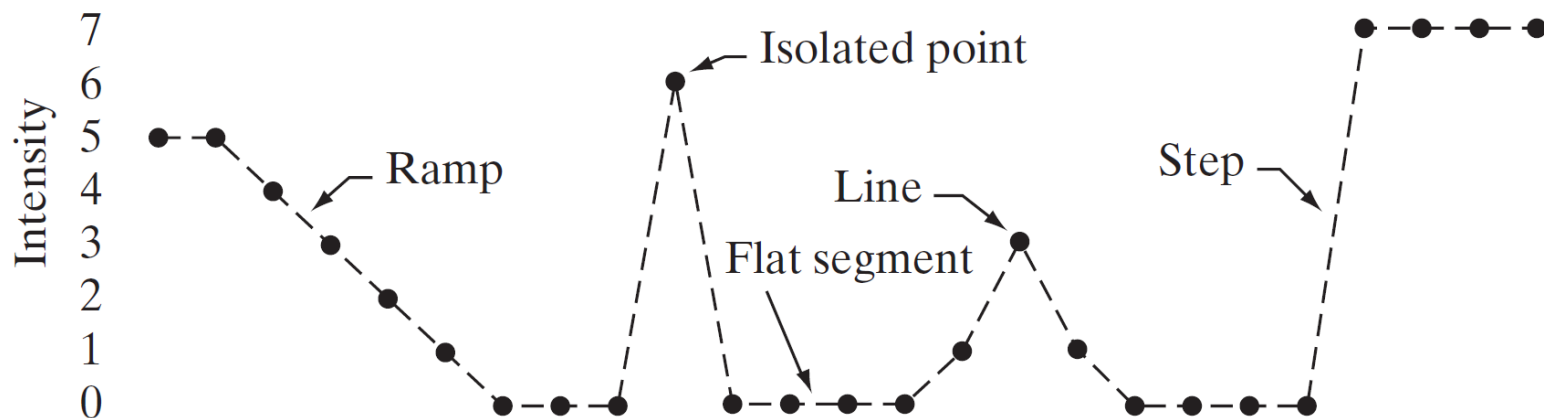
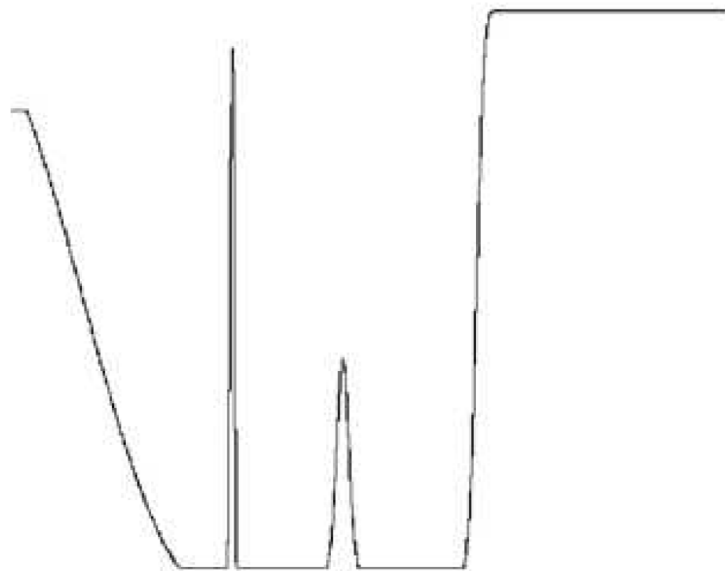


Image strip

5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	7	7	7	•	•
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

First derivative

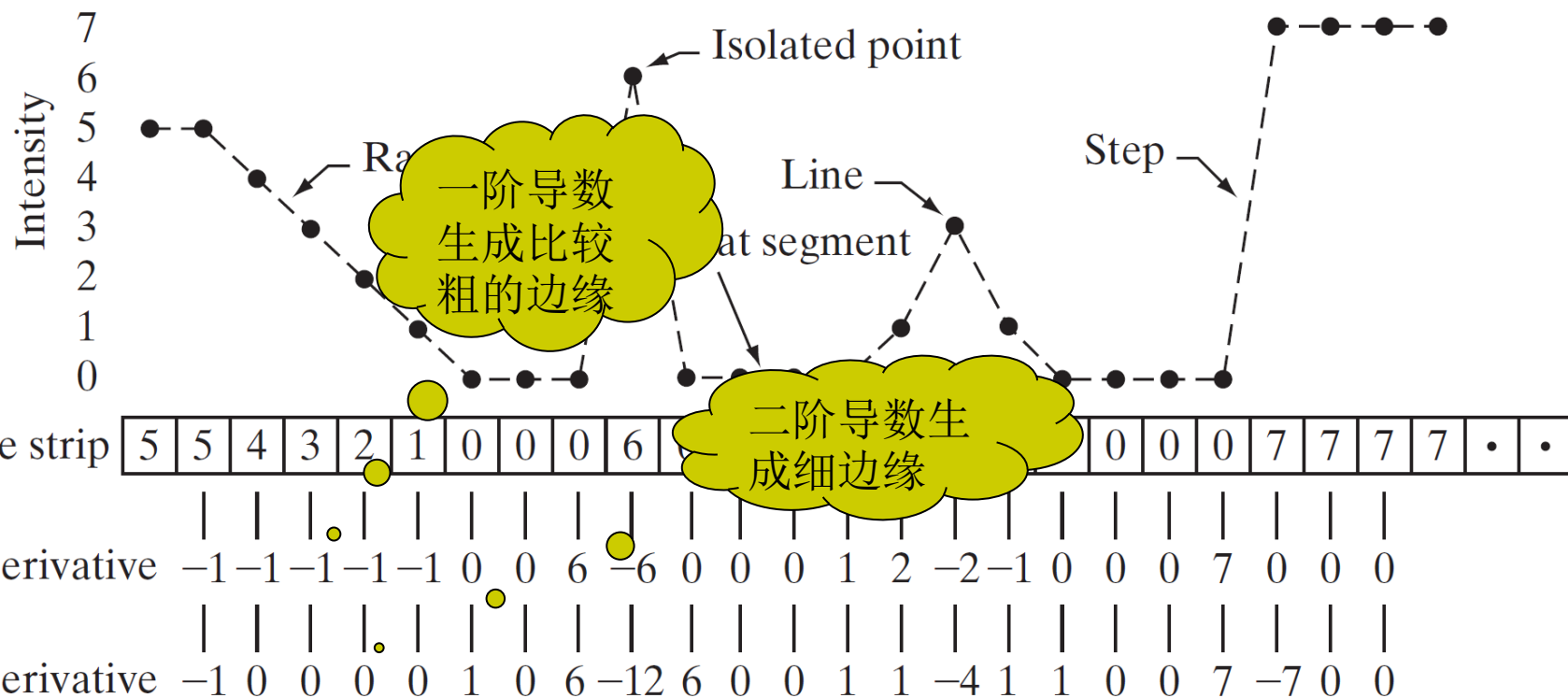
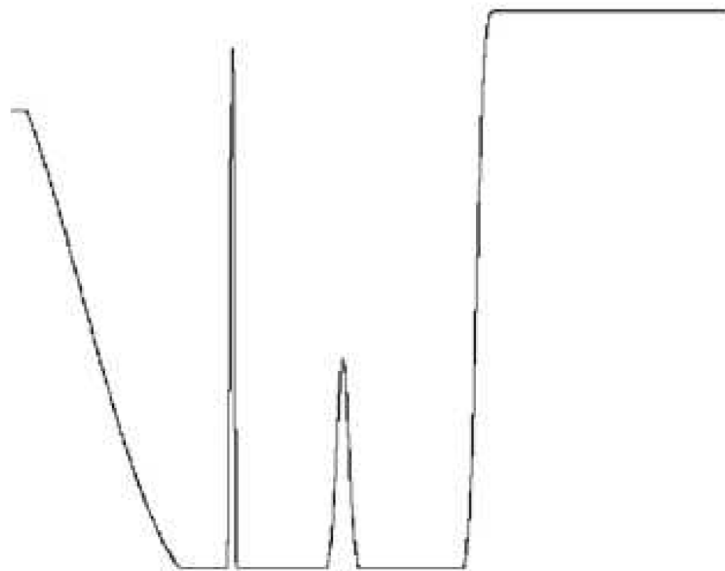
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
-1	-1	-1	-1	-1	0	0	6	-6	0	0	0	1	2	-2	-1	0	0	0	7	0	0	0			

Second derivative

•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
-1	0	0	0	0	1	0	6	-12	6	0	0	1	1	-4	1	1	0	0	7	-7	0	0			

# 举例

## 一阶、二阶导数





# 举例

## 一阶、二阶导数

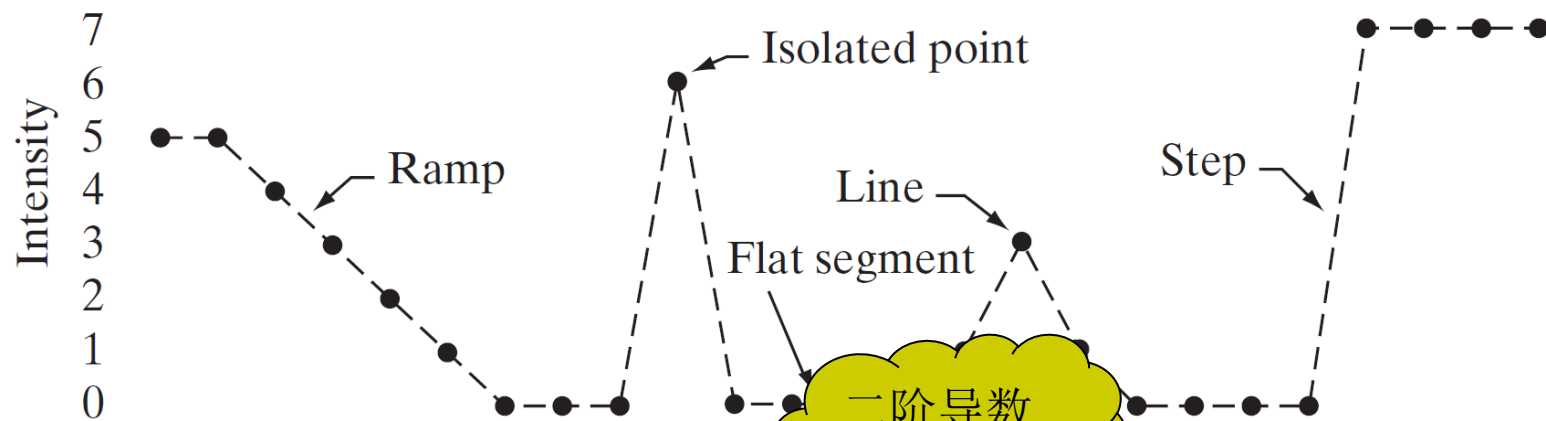
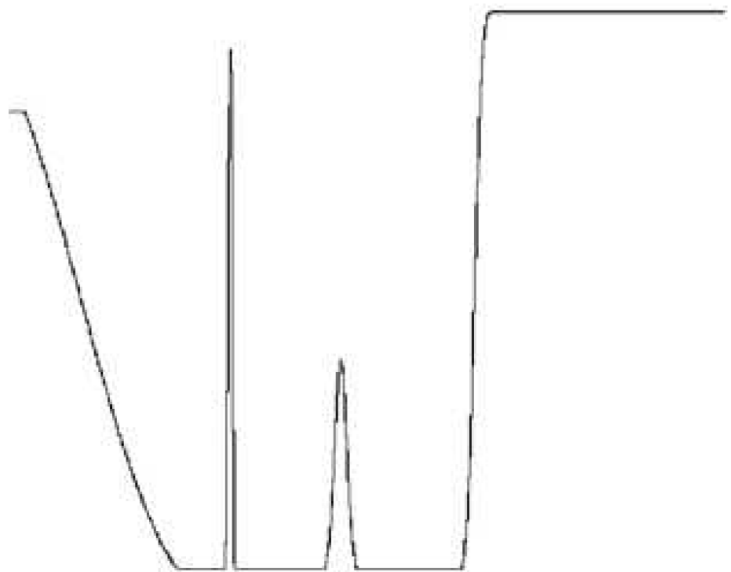


Image strip	5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7	•	•
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

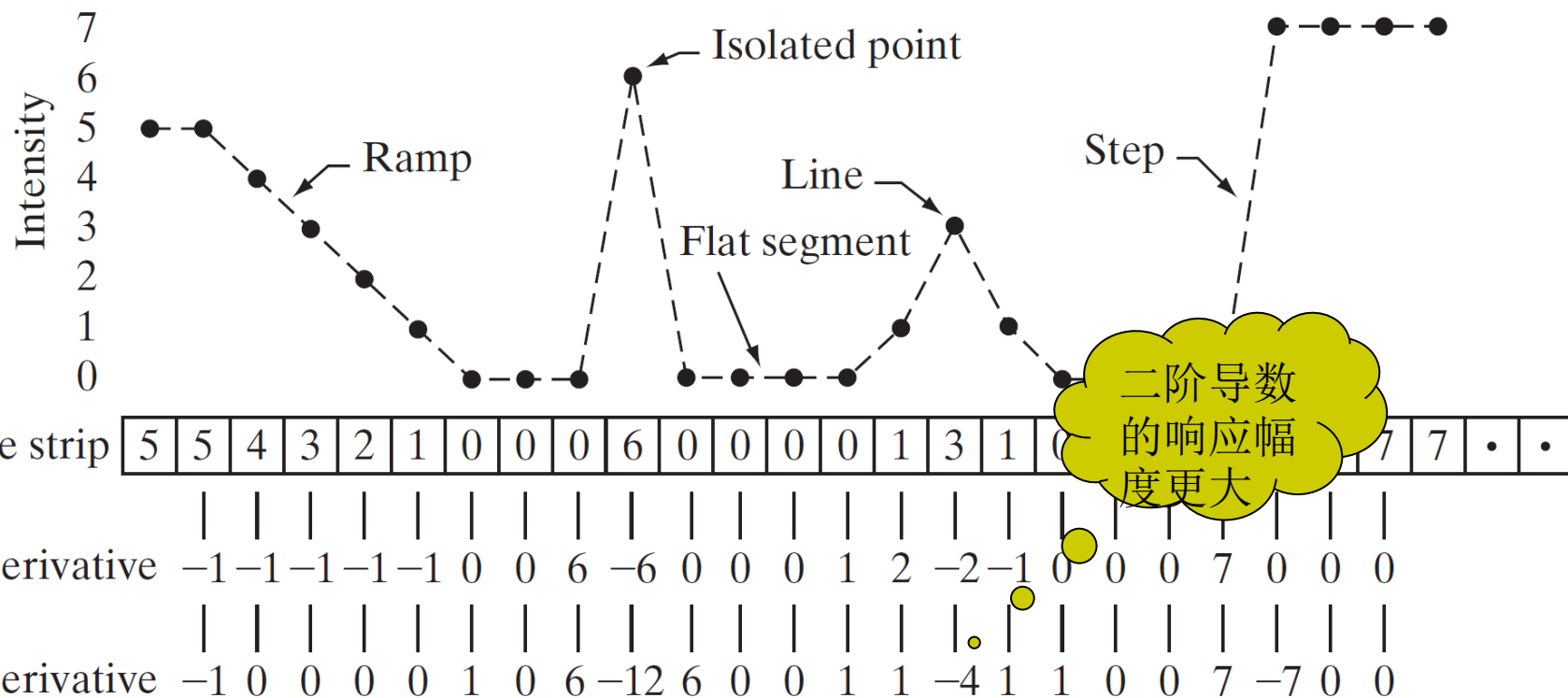
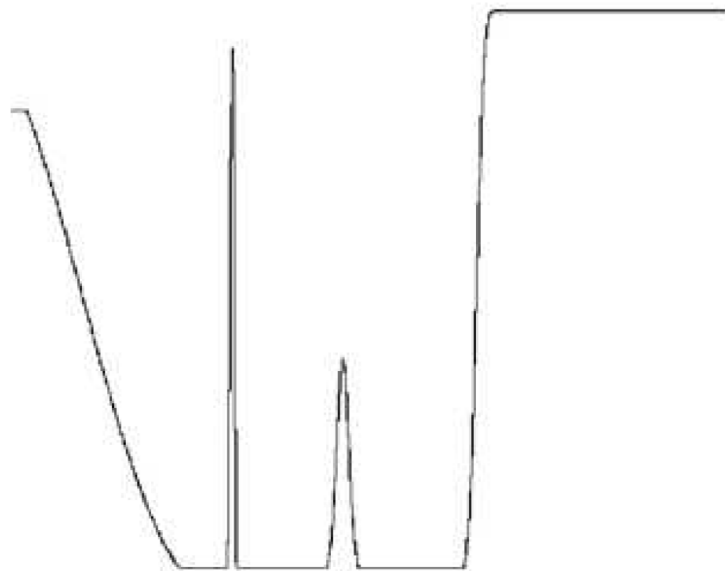
First derivative	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	6	-6	0	0	1	2	-2	-1	0	0	0	7	0	0	0		
------------------	----	----	----	----	----	---	---	---	----	---	---	---	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	--	--

Second derivative	-1	0	0	0	0	1	0	6	-12	6	0	0	1	1	-4	1	1	0	0	7	-7	0	0		
-------------------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----	---	---	--	--

二阶导数的  
响应幅  
度更大

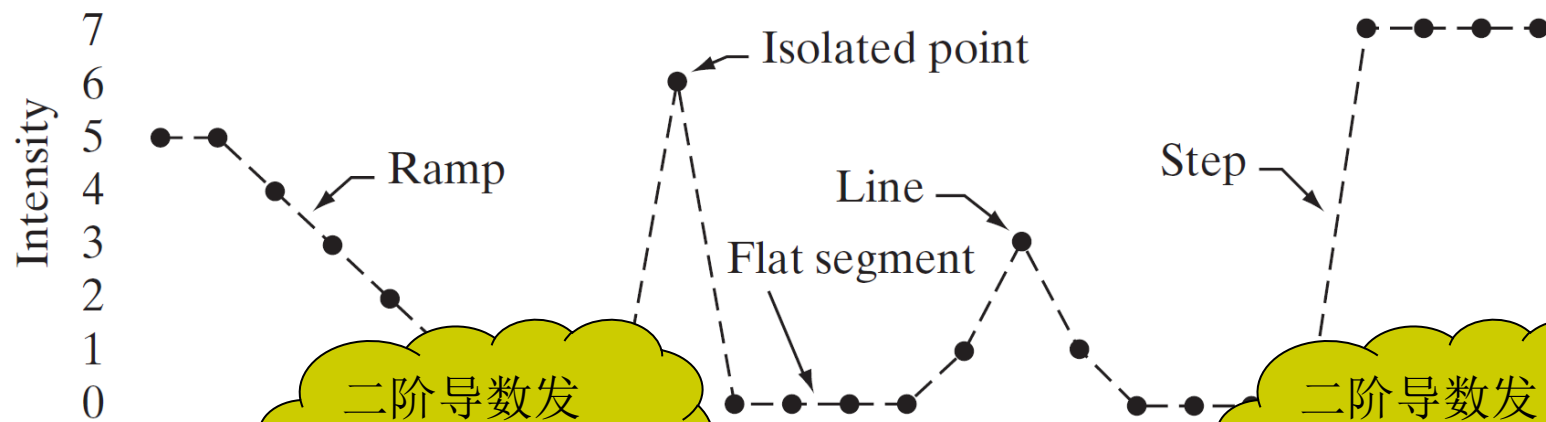
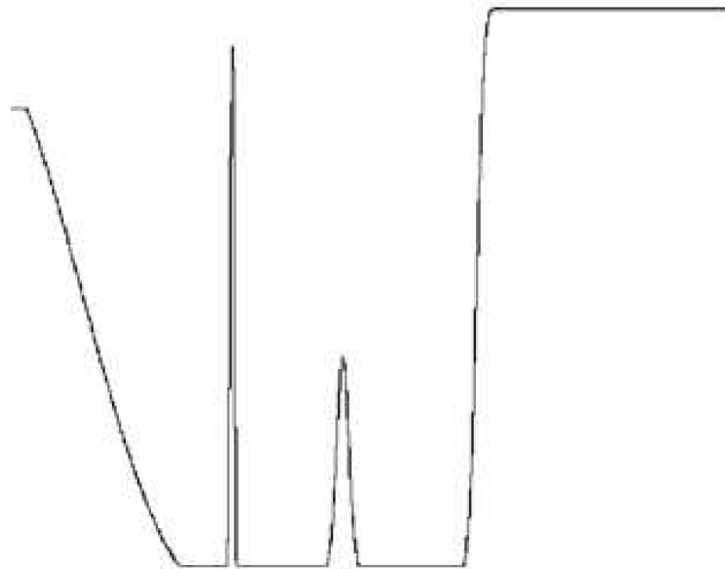
# 举例

## 一阶、二阶导数



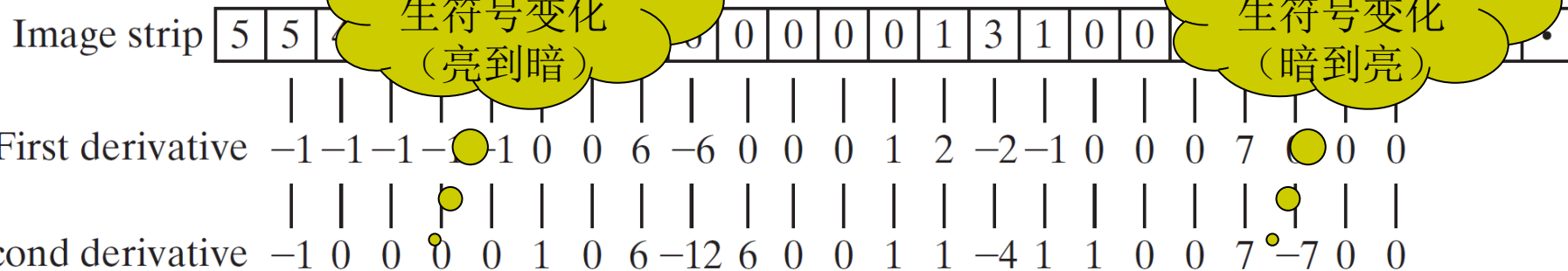
# 举例

## 一阶、二阶导数



二阶导数发生符号变化  
(亮到暗)

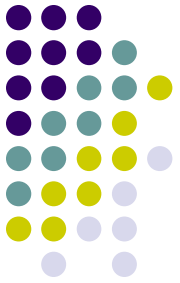
二阶导数发生符号变化  
(暗到亮)



# 一般结论



- 一阶导数通常产生较粗的边缘
- 二阶导数对细节有较强的响应
  - 细线、孤立点、噪声
- 二阶导数在斜坡和台阶产生双边缘响应
- 二阶导数的符号变化有指示意义
  - 灰度从亮到暗
  - 灰度从暗到亮



# 计算导数

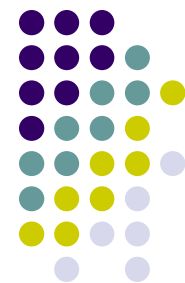
- 空间滤波器
  - 模板

$w_1$	$w_2$	$w_3$
$w_4$	$w_5$	$w_6$
$w_7$	$w_8$	$w_9$

- 计算公式
$$R = w_1z_1 + w_2z_2 + \cdots + w_9z_9$$
$$= \sum_{k=1}^9 w_k z_k$$

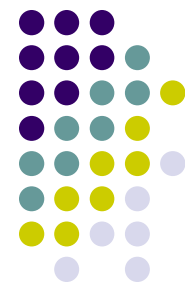
➤ 计算模板系数与被该模板覆盖的区域中的灰度值的乘积之和。

# 提纲



- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测

# 孤立点的检测



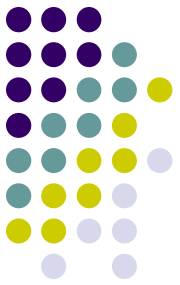
- 利用二阶导数检测孤立点
  - 响应更强
- 拉普拉斯算子

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- 离散拉普拉斯算子

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 2f(x, y)$$



# 孤立点的检测

- 利用二阶导数检测孤立点
  - 响应更强
- 拉普拉斯算子

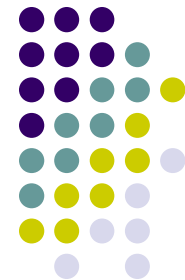
$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- 离散拉普拉斯算子

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) = & f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) \\ & + f(x, y - 1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$



# 拉普拉斯算子



- 标准形式

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) + f(x-1, y) \\ &\quad + f(x, y+1) + f(x, y-1) \\ &\quad - 4f(x, y)\end{aligned}$$

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

90度增量  
各向同性

- 对角线形式

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

45度增量  
各向同性

# 检测方法



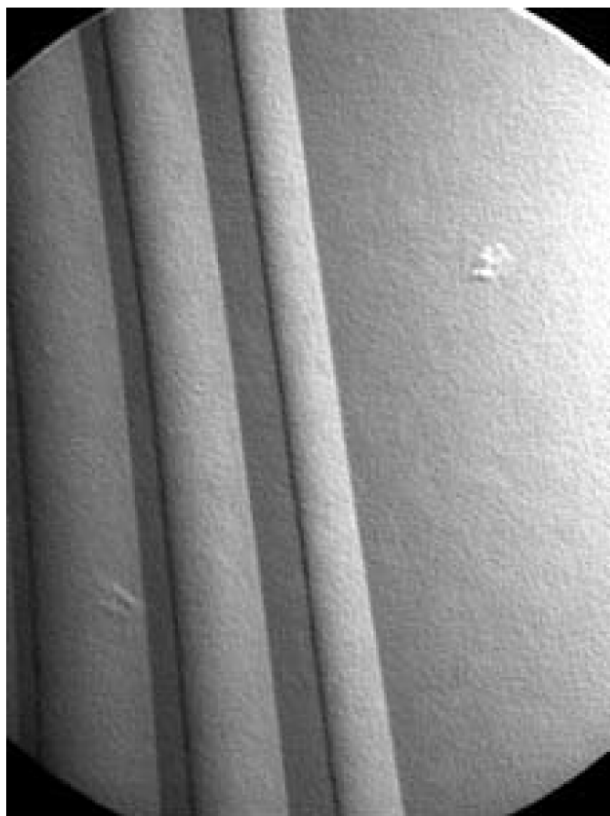
- 根据响应幅度是否大于某阈值 $T$

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |R(x, y)| \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

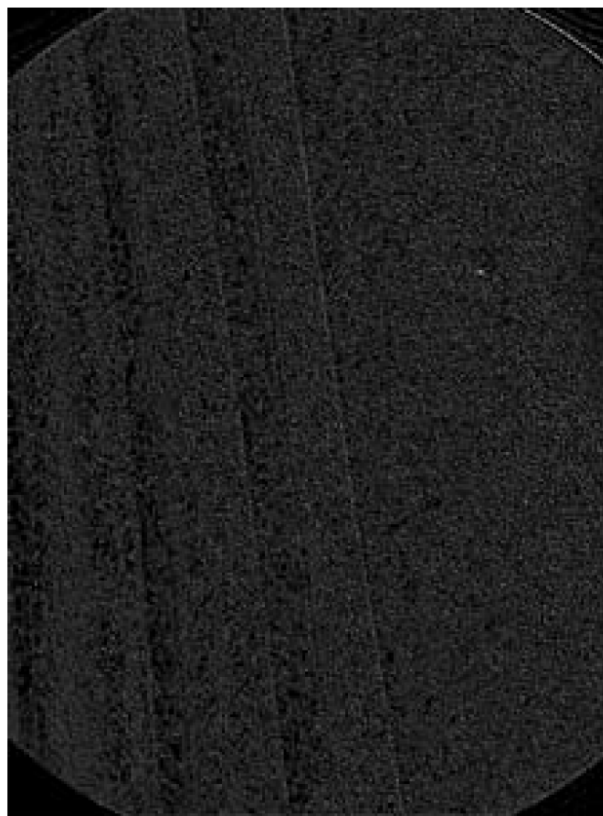
- 其中

$$\begin{aligned} R &= w_1 z_1 + w_2 z_2 + \cdots + w_9 z_9 \\ &= \sum_{k=1}^9 w_k z_k \end{aligned}$$

# 举例

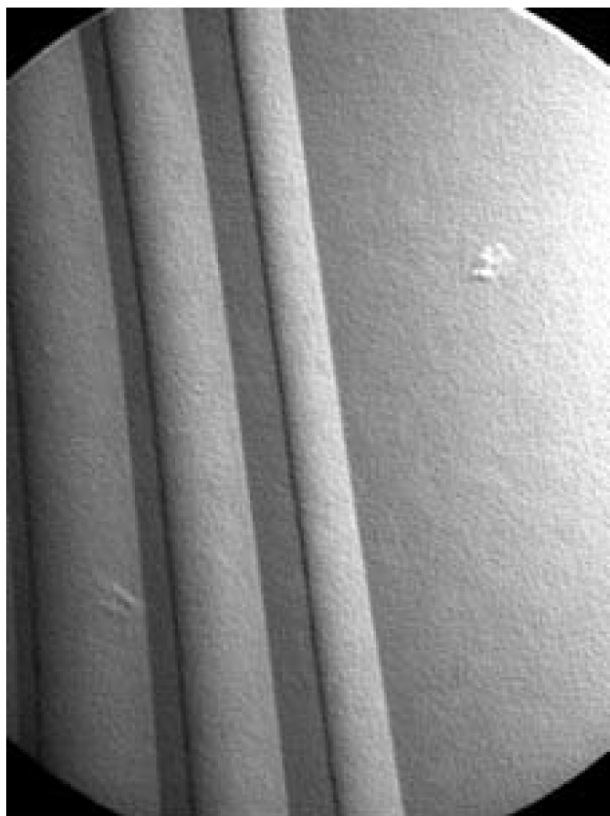


有一个孔的  
涡轮叶片

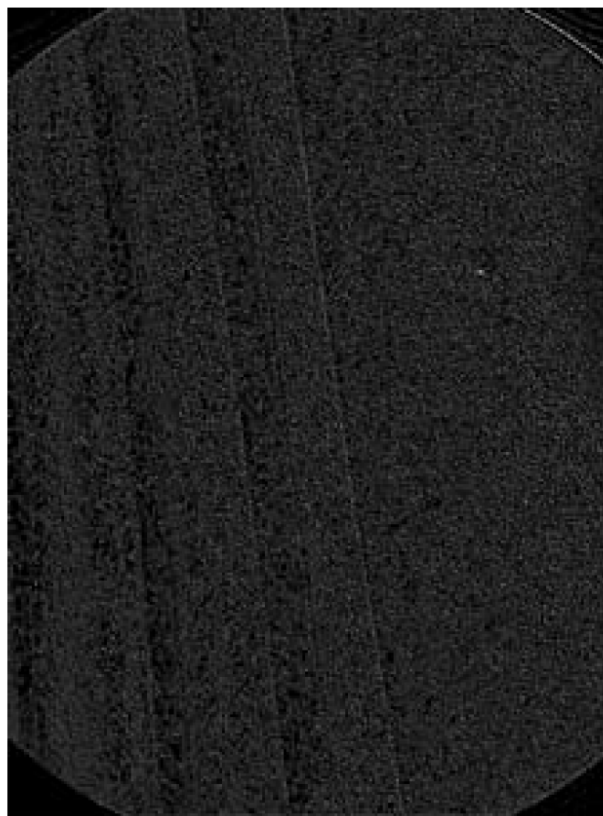


拉普拉斯滤波  
后图像

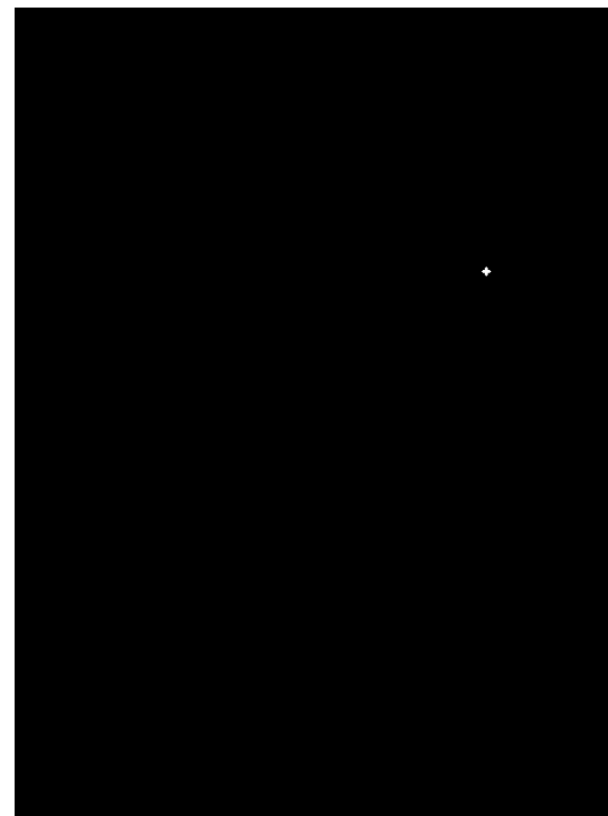
# 举例



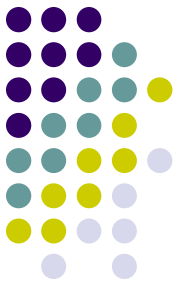
有一个孔的  
涡轮叶片



拉普拉斯滤波  
后图像



阈值化  
(最高亮度的90%)



# 提纲

- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测

# 线检测



- 利用二阶导数检测线
  - 响应更强、更细的线
  - 需要留意双线效应

- 拉普拉斯算子

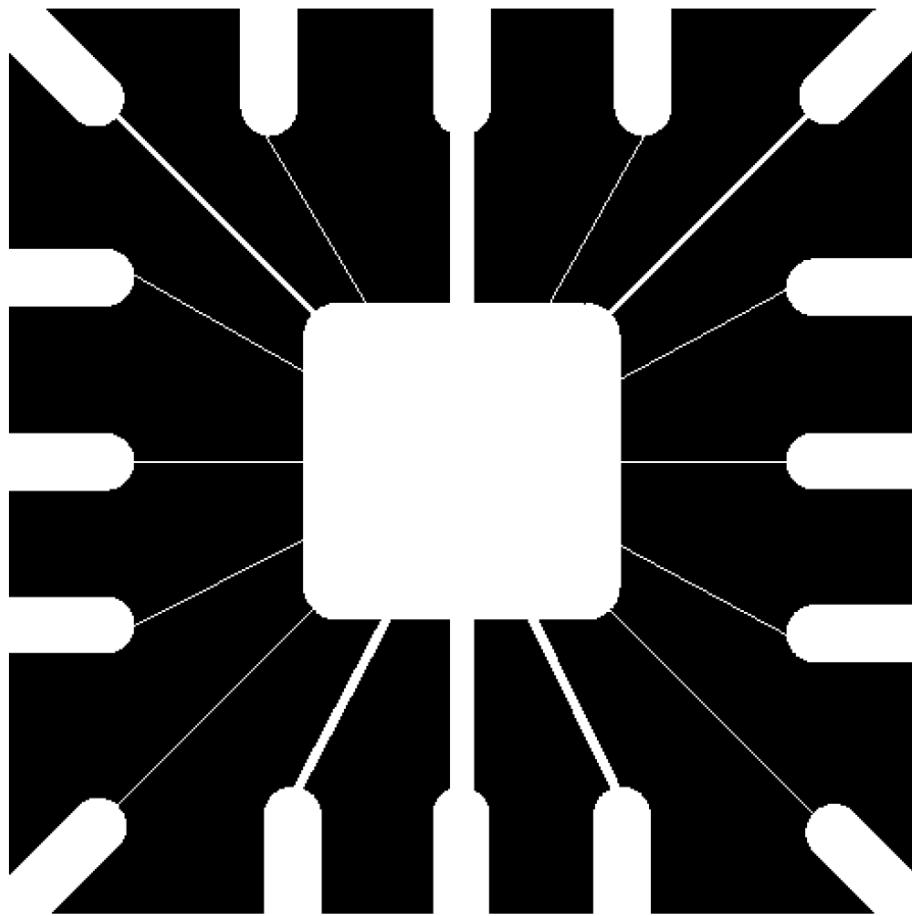
$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- 离散拉普拉斯算子

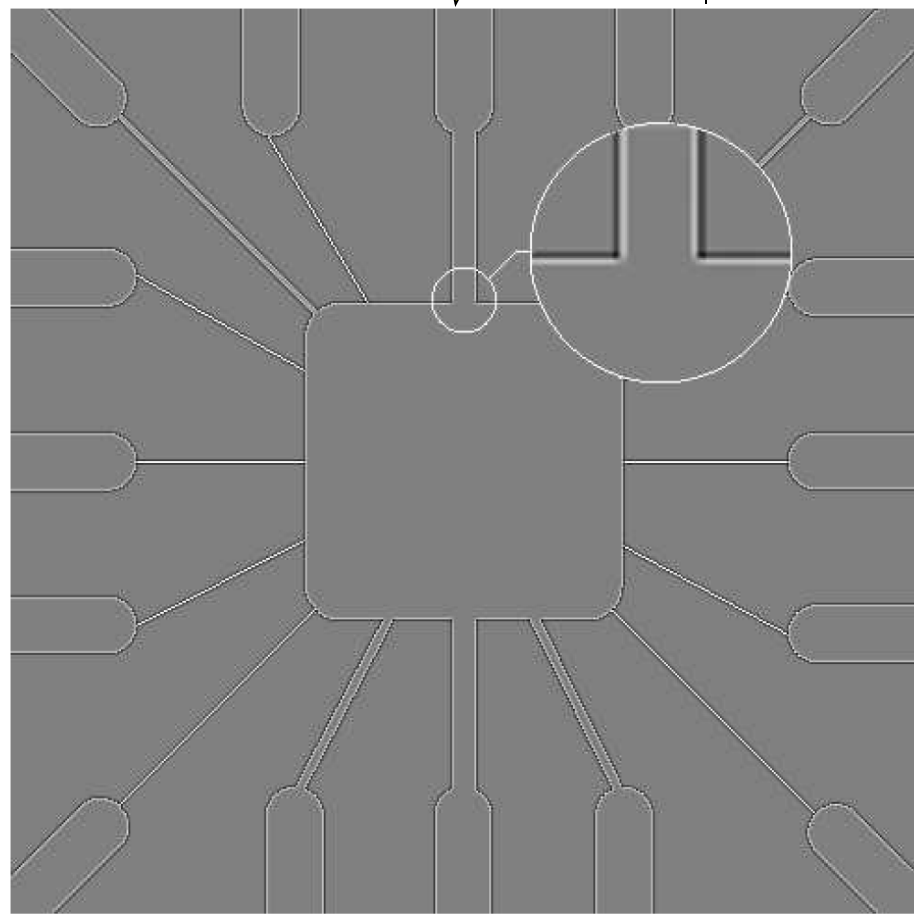
$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) = & f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) \\ & + f(x, y - 1) - 4f(x, y) \end{aligned}$$



# 举例



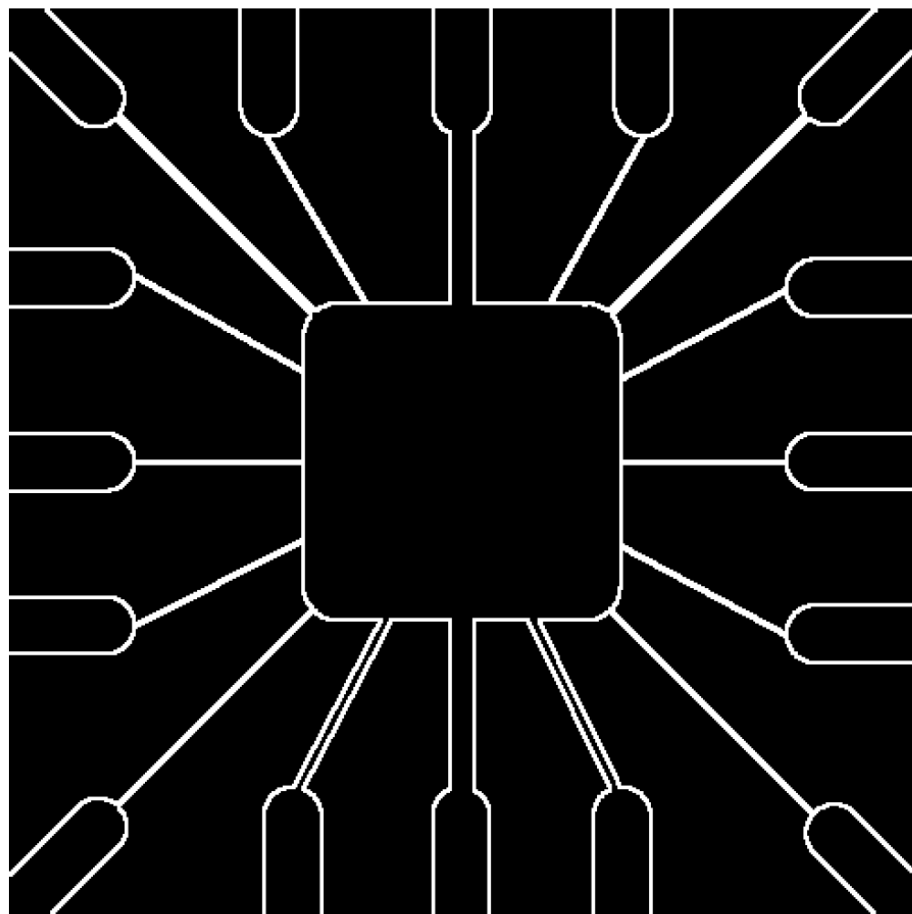
原图



拉普拉斯滤波  
后图像



# 举例



取绝对值

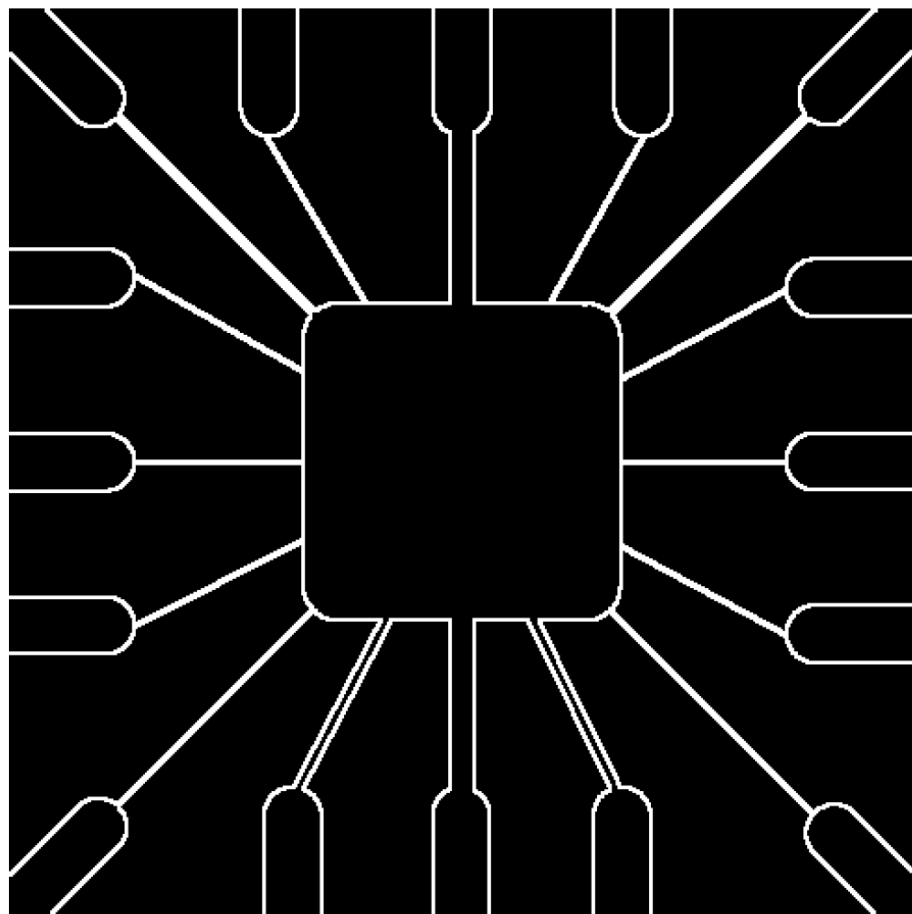
（负值通过取拉普拉斯图像的绝对值）





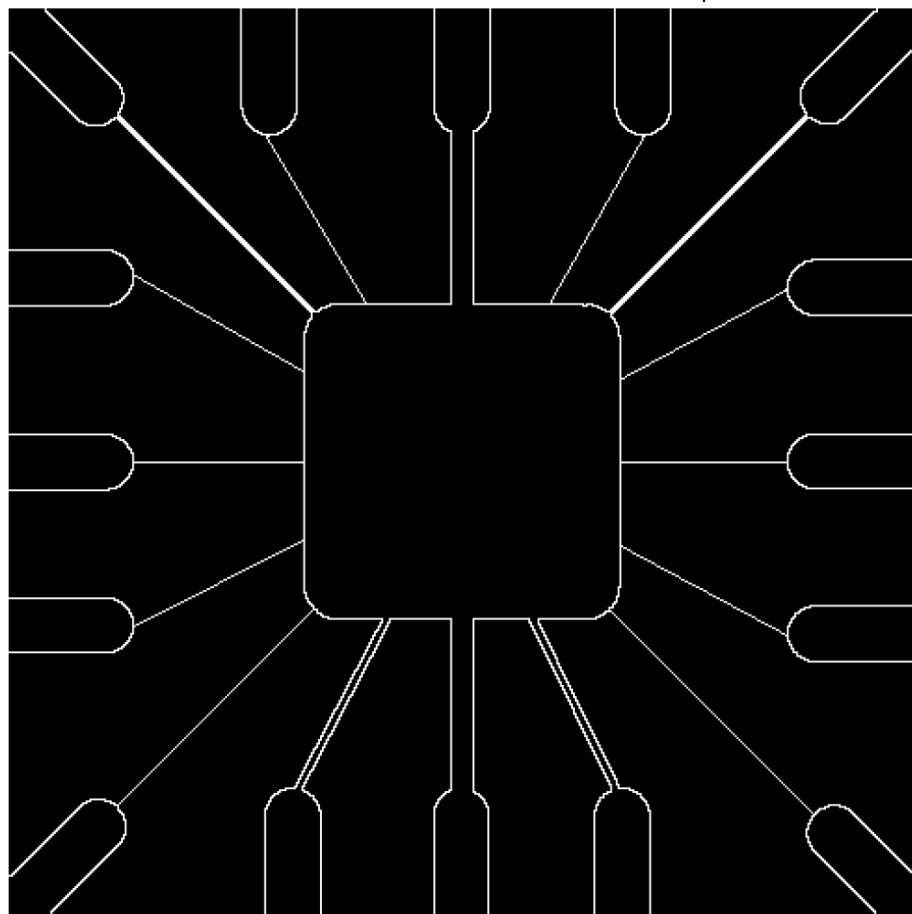
# 举例

线太粗



取绝对值

（负值通过取拉普拉斯图像的绝对值）



保留正数

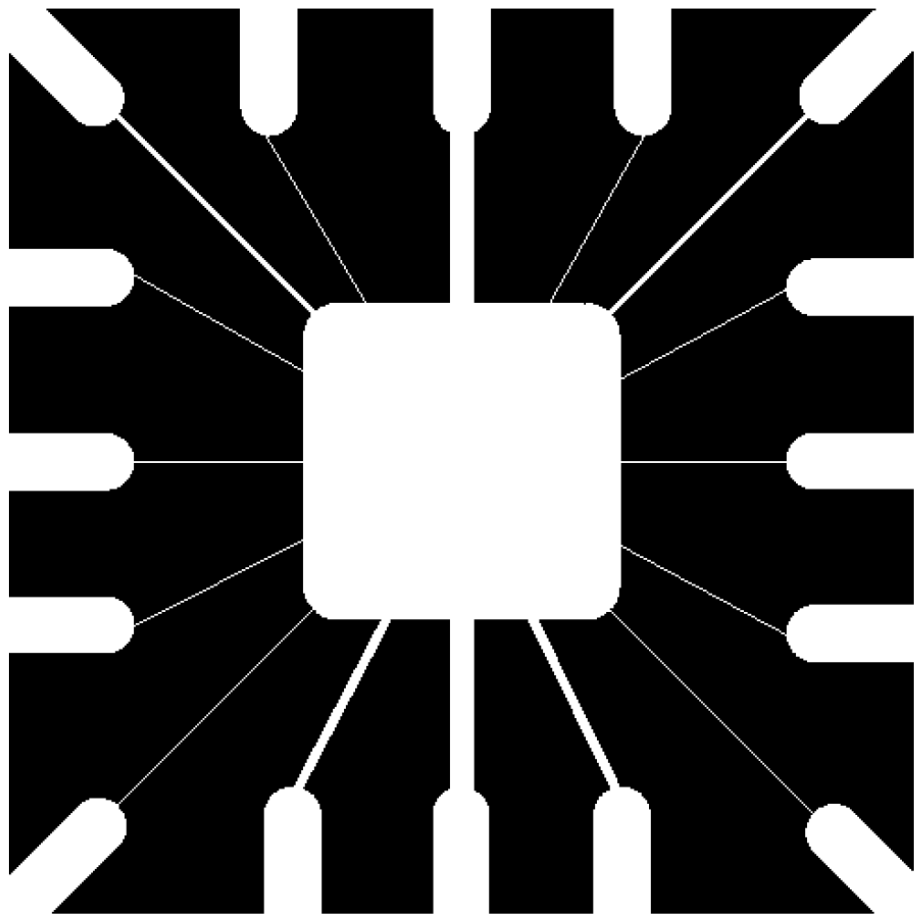
（仅使用拉普拉斯的正值）



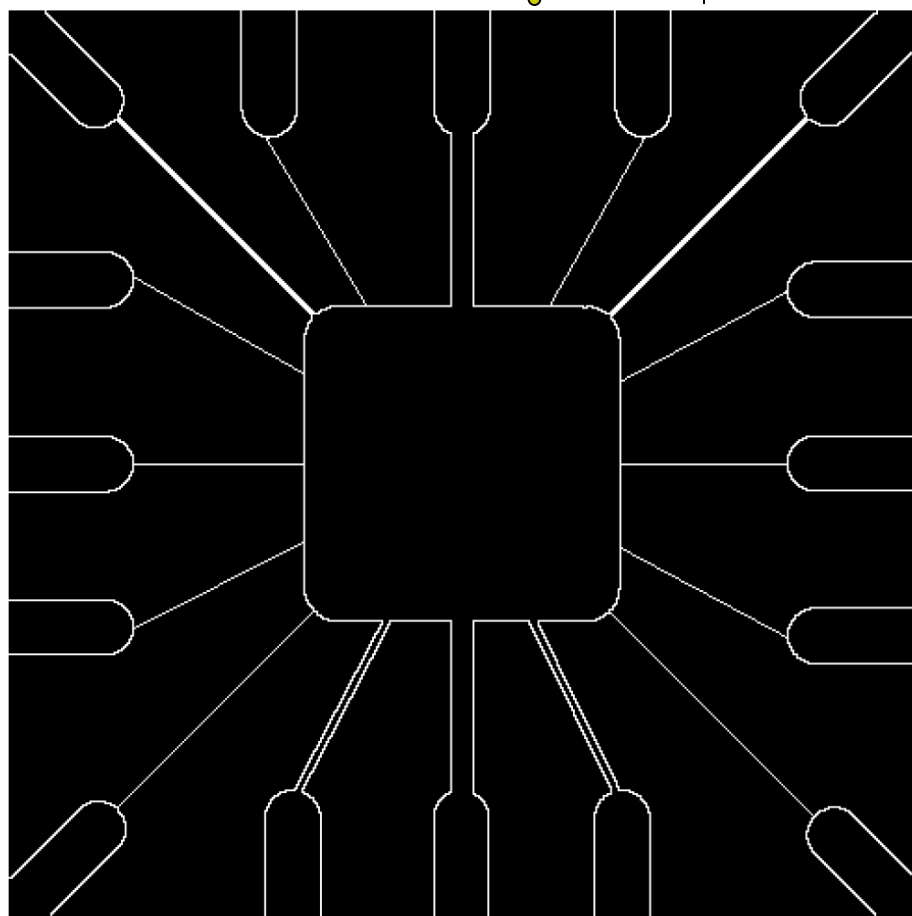
# 举例

宽线中间产生0值山谷

宽线最好被当做区域



原图



保留正数



# 检测特定方向的线



检测  
水平线

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

检测  
+45°线

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

检测  
垂直线

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

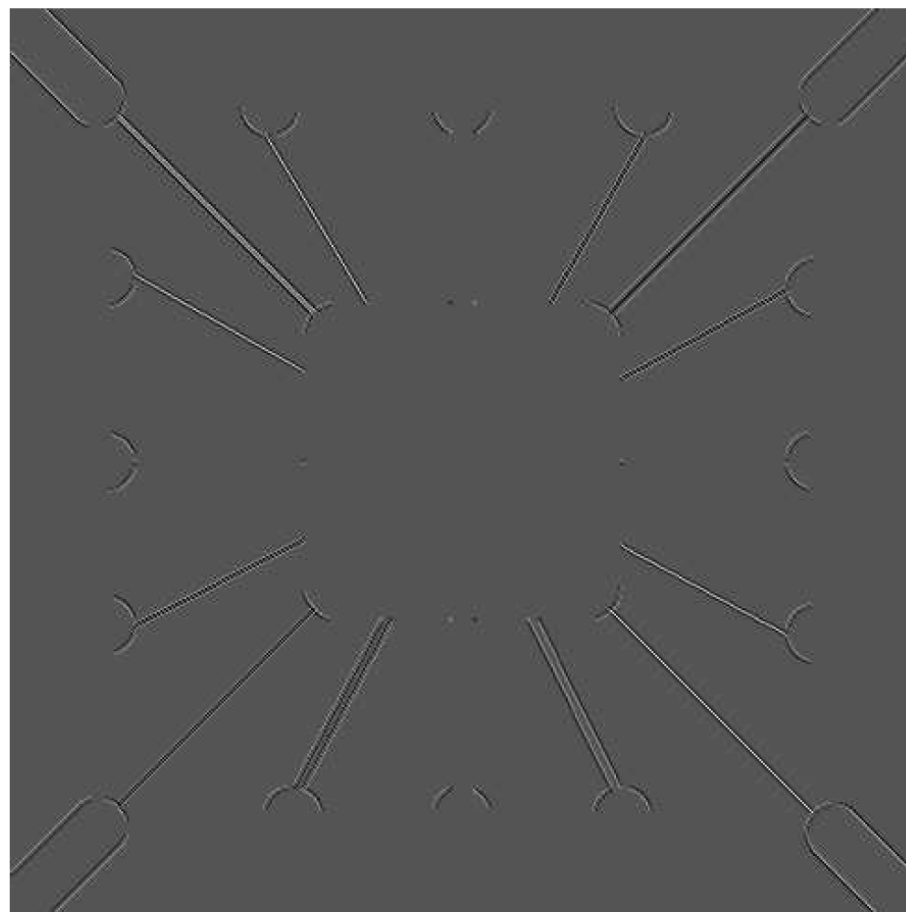
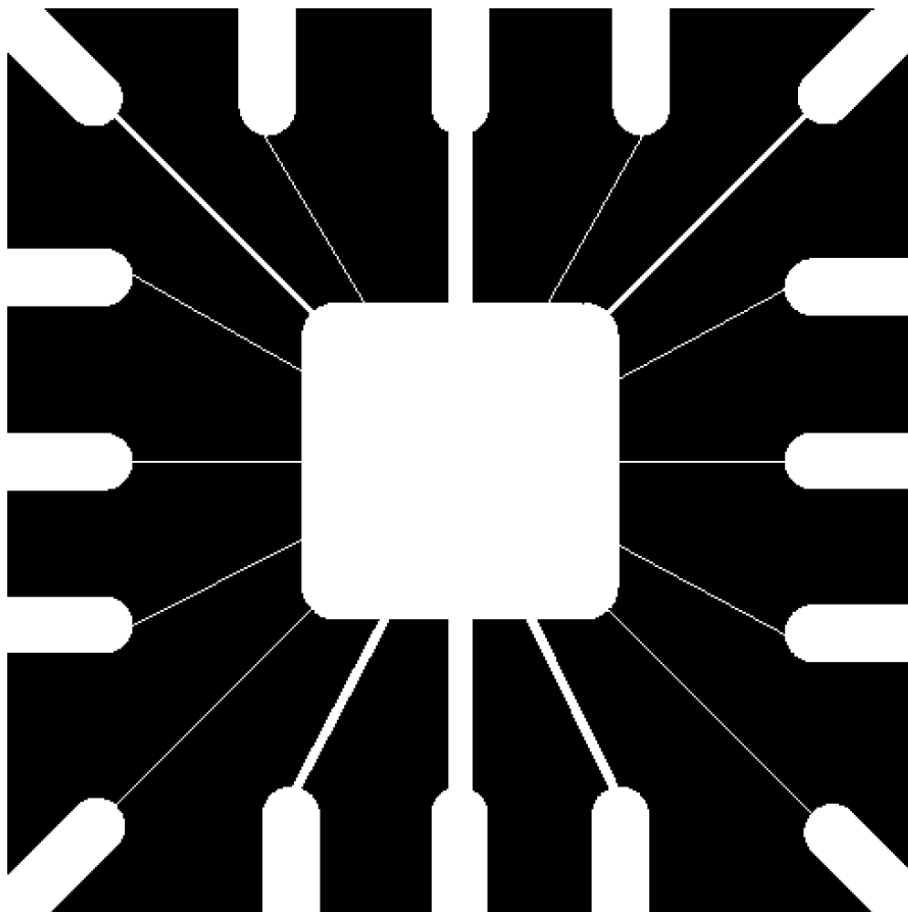
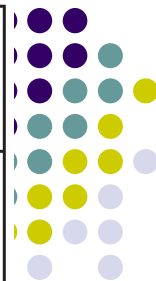
检测  
-45°线

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

# 举例

检测  
+45°线

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2



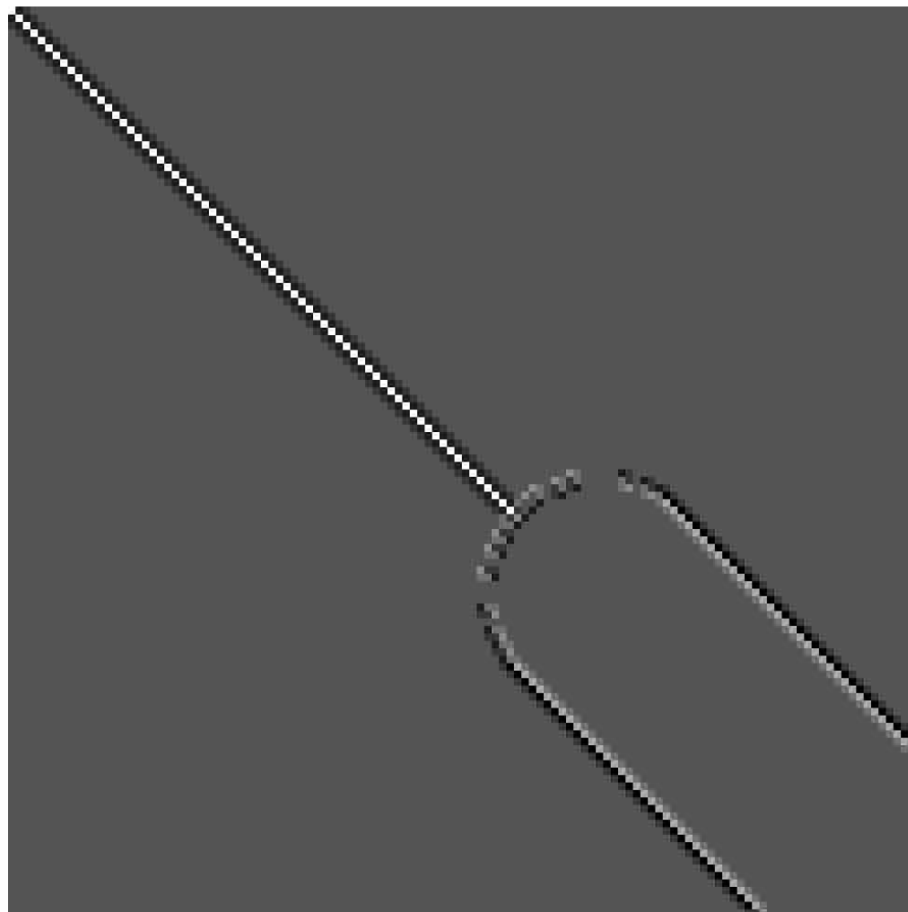
# 举例



左上角放大的图



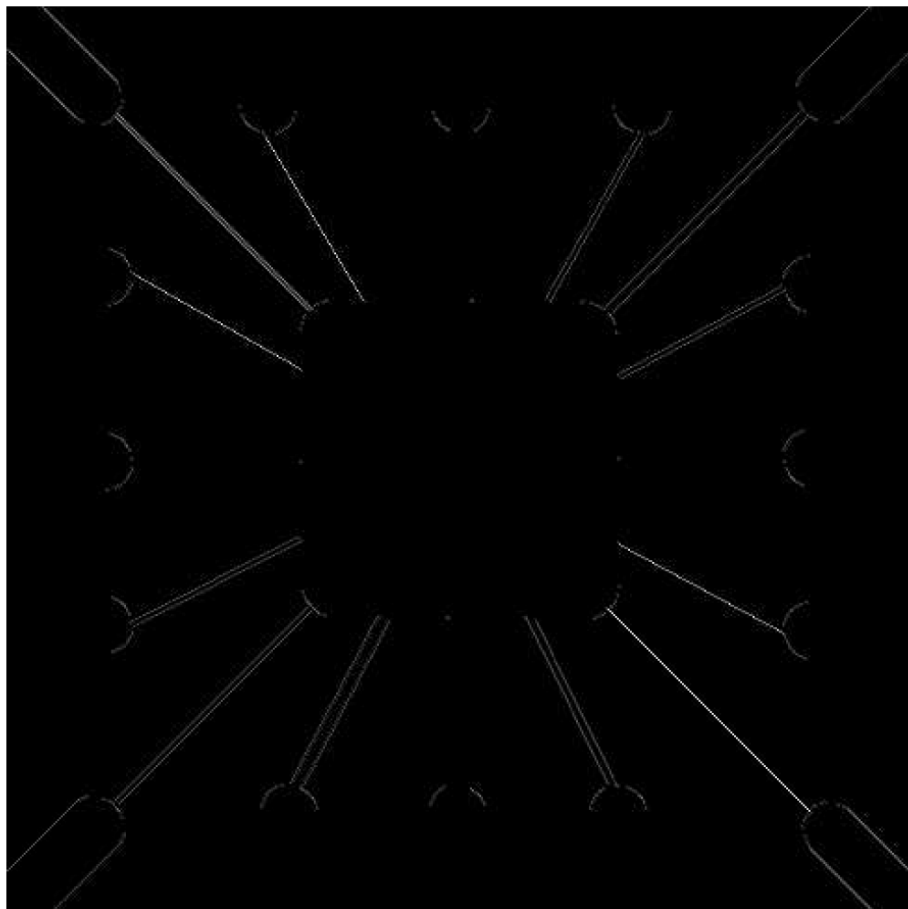
右下角放大的图



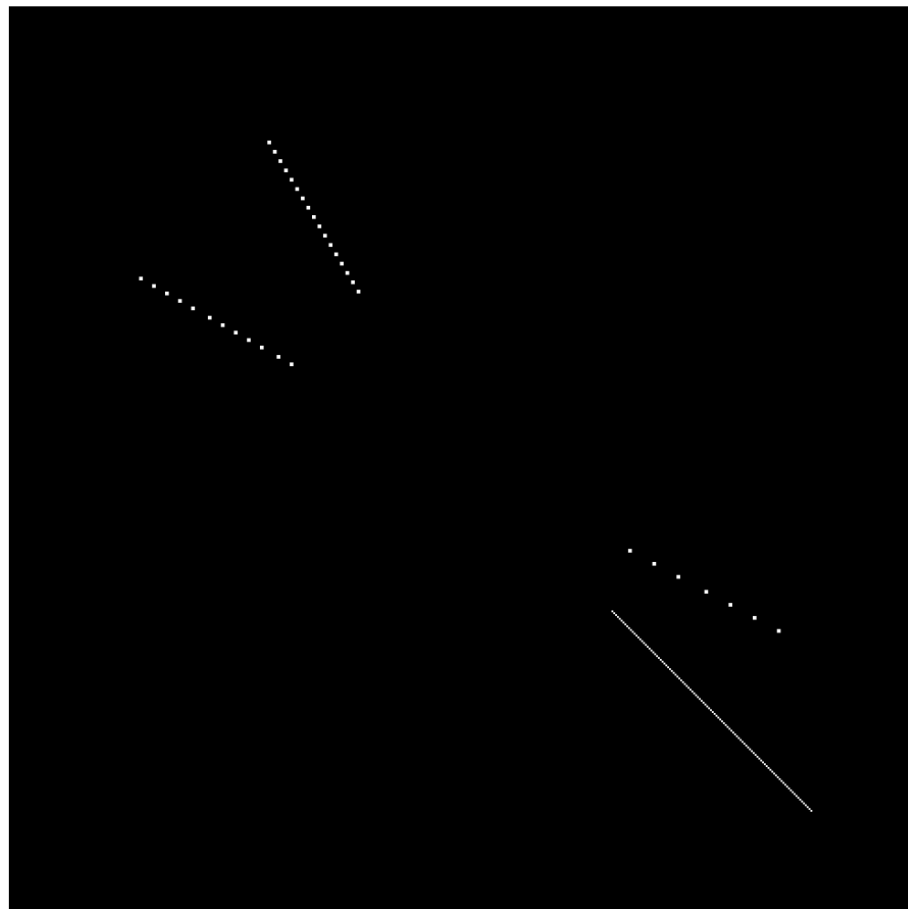
# 举例



保留正数



保留最大值

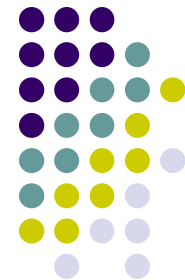


# 提纲



- 基础知识
- 点、线、边缘检测
  - 背景知识
  - 孤立点的检测
  - 线检测
  - 边缘模型
  - 基本边缘检测
  - 高级边缘检测
- 边缘连接和边界检测

# 边缘模型

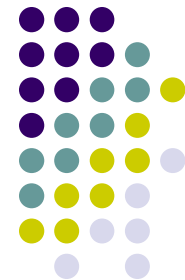


- 台阶边缘 (Step Edge)
  - 1个像素距离上发生灰度级的理想过渡
  - 经常出现在计算机生成的图像中

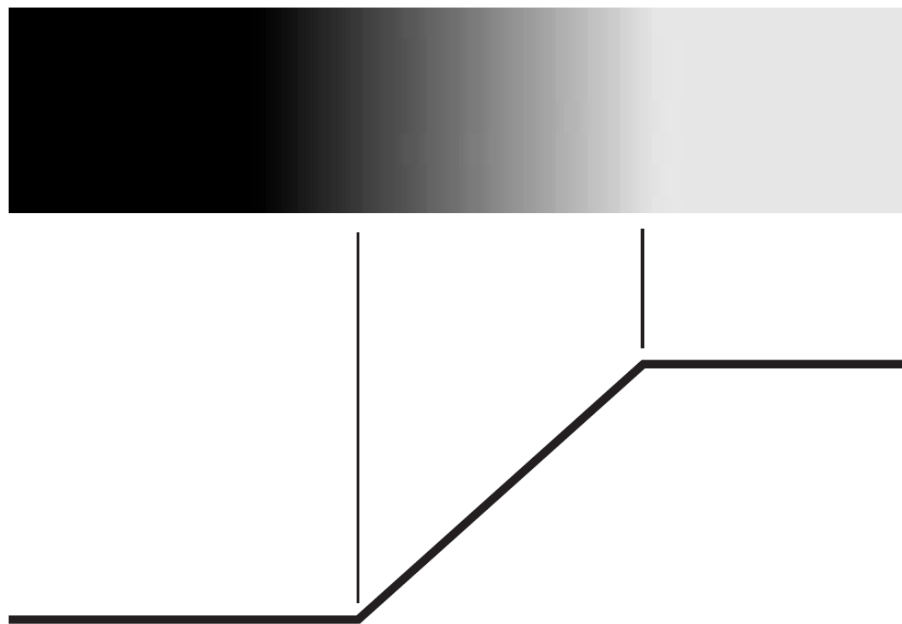




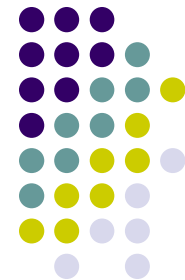
# 边缘模型



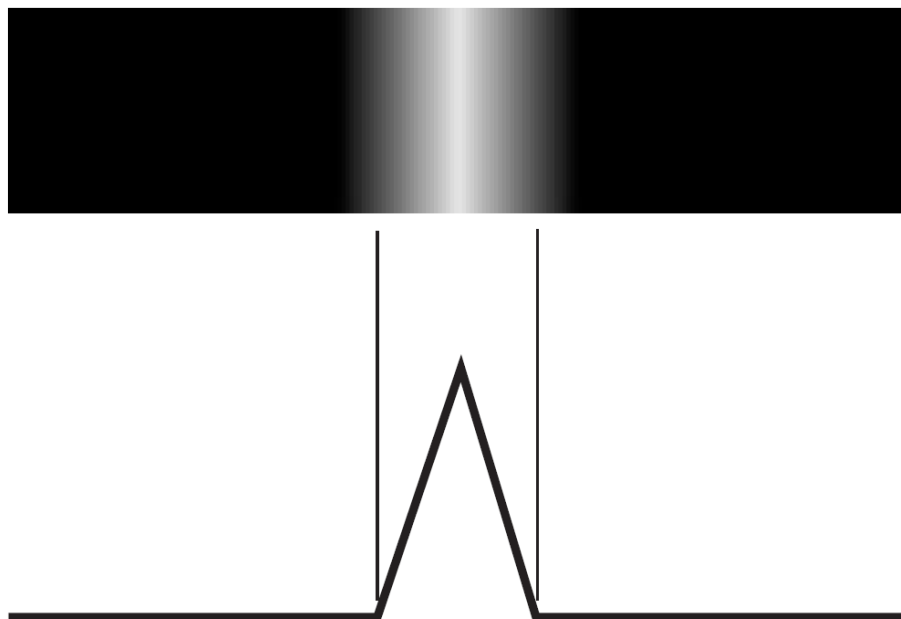
- 斜坡边缘 (Ramp Edge)
  - 实际边缘通常是模糊 (聚焦机制)、有噪声 (电子器件)
  - 斜率与模糊程度成反比



# 边缘模型



- 屋顶边缘 (Roof Edge)
  - 表示穿过区域的线
  - 出现在数字化的线条图、卫星图像中的道路



# 举例

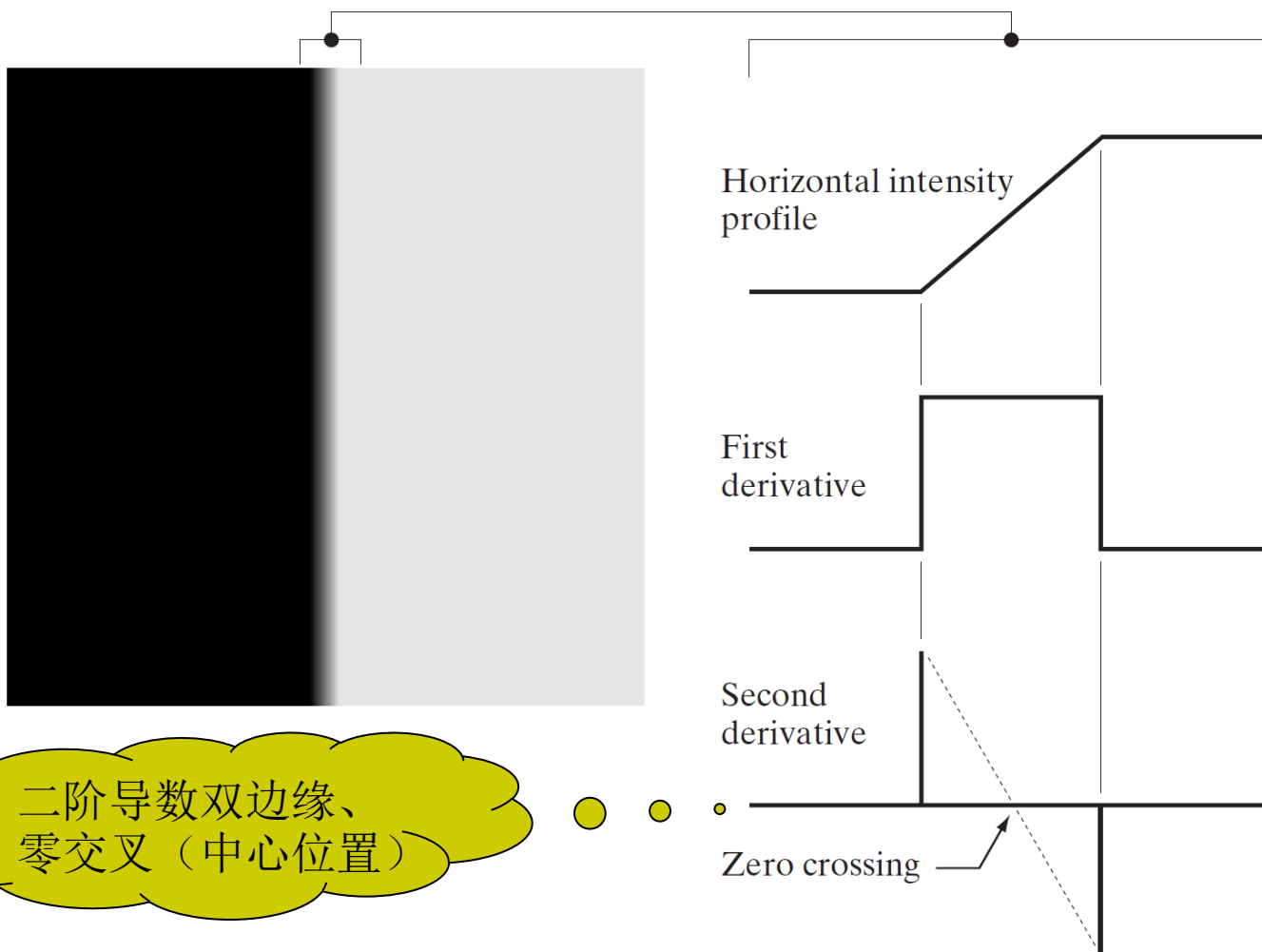
- 三种边缘通常同时出现
  - 陡峭的斜坡通常被认为是台阶



# 举例

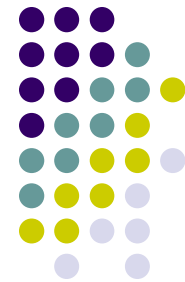
## ● 斜坡边缘

- 1、一阶导数的大小用来检测某像素处是否存在边缘
- 2、二阶导数的符号用来确定一个边缘像素位于亮或暗区域

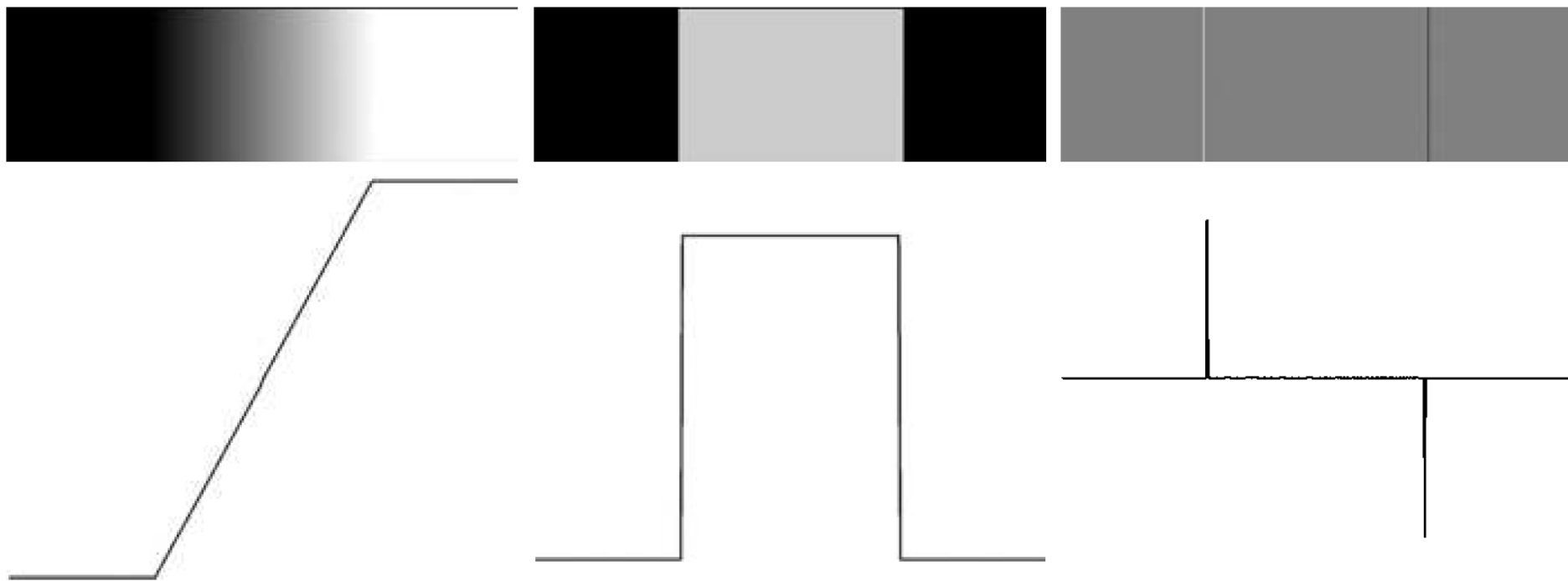


二阶导数双边缘、  
零交叉（中心位置）

# 存在噪声的边缘



- 无噪声的情况



灰度图

一阶导数

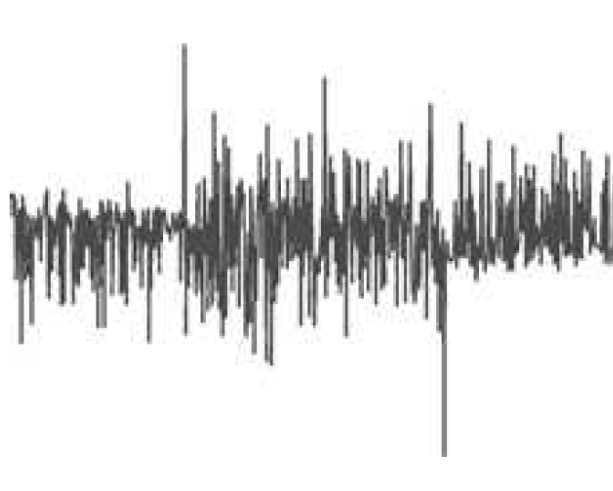
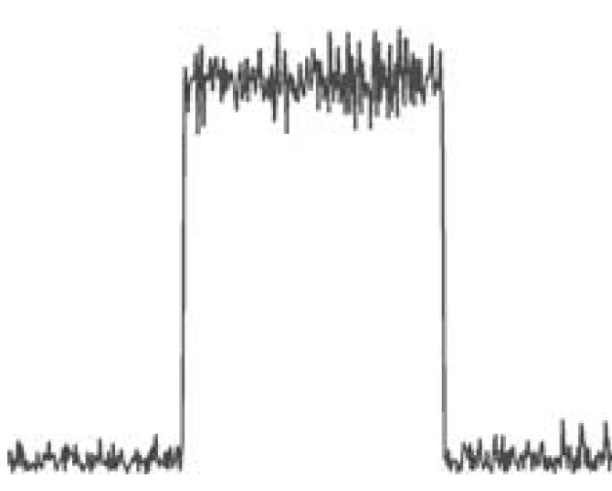
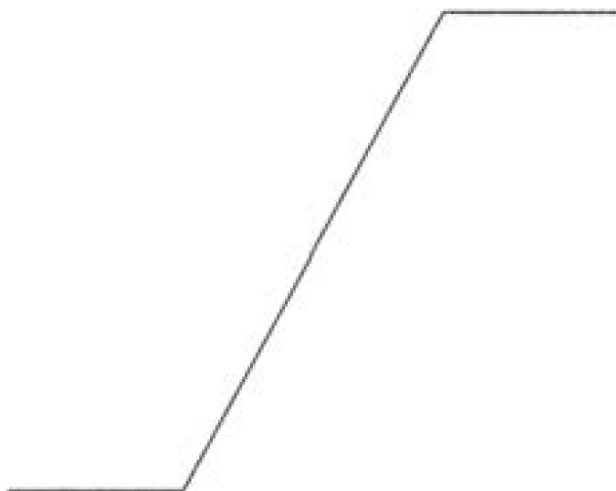
二阶导数

# 存在噪声的边缘

- 1、视觉上噪声并不明显
- 2、噪声对导数影响很大
- 3、二阶导数更敏感



- 均值为0，标准差为0.1的高斯噪声



灰度图

一阶导数

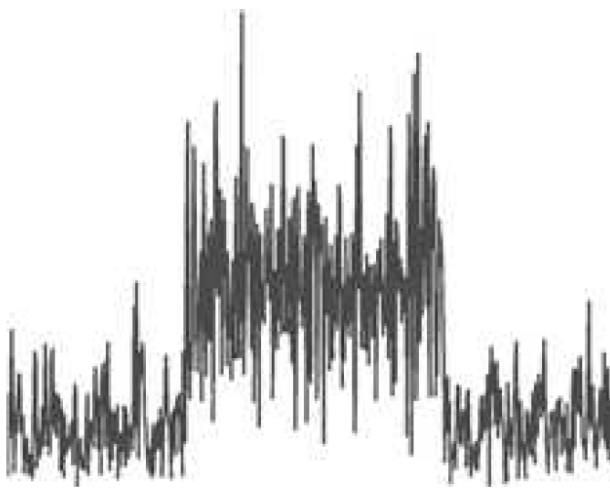
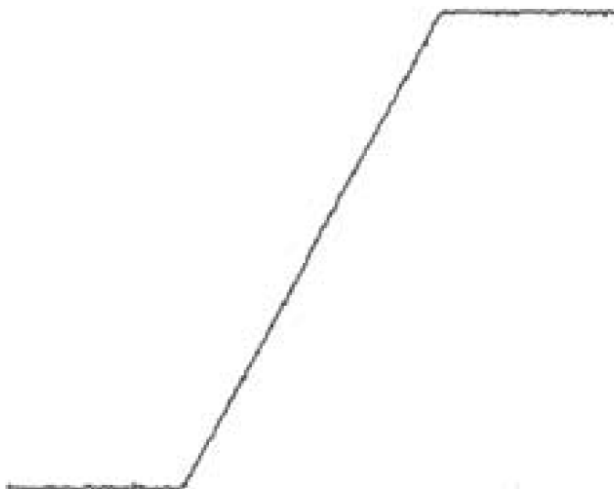
二阶导数

# 存在噪声的边缘

- 1、视觉上噪声并不明显
- 2、噪声对导数影响很大
- 3、二阶导数无法辨认



- 均值为0，标准差为1的高斯噪声



灰度图

一阶导数

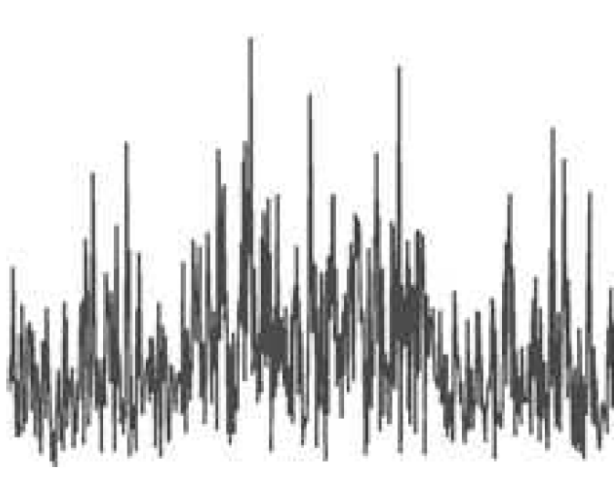
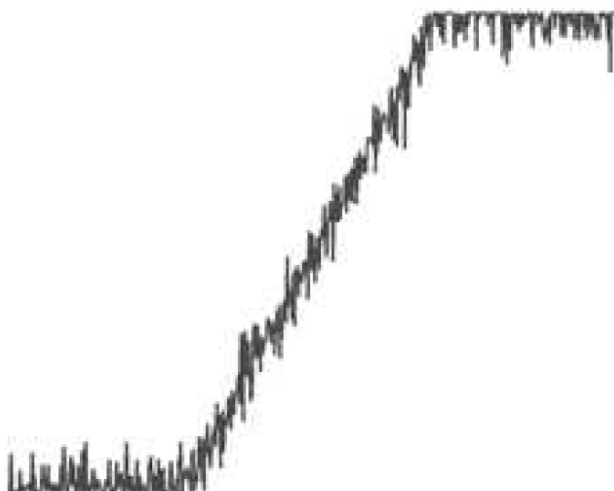
二阶导数

# 存在噪声的边缘

- 1、视觉上噪声并不明显
- 2、噪声对导数影响很大
- 3、导数无法辨认



- 均值为0，标准差为10的高斯噪声



灰度图

一阶导数

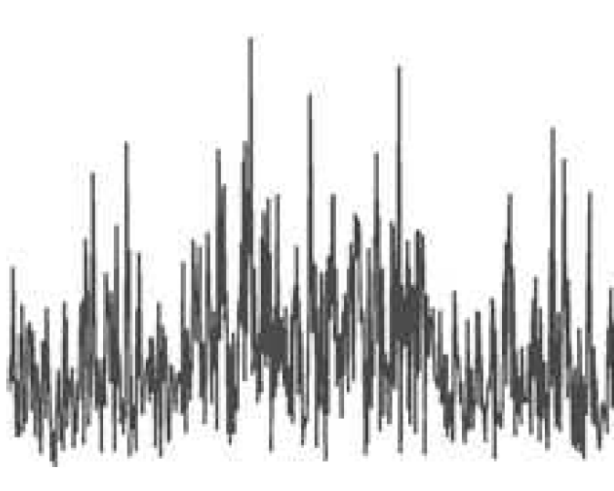
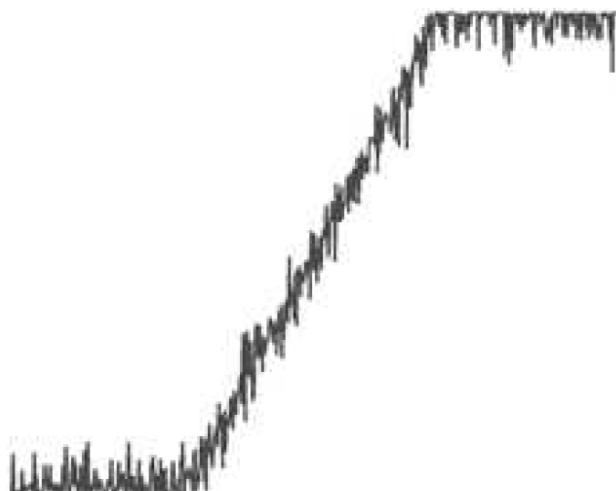
二阶导数



# 存在噪声的边缘

存在噪声时，图像平滑很必要

- 均值为0，标准差为10的高斯噪声



灰度图

一阶导数

二阶导数



# 边缘检测的三个基本步骤

1. 为降噪对图像进行平滑处理
  - 导数对噪声敏感
2. 边缘点的检测
  - 抽取所有的潜在边缘点
3. 边缘定位
  - 选出真正的边缘点