

数字图像处理

5. 空间滤波

李竹

杭州电子科技大学

电子信息学院



本章概要

1. 图像卷积的基本概念
2. 平滑滤波
3. 中值滤波
4. 边缘提取

卷积的基本概念

空间滤波是一种采用滤波处理的影像增强方法。其理论基础是空间卷积和空间相关。目的是改善影像质量，包括去除高频噪声与干扰，及影像边缘增强、线性增强以及去模糊等。分为低通滤波（平滑化）、高通滤波（锐化）和带通滤波。



降噪

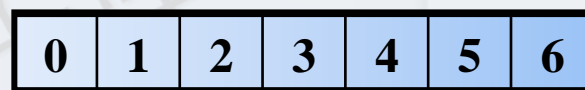


边缘提取

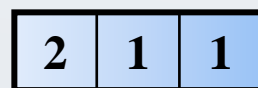
一维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。

输入

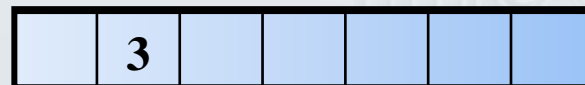


卷积核



$$2 \times 0 + 1 \times 1 + 2 \times 1$$

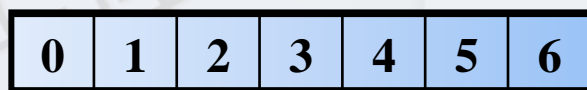
输出



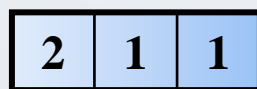
一维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。

输入

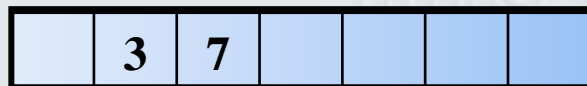


卷积核



$$2 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3$$

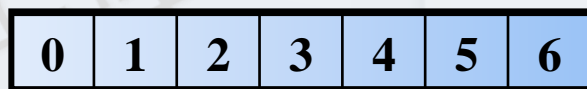
输出



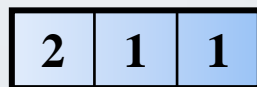
一维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。

输入

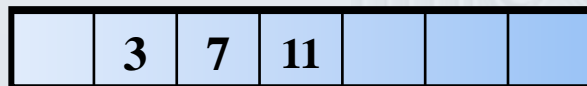


卷积核



$$2 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 4$$

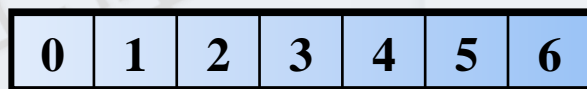
输出



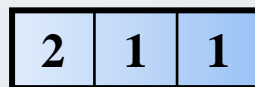
一维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。

输入

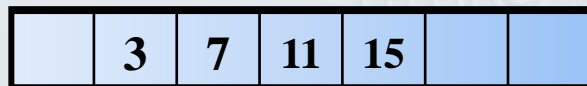


卷积核



$$2 \times 3 + 1 \times 4 + 1 \times 5$$

输出



一维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。

输入

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

卷积核

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

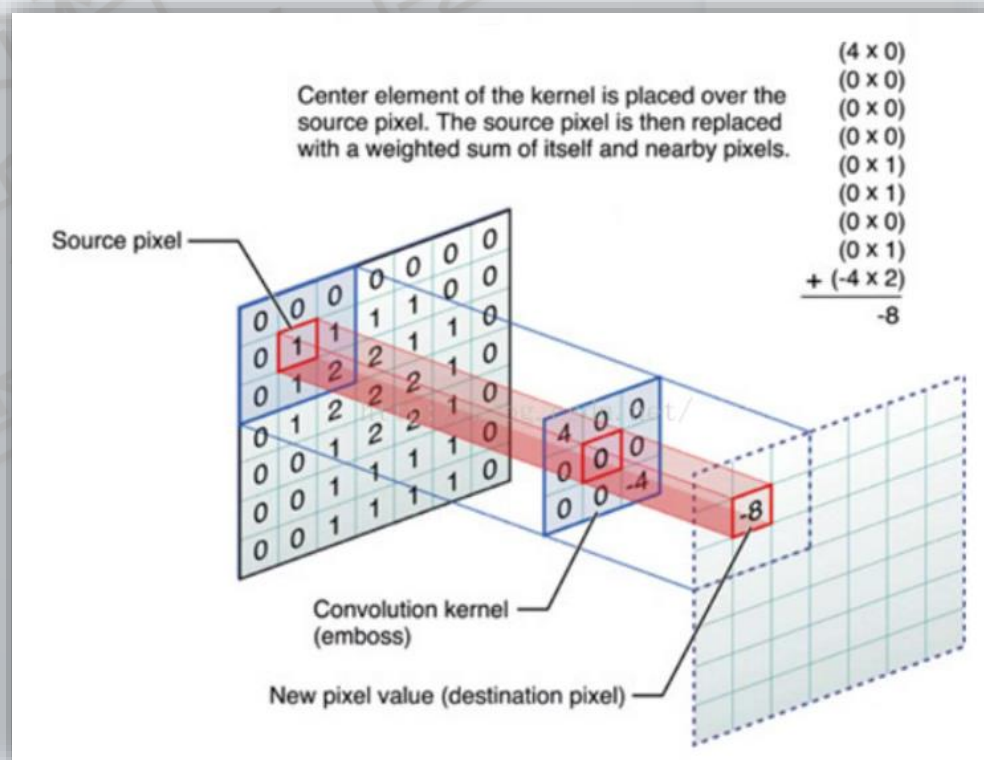
$$2 \times 4 + 1 \times 5 + 1 \times 6$$

输出

	3	7	11	15	19	
--	---	---	----	----	----	--

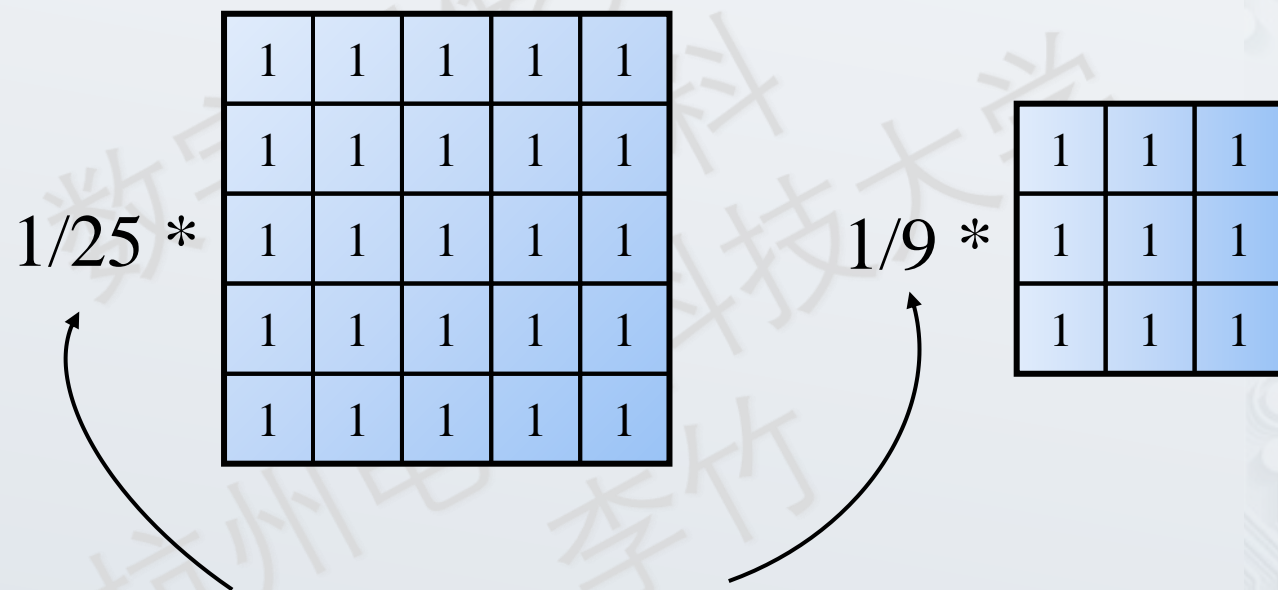
二维卷积实例

对数字图像做卷积操作其实就是利用卷积核在图像上滑动，将图像点上的像素灰度值与对应的卷积核上的数值相乘，然后将所有相乘后的值相加作为卷积核中间像素对应的图像上像素的灰度值，并最终滑动完所有图像的过程。



卷积的应用：均值滤波

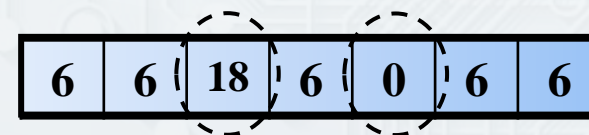
两种基本的平滑卷积



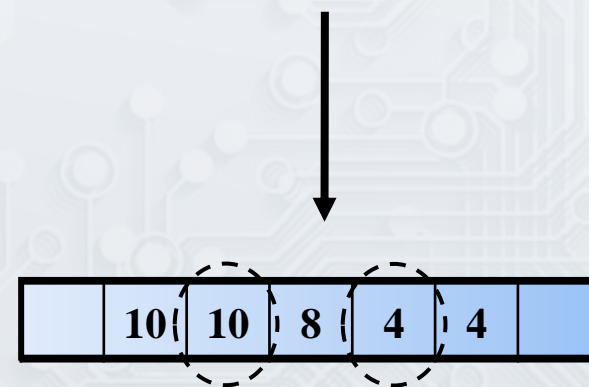
归一化，使灰度不超过0-255的范围

卷积的物理意义：在 5×5 或 3×3 范围内取平均值。

为方便讨论，以1D为例



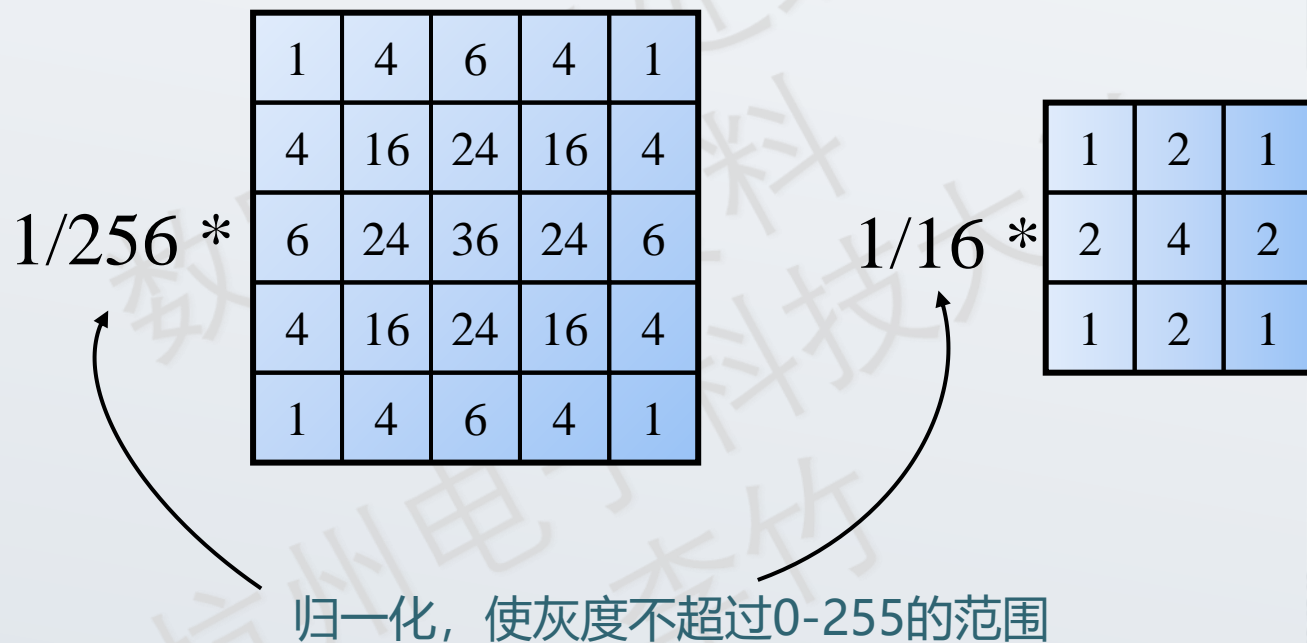
$$1/3 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



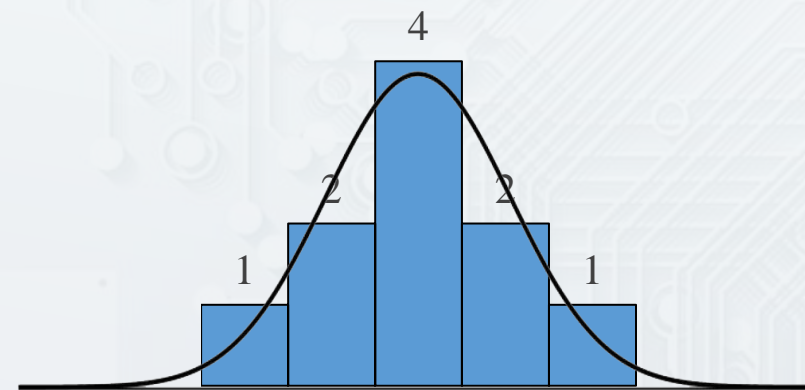
与周围差距较大的值趋向于与周围相似，整体值趋向于平均化

卷积的应用：平滑滤波

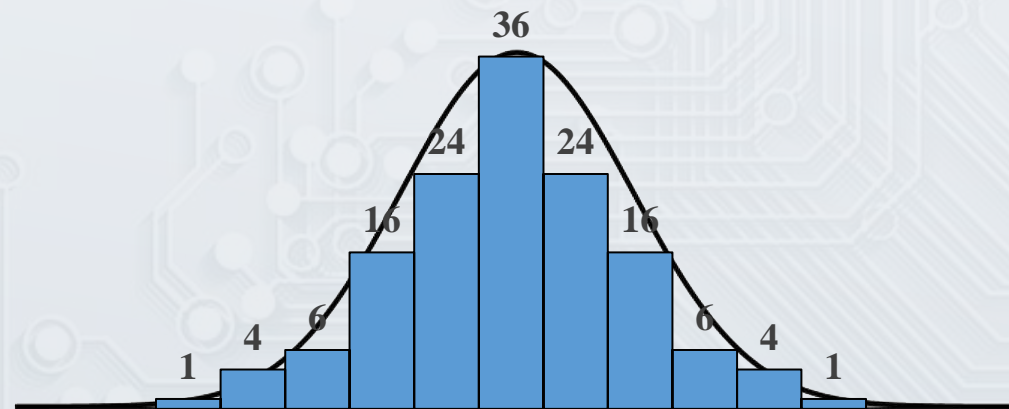
通过高斯分布加权的高斯平滑卷积



卷积的物理意义：在 5×5 或 3×3 范围内取平均值。同时距离待处理像素越近的像素权重更大，即对输出影响越大。



权重的取值为高斯分布的近似值



中值滤波

中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

10	12	28	10	0	11	10
----	----	----	----	---	----	----

卷积核尺寸: 3

排序:

10	12	28
----	----	----

取中值

输出

	12					
--	----	--	--	--	--	--

中值滤波

中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

10	12	28	10	0	11	10
----	----	----	----	---	----	----

卷积核尺寸: 3

排序:

10	12	28
----	----	----

取中值

输出

	12	12				
--	----	----	--	--	--	--

中值滤波

中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

10	12	28	10	0	11	10
----	----	----	----	---	----	----

卷积核尺寸: 3



排序:

0	10	28
---	----	----

取中值



输出

	12	12	10			
--	----	----	----	--	--	--

中值滤波

中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

10	12	28	10	0	11	10
----	----	----	----	---	----	----

卷积核尺寸: 3



排序:

0	10	11
---	----	----

取中值



输出

	12	12	10	10		
--	----	----	----	----	--	--

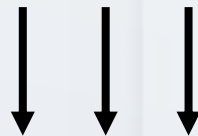
中值滤波

中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

10	12	28	10	0	11	10
----	----	----	----	---	----	----

卷积核尺寸: 3



排序:

0	10	11
---	----	----

取中值



输出

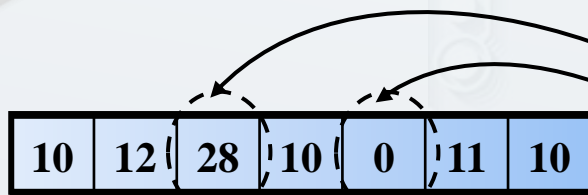
	12	12	10	10	10	
--	----	----	----	----	----	--

中值滤波

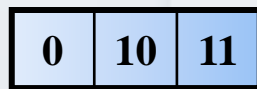
中值是一种非线性滤波，不需要制定卷积核，只需要制定滤波器尺寸

输入

卷积核尺寸: 3

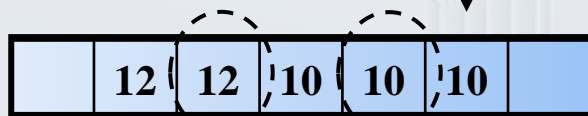


排序:



取中值

输出



一些和周围像素值差异特别大的点被周围的像素值代替。表现在图像就是一些特别亮或者特别暗的点被周围的像素值代替。

图像中两种常见的噪声

椒盐噪声：它是一种随机出现的白点或者黑点，即亮的区域有黑色像素或是在暗的区域有白色像素（或是两者皆有）。椒盐噪声的成因是图像信号受到突如其来的强烈干扰而产生。椒盐噪声通常使用**中值滤波**降噪



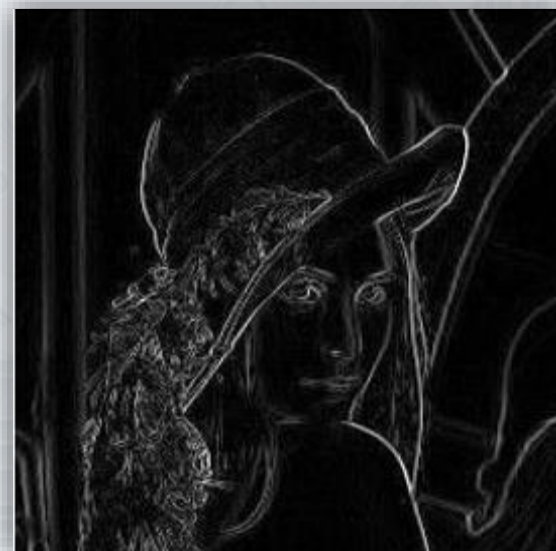
高斯噪声：主要来源是在采集过程中产生的，例如由照明不良和/或高温引起的传感器噪声。其概率分布上符合正太分布。高斯噪声通常使用**平滑滤波**进行降噪。



图像的边缘检测

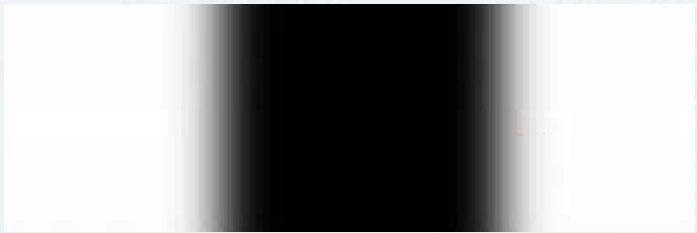
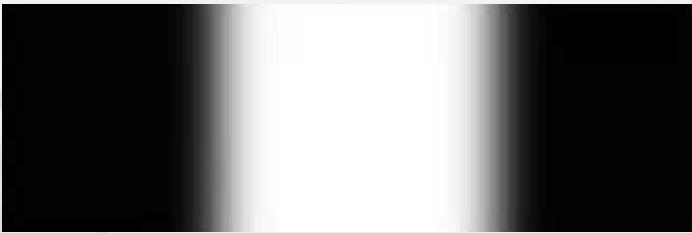
边缘检测是图像处理中的重要问题，是很多图像处理算法的基本步骤之一。边缘是图像中的重要特征信息，如深度学习中的卷积神经网络，其本质就是通过卷积抓取基本的边缘特征，再不断向上构建更高层次的特征。

边缘在图像上表现为亮度变化剧烈的像素点。



图像的边缘检测

图像



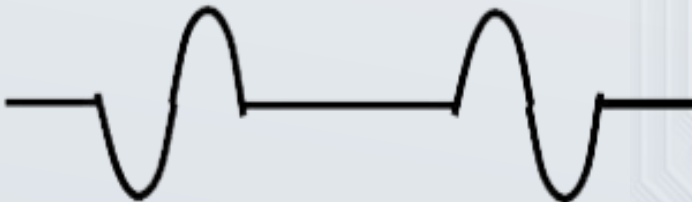
像素值



一阶微分



二阶微分



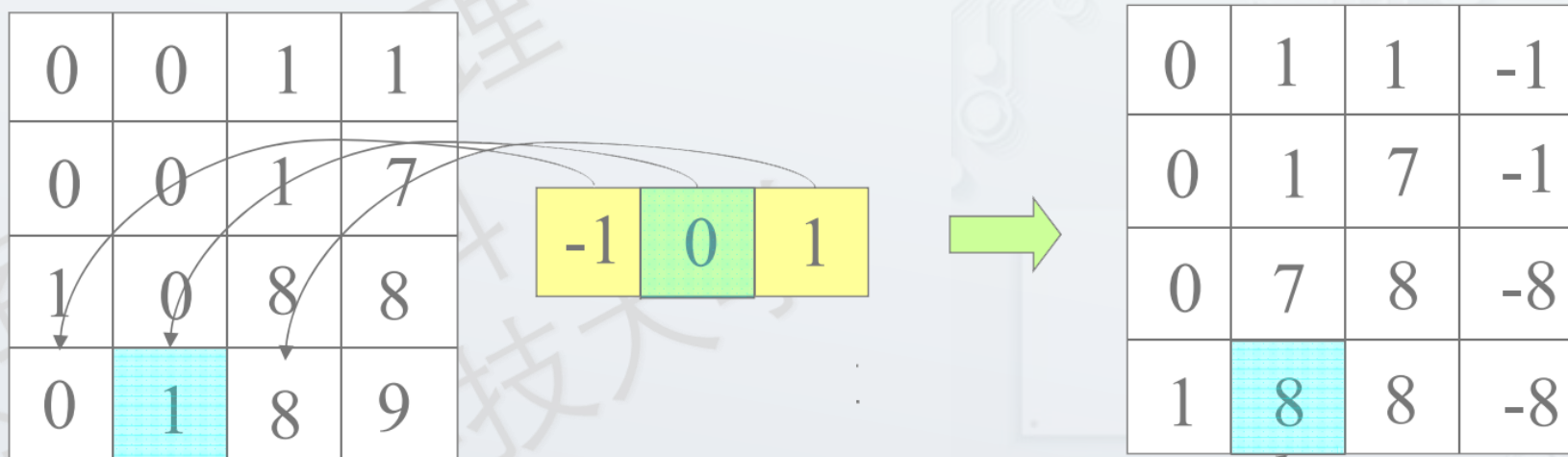
图像的边缘检测

离散信号的微分计算 = 减法运算

水平方向 $\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx \frac{f(x+1, y) - f(x, y)}{x+1 - x} = f(x+1, y) - f(x, y)$

垂直方向 $\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx \frac{f(x, y+1) - f(x, y)}{y+1 - y} = f(x, y+1) - f(x, y)$

图像的边缘检测



$[-1, 0, 1]$ 卷积核表示，对每个像素使用他右边的像素值减去左边的像素值。即求水平上的微分值。如果使用右边的卷积核呢？

-1
0
1

Prewitt 算子

其实质是把降噪的平滑卷积核
边缘提取的卷积相结合



*

-1		1
-1		1
-1		1

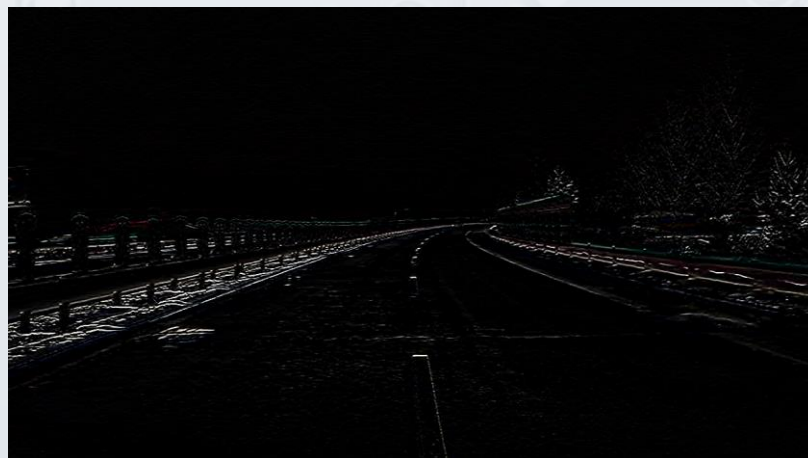
=



*

-1	-1	-1
1	1	1

=



Sobel 算子

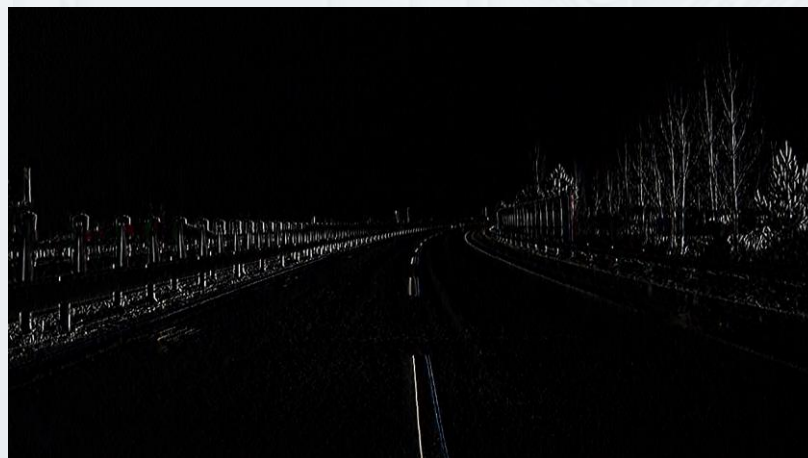
如果使用近似高斯分布的平滑
卷积，则：



*

-1		1
-2		2
-1		1

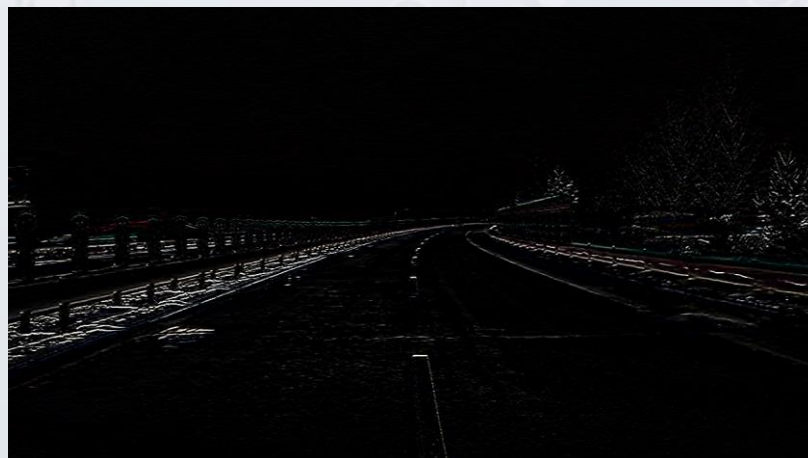
=



*

-1	-2	-1
1	2	1

=

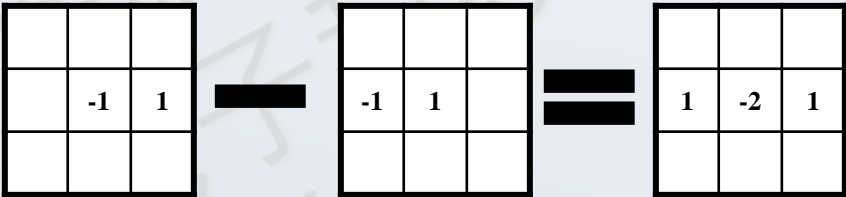


拉普拉斯 (Laplacian) 算子

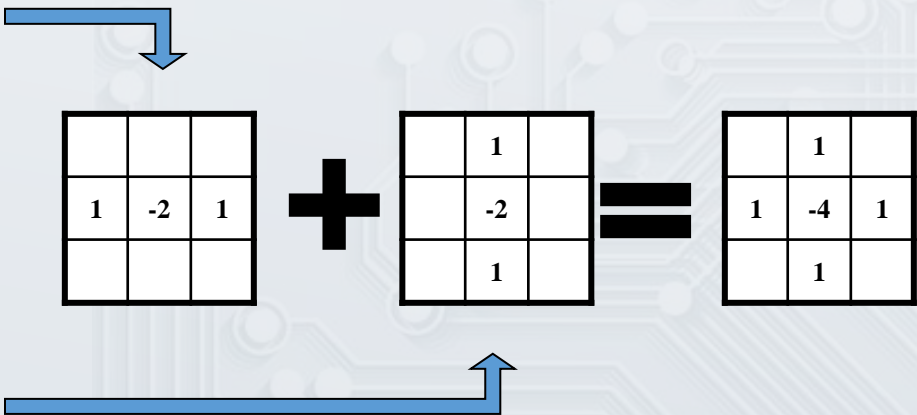
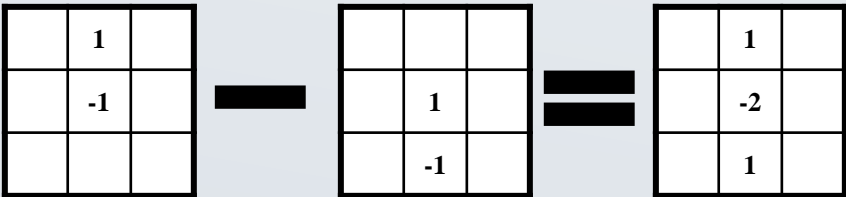
拉普拉斯算子通过求图像的二阶微分，获得边缘信息

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

水平方向的一阶微分 水平方向二阶微分



垂直方向的一阶微分 垂直方向二阶微分



	1	
1	-4	1
	1	

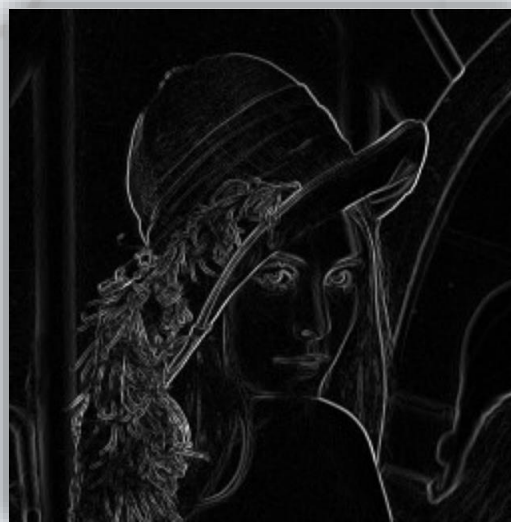
canny算子

最常用的边缘检测算子，很好的解决了伪边缘的问题，主要步骤如下：

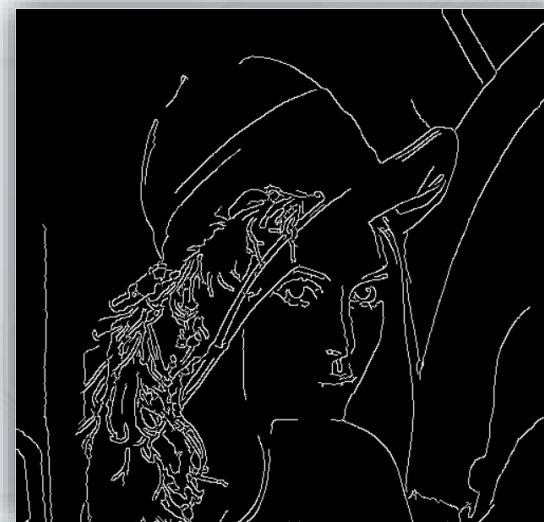
- 高斯卷积降噪
- 计算图像的一阶微分，方向和幅值
- 非极大值抑制
- 双阈值处理



原图



sobel



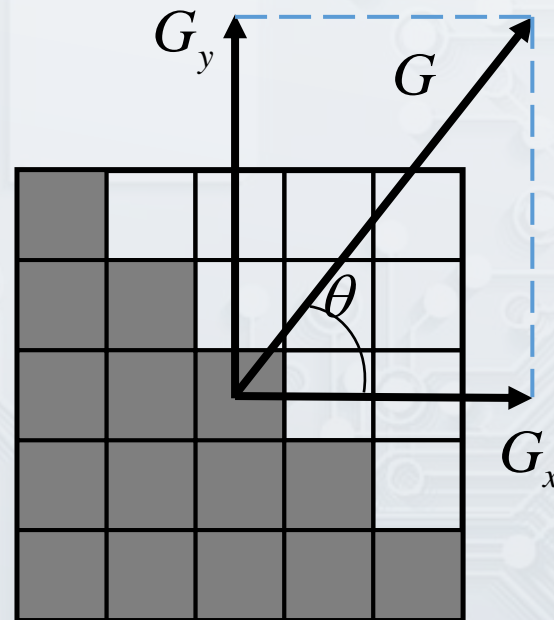
canny

canny算子

边缘的方向和幅值，一阶微分通常只求水平及垂直方向的梯度，在此基础上canny算子进一步求出边缘的实际方向和该方向上的幅值。

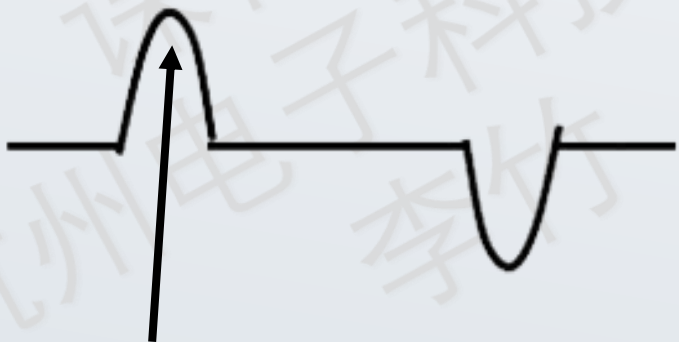
幅值: $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$

方向: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$

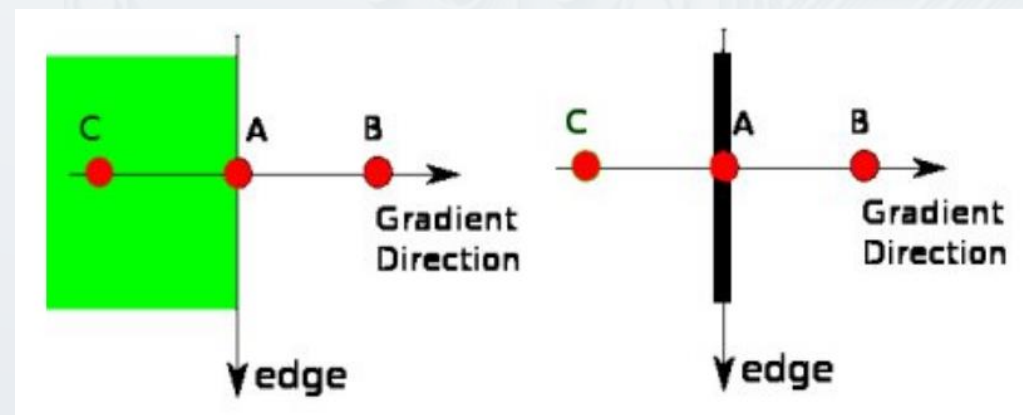


canny算子

通过非极大值抑制，找到梯度方向上的局部最大值。



并非梯度响应值大的像素就是边缘像素，而是局部最大值为边缘像素。



判断点A是否为边缘点，需要把和其边缘方向上的B点和C点进行比较，如果是最大值的话则进入下一步，否则置0（抑制）。

canny算子

双阈值筛选并连接边缘像素，设置最大阈值HT和最小阈值LT。

像素	评价
梯度值 > HT	边缘像素
HT > 梯度值 > LT	如果该像素周围有边缘像素，则该像素位边缘像素，否则为非边缘像素。
梯度值 < LT	非边缘像素

锐化算子

图像锐化可以实现边缘增强，凸显细节。可通过以下算子实现，实质是拉普拉斯算子。



原图

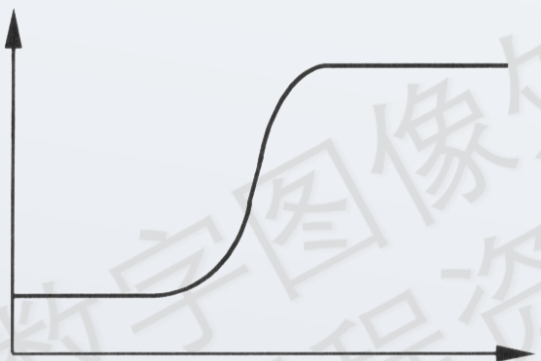


锐化结果

	-1	
-1	5	-1
	-1	

卷积核

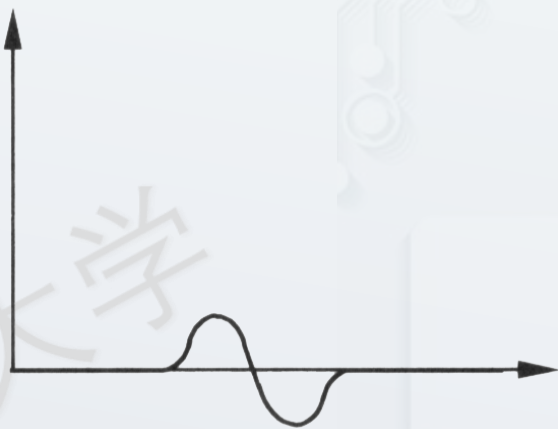
锐化算子



原图

	1	

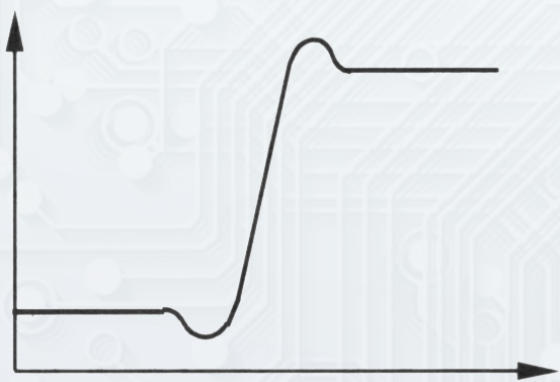
—



二阶微分

	1	
1	-4	1
	1	

=



锐化 (边缘增强)

	-1	
-1	5	-1
	-1	

数字图像处理
课程资料
杭州电子科技大学
李竹

谢谢！

