



北京交通大学

图像处理与机器学习

Digital Image Processing and Machine Learning

主讲人：黄琳琳

电子信息工程学院



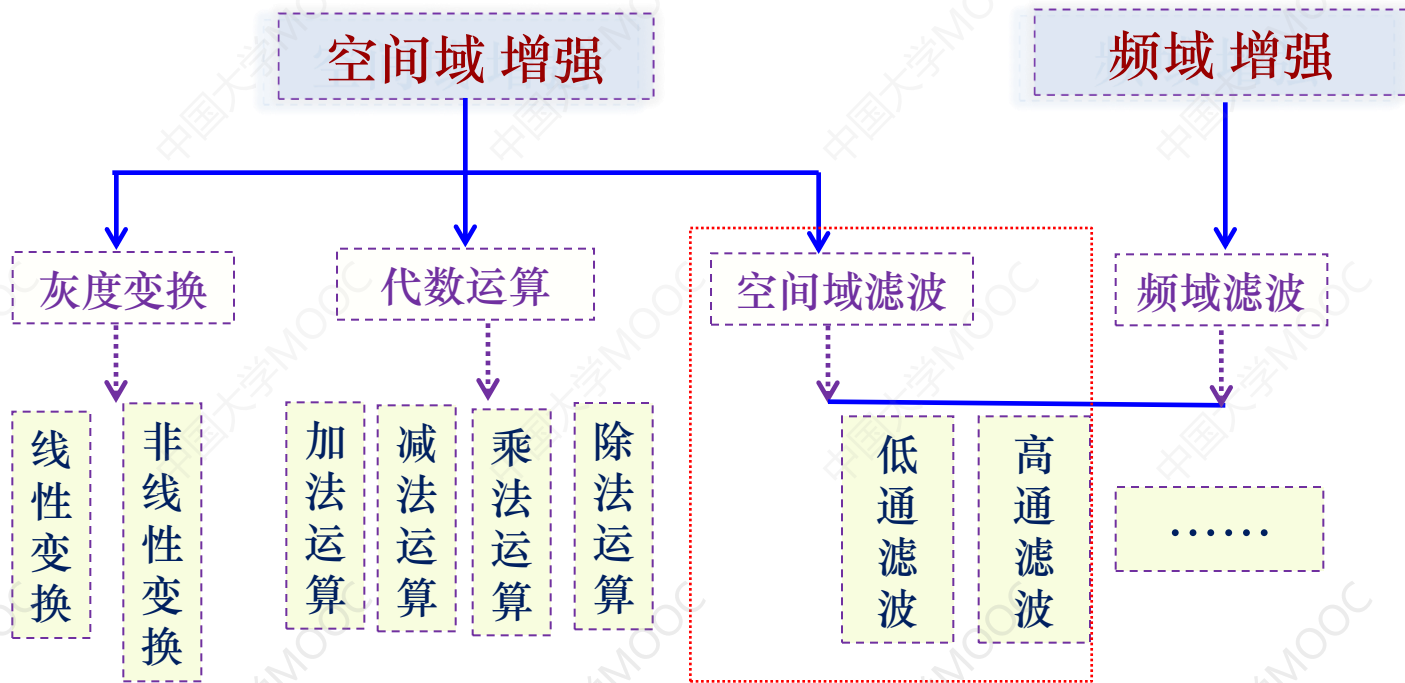
第二章 图像增强

- ◆ 引言
- ◆ 空间域增强
- ◆ 频域增强



引言

➤ 图像增强方法





空间域滤波



原图



高斯低通滤波

低通滤波：图像平滑



空间域滤波



高通滤波：图像锐化

- ✓ 突出图像的**细节**特征
- ✓ 增强图像模糊的**边缘**



空间域滤波

➤ 低通滤波

-- 积分运算

-- 平滑图像

$$y(j,i) = \sum_m \sum_n h(m,n)x(j+m,i+n)$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

1	2	1
2	4	2
1	2	1



空间域滤波

➤ 图像锐化

- 微分运算
- 增强高频
- 突出边缘



➤ 微分运算

- 计算图像中像素的梯度
- 二维：水平和垂直方向



空间域滤波

图像 $f(x, y)$ 在像素 (x, y)

水平垂直方向梯度分别记为: $G_x = \frac{\partial f}{\partial x}$ $G_y = \frac{\partial f}{\partial y}$

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

图像 $f(x, y)$ 在像素 (x, y) 的梯度 $\nabla f(x, y)$ 为一个向量:

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



空间域滤波

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

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

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

图像边缘

- ✓ 平坦区（灰度不变区域）差分值为零
- ✓ 边缘（灰度变化区域）差分值为非零



空间域滤波

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

$$|\nabla f(x, y)| = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

图像边缘

$$f(x, y) + |\nabla f(x, y)| \rightarrow \text{锐化图像}$$

基于梯度的图像增强



空间域滤波

➤ 基于一阶差分的图像增强

$$|\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad |\nabla f| = |G_x| + |G_y|$$

Robert: 交叉差分算法

$$G_x = f(x+1, y+1) - f(x, y) \quad G_x = z_9 - z_5$$

$$G_y = f(x, y+1) - f(x+1, y) \quad G_y = z_8 - z_6$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Robert算子



空间域滤波

➤ 基于一阶差分的图像增强

$$|\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad |\nabla f| = |G_x| + |G_y|$$

$$G_x = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)$$

$$G_y = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

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

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

Prewitt 算子



空间域滤波

➤ 基于一阶差分的图像增强



原图



Prewitt 算子提取边缘



增强图像



空间域滤波

➤ 基于一阶差分的图像增强

$$G_x = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

$$G_y = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

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

Sobel 算子



空间域滤波

➤ 基于一阶差分的图像增强



原图



Sobel 算子提取边缘



增强图像



空间域滤波

➤ 基于二阶差分的图像增强

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

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

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

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

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

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



空间域滤波

➤ 基于二阶差分的图像增强

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

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8)$$

$$\nabla^2 f = 8z_5 - (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_8 + z_9)$$

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

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

Laplace算子



空间域滤波

➤ 基于二阶差分的图像增强



原图



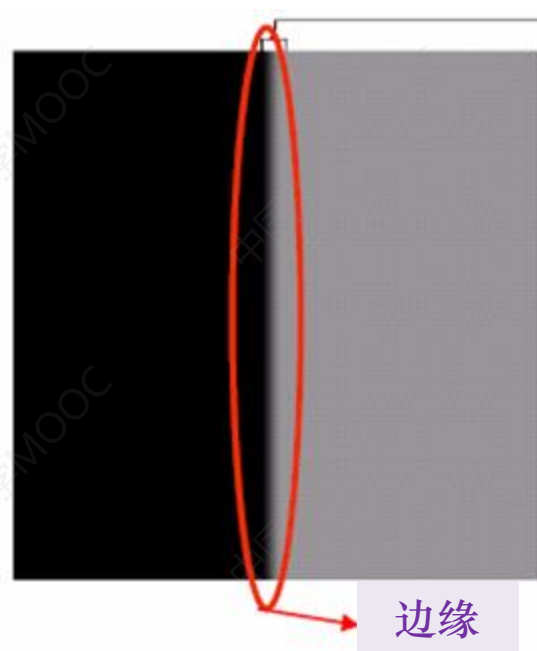
Laplace算子提取边缘



增强图像



空间域滤波



边缘

沿着斜坡和灰度为常数的区域为零

- ✓ 一阶导数可以检测图像中的某像素点是否在边缘上
- ✓ 二阶导数可以判断一个边缘像素点在亮或暗的一边

First
derivative

Second
derivative

在边缘斜面上，一阶导数为正，
其它区域为零

在边缘与黑色交界处，二阶导数为正
在边缘与亮色交界处，二阶导数为负



空间域滤波

➤ Laplace算子

- 对噪声敏感
- 不能检测边缘的方向
- 零交叉性质进行边缘定位

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

➤ Sobel算子

- 对噪声敏感度较低
- 可以检测边缘的方向
- 无法进行边缘定位

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

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

45度方向



空间域滤波

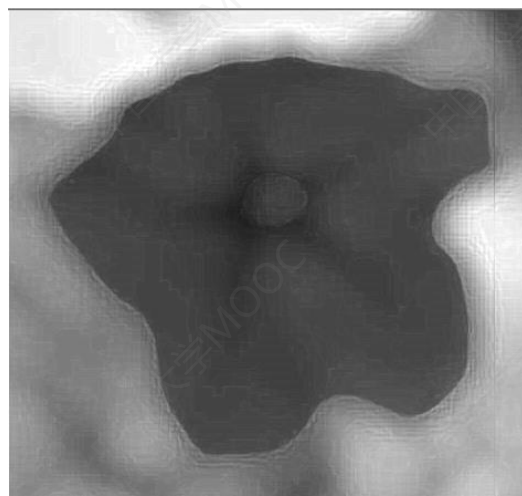
➤ 基于二阶差分的图像增强



原图



基于Laplace算子增强



基于Sobel算子增强



空间域滤波

- 基于一阶差分算子图像增强
- 基于二阶差分算子图像增强

高通滤波：图像锐化



谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事和同行的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！