《数字图像处理》期末速通教程

6. 图像平滑

6.1 图像噪声

(看一眼) p145 图像噪声的分类、

[**定义 6.1.1**] 抑制或消除图像中的噪声, 进而改善图像质量的过程, 称为**图像平滑**. 图像平滑分为两类:

(1) **空域法**: 用模板运算, 在像素点的邻域内, 利用噪声像素点的特性滤波.

(2) **频域法**:对图像作正交变换, 利用噪声对应的高频信息的特性滤波.

(3) 常用的平滑方法:

$$\begin{cases} \text{空域法} \begin{cases} \text{线性平滑滤波} \begin{cases} \text{均值滤波} \\ \text{Gauss 滤波} \end{cases} \\ \text{非线性平滑滤波} \begin{cases} \text{中值滤波} \\ \text{双边滤波} \end{cases} \end{cases} \\ \text{频域法} \begin{cases} \text{理想低通滤波器} \\ \text{Butterworth 低通滤波器} \\ \text{指数低通滤波器} \\ \text{梯形低通滤波器} \end{cases} \end{cases}$$

(4) 负面影响: 平滑算子本质是一种低通滤波器, 而图像的细节、边缘、噪声都是高频信息, 则图像平滑抑制噪声时, 也使图像边缘变模糊.

[**注**] 线性滤波的缺点:

(1) 线性滤波可抑制噪声, 但会模糊图像边界.

(2) 线性滤波无法有效去除图像中的非线性或非 Gauss 特性的噪声, 如椒盐噪声等孤立噪声或冲激噪声.

为改进线性滤波的缺点, 提出非线性滤波.

6.2 空域平滑滤波

6.2.1 均值滤波

[**定义 6.2.1.1**] **均值滤波**的 3×3 简单均值模板 $H_1 = \dfrac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$.

[**注**] 均值滤波对一个像素的邻域内的所有像素一视同仁, 未考虑边界的存在和保持, 进而可能模糊图像的边界. 改进:

(1) Gauss 滤波:

① 改进: 加权均值滤波, 权重由 Gauss 函数决定, 邻域内像素的权重从中心向四周递减.

② 优点: 平滑图像时更自然.

③ 缺点: 仍可能模糊边界.

(2) 中值滤波:

① 改进: 用像素的邻域内的中值替换该像素的像素值.

② 优点: 模糊程度较轻, 更好地保留边界.

(3) 双边滤波:

① 改进: 结合空间域和强度域的权重, 在邻域中距离较近且像素值相似的像素的权重高.

② 优点: 平滑图像的同时保留边界.

[**例 6.2.1.1**] 对图像 $f = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 7 & 6 & 8 & 9 \\ 5 & 7 & 6 & 8 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$ 作 3×3 简单均值滤波, 不处理边缘像素.

[**解**] 以求结果图像 g 的像素 $g(1,1)$ 为例.

以点 $(1,1)$ 为中心的 3×3 邻域是 $f[0 \cdots 2][0 \cdots 2] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 2 \\ 5 & 7 & 6 \end{bmatrix}$,

则 $g(1,1) = \dfrac{1+2+1+1+2+2+5+7+6}{9} = 3$.

类似地求 $g[1 \cdots 3][1 \cdots 3]$ 中的其它像素的像素值, 结果四舍五入.

结果图像 $g = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 4 & 3 \\ 1 & 3 & 4 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$.

6.2.2 Gauss 滤波

[**定义 6.2.2.1**]

(1) **Gauss 滤波**是线性平滑滤波, 可表示为卷积模板运算, 邻域内像素的权重从中心向四周递减.

(2) 标准差 σ 影响 Gauss 模板的生成, 它代表数据的离散程度.

① σ 越小, 分布越集中, 生成的 Gauss 模板的中心系数远大于四周的系数, 平滑程度低.

② σ 越大, 分布越分散, 生成的 Gauss 模板中不同系数差别小, 类似于均值模板, 平滑程度高.

(3) 常用的 3×3 Gauss 模板:

① $\sigma = 0.8$ 时, $H_1 = \dfrac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$.

② $\sigma = 1$ 时, $H_3 = \dfrac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$.

[**例 6.2.2.1**] 对图像 $f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 1 & 6 & 0 \\ 0 & 4 & 6 & 3 & 0 \\ 0 & 7 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ 作 3×3 Gauss 滤波, 不处理边缘像素. 分别取标准差:

[1] $\sigma = 0.8$.

[2] $\sigma = 1$.

[**解**] 设结果图像为 g .

[1] 模板 $H_1 = \dfrac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$.

以求 $g(1,1)$ 为例, 以点 $(1,1)$ 为中心的 3×3 邻域是 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 4 & 6 \end{bmatrix}$,

$$
\begin{aligned}
\text{则 } g(1,1) &= \frac{0 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 1 + 0 \times 2 + 5 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1 + 4 \times 2 + 6 \times 1}{16} \\
&= \frac{9}{4} = 2.25 \approx 2 .
\end{aligned}
$$

类似地求 $g[1 \cdots 3][1 \cdots 3]$ 中的其它像素的像素值, 结果四舍五入.

结果图像 $g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 3 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 4 & 3 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

[2] 模板 $H_3 = \dfrac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$.

$$g(1,1) = \frac{0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 5 \times 2 + 1 \times 1 + 0 \times 1 + 4 \times 1 + 6 \times 1}{10}$$

$$= \frac{21}{10} \approx 2 .$$

类似地求 $g[1 \cdots 3][1 \cdots 3]$ 中的其它像素的像素值, 结果四舍五入.

结果图像 $g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 3 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

6.2.3 中值滤波

[**定义 6.2.3.1**] **中值滤波**以图像中每个像素的邻域中的像素值的中值替换该邻域的中心点的像素值.

[**注 1**] 中值滤波的原理: 噪声会使得某点的像素比周围像素亮或暗很多. 将邻域内的像素值排序, 则噪声在序列的首尾. 序列的中值一般未被噪声污染, 故可用中值替换邻域中心点的像素值来滤除噪声.

[**注 2**] 中值滤波与均值滤波的适用场景:

(1) 中值滤波对椒盐噪声的效果好, 模糊程度较轻, 边缘保留较好. 因为被椒盐噪声污染的图像仍有未被污染的像素, 而中值滤波取合适的像素值替换被污染的像素值. 椒盐噪声的均值非 0 , 故均值滤波效果差.

(2) 均值滤波对 Gauss 噪声的效果好, 因为 Gauss 噪声的幅值近似正态分布, 但分布在图像的每个像素上, 进而被 Gauss 噪声污染的图像中每个像素都是污染点, 无干净点. 若噪声正态分布的均值为 0 , 均值滤波可消除 Gauss 噪声. 实际中只能减弱, 不能消除.

(3) 中值滤波不适合处理点、线细节多的图像, 因为它在滤除噪声的同时可能会滤掉图像中有用的细节.

[**注 3**] 中值滤波的邻域窗口越大, 图像模糊程度越大.

[**例 6.2.3.1**] 对图像 $f = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 7 & 6 & 8 & 9 \\ 5 & 7 & 6 & 8 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$ 作 3×3 中值滤波, 不处理边缘像素.

[**解**] 设结果图像为 g .

以求 $g(1,1)$ 为例. 以点 $(1,1)$ 为中心的 3×3 邻域为 $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 2 \\ 5 & 7 & 6 \end{bmatrix}$,

则 $g(1,1) = \mathrm{med}\{1,2,1,1,2,2,5,7,6\} = 2$.

类似地求 $g[1 \cdots 3][1 \cdots 3]$ 中的其它像素的像素值. 结果图像 $g = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 6 & 6 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$.