

# 形态学图像处理章节报告

---

---

## 1. 腐蚀、膨胀、开运算和闭运算

### 原理

#### 腐蚀

定义：

$$A \ominus B = \{z \mid B_z \subseteq A\}$$

其中  $B_z$  是结构元素  $B$  平移到位置  $z$  处。

作用：

- 去除小白噪声；
- 分离连接在一起的白色区域；
- 获取轮廓（与膨胀配合使用）。

---

### 膨胀

定义：

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

其中  $\hat{B}$  是结构元素  $B$  关于原点的对称。

作用：

- 弥补图像中断裂的白区域；
  - 填补小黑洞；
  - 强化轮廓。
-

## 开运算

定义：

开运算 = 先腐蚀，再膨胀。

公式表示为：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

作用：

- 去除小的前景噪声（例如小白点）；
  - 分离两个靠得很近的对象。
- 

## 闭运算

定义：

闭运算 = 先膨胀，再腐蚀。

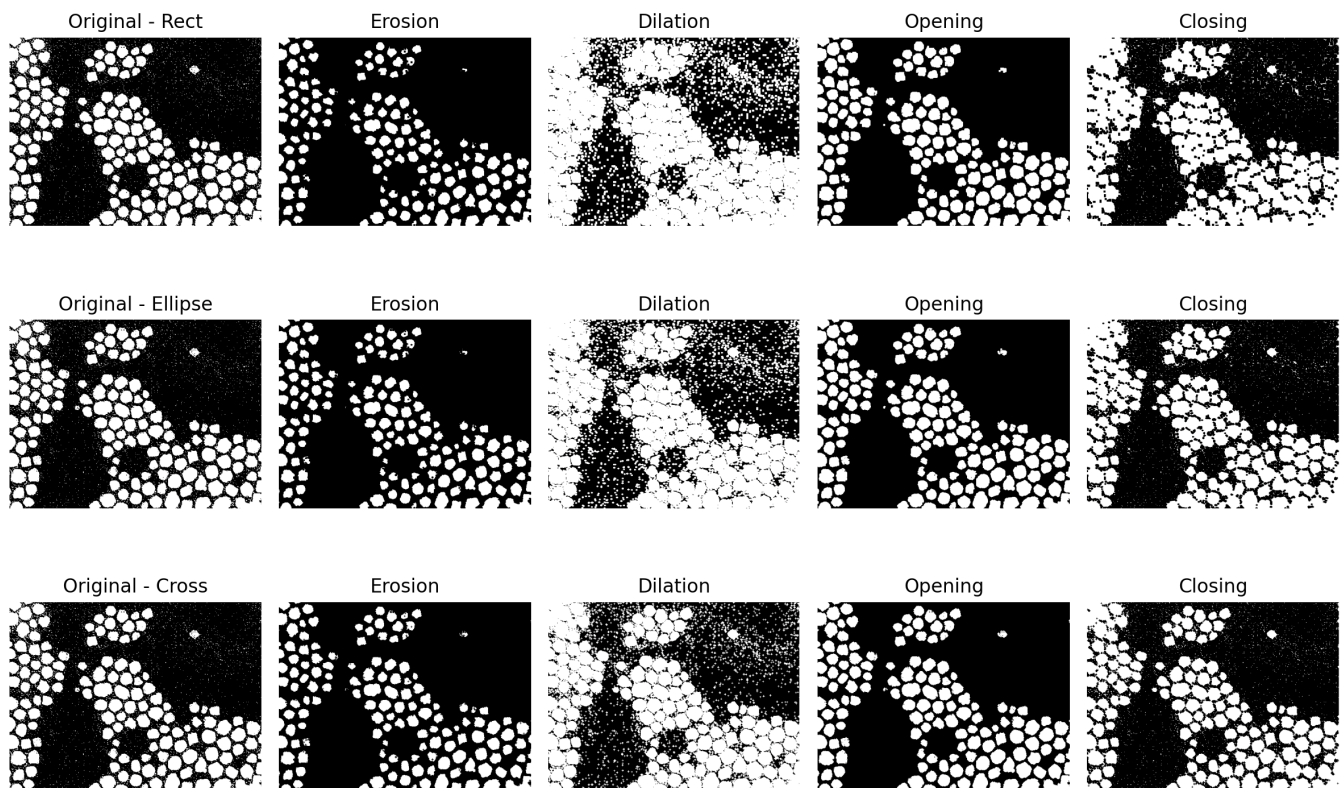
公式表示为：

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

作用：

- 填补小的黑色空洞（即前景内部的小黑点）；
  - 连接接近的对象。
- 

## 应用



为更好展示算法的基本概念，特选用穿透式电子显微镜所拍摄的粒子图片来进行展示。共选用三种核：**正方形**，**椭圆形**，**十字形**。大小均为  $(5,5)$ 。每种核都分别进行腐蚀，膨胀，开闭运算四种操作。可以看到，不同形状的结构元素对图像的处理效果存在明显差异。

在腐蚀操作中，粒子的边界逐渐收缩，形状趋于紧凑。正方形核会导致边界明显收缩，部分细小粒子甚至完全消失；而椭圆形核对粒子形状的破坏相对较小，更好地保留了粒子的原始轮廓；十字形核则具有方向性，使得腐蚀更倾向于水平方向与垂直方向，造成边界呈锯齿状收缩。

膨胀操作呈现出相反效果，粒子边界扩张，相邻粒子可能发生粘连。尤其在正方形结构核下，膨胀最为剧烈，背景中的黑色缝隙大量减少；而椭圆核膨胀边缘更为平滑，有助于保持粒子的圆形结构；十字核则由于其稀疏形态，使膨胀的影响范围相对较小，但仍能观察到粒子体积明显增大。

开运算（腐蚀后膨胀）有效地移除了图像中零散的小白点，同时保持主要粒子的结构。可以理解为什么其常用于去除前景噪声。三种核中，**椭圆形核**最为自然，能在去噪的同时保留粒子形状。闭运算（膨胀后腐蚀）则能填补粒子之间的空隙，弥合局部小黑洞，有助于增强粒子的整体连通性。在闭运算结果中，原先相互接近但未连接的粒子被填补而连成一体，尤其在使用正方形核时效果尤为显著。

总的来看，结构元素的选择对形态学操作的结果影响非常大。较紧凑的结构核（如正方形）适合强化边界、增强连通性，而柔和结构核（如椭圆形）则更适合保留目标形态并进行温和处理。十字核由于其方向性突出，适合在结构方向明确的图像中使用。

---

## 2. 骨架提取与孔洞填充

### 原理

#### 骨架提取 (Skeletonization)

##### 定义：

骨架提取是将二值图像的前景区域细化为一像素宽的中心线，同时尽可能保留其拓扑结构和连通性。

##### 实现方法：

使用 `scikit-image` 中的 `skeletonize()`，基于 迭代式细化算法（如 **Zhang-Suen 算法**）实现，查找满足特定结构条件的边界像素，并逐步删除这些像素，直到只剩细线。

##### 作用：

- 简化形状，保留结构骨架；
- 适合形态分析，如长度、连接性等；

---

#### 孔洞填充 (Hole Filling)

##### 定义：

填补图像中被前景完全包围的**封闭黑色区域**（即孔洞），使前景对象连通完整。

##### 实现方法：

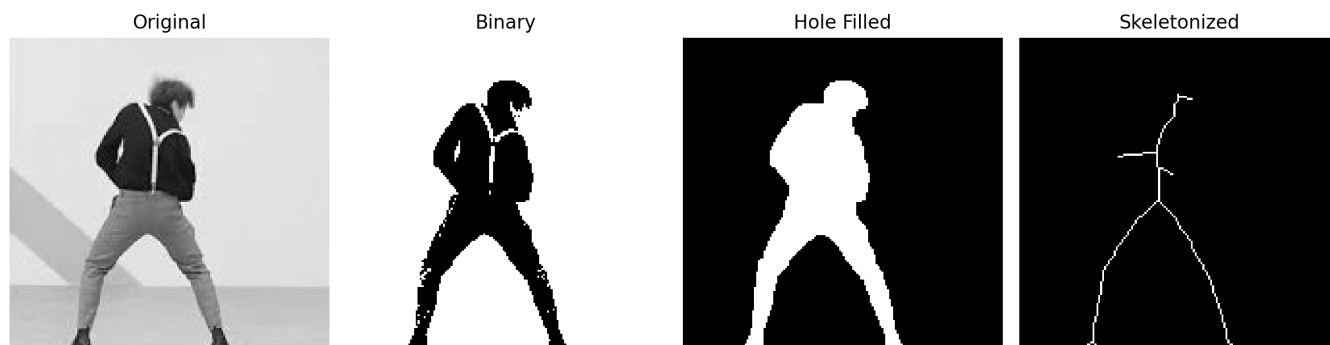
使用 `scipy.ndimage.binary_fill_holes()`，通过 **洪水填充算法** 标记与图像边界相连的背景，填补未连接部分。

##### 作用：

- 移除对象内部的小黑洞；
- 提高轮廓闭合性；

---

### 应用



徐坤·蔡先生的图像非常适合进行骨架提取。然而，他的原图样有一些致命的问题——三叉形的背带强行把人分割为了数段，导致骨架可能呈现四分五裂的样态。为此，需要先对图像进行闭运算，将二值图像的孔洞闭合，再利用孔洞填充算法，标记与图像边界相连的背景，填补未连接部分。可以看到，经过处理的图样变得非常圆润，感官上适合骨架提取——而事实上也正如此，人的脊柱、脚和手臂得到了很好的呈现。