

计算机视觉第一次作业实验报告

一、实验内容、目的与环境

1. 实验目的

本次实验旨在通过对 Lena 图像的处理，全面掌握两种经典边缘检测算法的原理、实现与参数调优：

高斯拉普拉斯 (LoG): 理解高斯平滑对噪声抑制的贡献，以及二阶微分对边缘的响应。

Canny 边缘检测: 深入分析 Canny 算法的四个核心步骤，特别是双阈值滞后性对边缘质量和连通性的关键影响。

2. 实验环境与数据

编程语言: Python 3.x

主要库: OpenCV (cv2)、NumPy

数据集: Lena 灰度图 (lena512.bmp)、Lena 彩色图 (lena512color.tiff)

二、任务一：高斯滤波与高斯拉普拉斯 (LoG) 边缘检测

1. 实验原理

A. 高斯滤波核

高斯滤波是线性的平滑操作，通过与二维高斯函数进行卷积实现去噪。尺度因子 σ 决定了滤波核的宽度和对噪声的抑制强度。

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

B. LoG 检测子

LoG 的核心在于结合了平滑和微分。它是对高斯函数求拉普拉斯，再与图像卷积。

$$\text{LoG} = \nabla^2 G * I$$

拉普拉斯算子 (∇^2) 是一种二阶微分，能检测到图像灰度值的快速变化（边缘），其零交叉点（Zero-Crossing）对应于边缘位置。

2. 核心实现细节与参数调优

| 参数 | 影响 | 实验范围 |
|-------------|--|-------------------------------|
| 尺度 σ | 控制平滑程度。 σ 越大，平滑越强。 | 1,3,5,7 |
| 窗口 W | 卷积核大小。需满足 $W \geq 3\sigma$ 以保证高斯核不被截断。 | 3×3 到 11×11 |

3. 实验结果及分析

σ 对边缘尺度的影响:

小 σ (如 1, 3): 边缘细节丰富，但对高频噪声如微小纹理敏感。LoG 更多地响应高频信息。

大 σ (如 5, 7): 噪声被有效抑制，但丢失了大量细节，主要保留图像的粗略轮廓。边缘线变粗。

彩色图处理分析:

彩色图采用分通道处理 (R, G, B 分别应用 LoG 并合并边缘强度)。

优势: 相比灰度图，彩色 LoG 能够同时响应亮度变化和色度变化。

[分析]: 边缘强度在纯亮度变化的区域与纯色度变化的区域均有体现。

三、任务二: Canny 边缘检测子

1. 实验原理: Canny 算法流程

Canny 算法被认为是边缘检测的最优算法之一, 其目标是实现高精度、高连通性、低错误率。

步骤如下:

高斯平滑: 抑制噪声。

计算梯度: 使用 Sobel 算子计算梯度幅值 M 和方向 θ 。

非极大值抑制 (NMS): 沿梯度方向, 只保留局部最大值点, 将边缘细化到 1 像素。

双阈值边缘跟踪: 滞后阈值处理。

2. 参数设置与结果对比

实验通过调整双阈值 T_{low} 和 T_{high} 来控制边缘的选择和连接。

| 组别 | T_{low} / T_{high} | 效果分析 |
|-----|------------------------|------------------------------|
| 宽松组 | 30 / 90 | 边缘数量最多, 连通性高, 但噪声和细节保留多。 |
| 标准组 | 50 / 150 | 噪声抑制和边缘连续性达到最佳平衡。 |
| 严格组 | 100 / 300 | 只保留梯度幅值最高的边缘, 边缘最干净, 但易出现断裂。 |

3. 结论: 双阈值机制的优势

Canny 算法的成功之处在于其滞后性阈值处理机制, 克服了单一阈值 (如 LoG 的零交叉) 的不足:

高阈值 (T_{high}) 的作用: 用于确定强边缘。所有梯度 $M > T_{high}$ 的点都确定为边缘, 保证了检测的精度。

低阈值 (T_{low}) 的作用: 用于连接边缘。只有梯度 $M > T_{low}$ 且与强边缘相连的点才会被保留。这保证了边缘的连通性, 同时排除了孤立的弱边缘 (噪声)。