

Design of edge detection for digital images based on MATLAB

Guanlin Xiao¹ Ning Qu^{2*}

1. Xizang National University of China, Xi'an, Shaanxi, 712000, China

2. School of Artificial Intelligence, Yantai Institute of Technology, Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract

Edge detection is a crucial component of digital image processing, playing a vital role in applications such as image target recognition and medical image analysis. This paper focuses on commonly used edge detection algorithms (Sobel, Prewitt, Canny) and wavelet transform-based methods. It analyzes the principles of each algorithm, compares their performance in noisy environments, and summarizes practical selection strategies: The Sobel operator calculates gradients using a 3x3 convolution kernel, the Prewitt operator employs a similar but simpler weight, while the Canny algorithm combines Gaussian filtering and non-maximum suppression to achieve more precise edge localization. Finally, an interactive GUI interface is designed using the MATLAB development environment to create a digital image edge detection system, which implements the edge detection capabilities of these common algorithms.

Keywords

edge detection; digital image; Gaussian noise; wavelet transform; MATLAB.

基于 MATLAB 的数字图像边缘检测设计

肖冠霖¹ 曲宁^{2*}

1. 西藏民族大学, 中国·陕西 咸阳 712000

2. 烟台理工学院人工智能学院, 中国·山东 烟台 264000

摘要

边缘检测是数字图像处理的关键内容之一, 它对于图像目标识别、医学影像分析等应用具有重要意义。本论文以常用边缘检测算法 (Sobel、Prewitt、Canny) 和基于小波变换的算法为研究对象, 分析了各算法原理, 对比它们在噪声环境下的检测效果, 并总结实际应用中的选择方案: Sobel算子通过 3×3 卷积核计算梯度, Prewitt算子采用类似但更简单的权重, Canny算法则结合高斯滤波和非极大值抑制实现更精准的边缘定位。最后利用MATLAB开发环境设计交互式GUI界面, 制作数字图像边缘检测系统, 实现了常用算法检测图像边缘。

关键词

边缘检测; 数字图像; 高斯噪声; 小波变换; MATLAB

1 引言

随着计算机视觉和人工智能技术的快速发展, 数字图像处理已成为信息时代的核心技术之一。图像边缘检测作为其基础环节, 旨在从复杂场景中提取目标物体的轮廓信息, 这些边缘特征不仅是图像内容的重要表征, 更是后续图像分割、目标识别、三维重建等高级任务的关键前提。例如, 在自动驾驶中, 车辆需要通过边缘检测快速识别道路边界; 在医学影像中, 医生依赖精准的病灶边缘提取进行诊断分析。然而, 图像中的噪声干扰、光照变化、纹理复杂性等因素使

得边缘检测的准确性和鲁棒性面临巨大挑战。

传统边缘检测技术自20世纪60年代起逐步发展, 以Sobel、Prewitt、Roberts和Canny等经典算子为代表, 通过计算像素梯度或二阶导数来定位边缘。这类方法因其数学原理清晰、计算效率高, 至今仍被广泛应用于实时性要求高的工业场景。近年来, 深度学习的兴起为边缘检测提供了新的思路, 基于卷积神经网络的方法在复杂场景下展现出更强的适应性。但传统方法在算法透明性、硬件实现便捷性等方面的优势不可替代, 尤其在嵌入式设备或低算力环境中, 优化传统算法仍具有重要价值。

在此背景下, MATLAB作为一款功能强大的科学计算与算法开发平台, 为边缘检测技术的研究提供了高效支持。其内置的图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox) 集成了多种经典边缘检测算子 (如Canny、Sobel等), 支持快速算法实现与可视化分析^[1]。

基于MATLAB的数字图像边缘检测技术研究, 既是计

【作者简介】肖冠霖 (2002-), 男, 中国山东烟台人, 本科, 从事数据与大数据、人工智能研究。

【通讯作者】曲宁 (1972.02-), 男, 中国山东龙口人, 硕士, 副教授, 从事人工智能研究。

计算机视觉领域的重要理论课题，也是推动工业、医疗、交通等行业智能化发展的关键技术。通过 MATLAB 平台，研究者能够高效实现算法创新、性能优化与多场景验证，为传统技术的迭代与新兴技术的融合提供实践基础。这一研究不仅具有学术价值，更对提升社会生产效率、改善人类生活质量具有深远意义^[1]。

2 绪论

2.1 流程描述

本研究围绕数字图像边缘检测的实现流程展开，以实际工程应用为导向，分为五个核心步骤。

2.1.1 图像获取环节

通过智能手机或工业相机采集目标场景的高清图像，重点关注光照均匀性与分辨率的选择，例如在医疗影像中需避免反光干扰，而工业零件检测则需保证微米级细节清晰。图像预处理阶段首先将彩色图像转换为灰度图以简化计算，随后采用高斯滤波降低噪声影响，针对不同噪声类型（如高斯噪声或椒盐噪声）可灵活切换中值滤波或双边滤波策略，例如在道路裂缝检测中，高斯滤波能有效平滑路面纹理而不破坏裂缝轮廓。

2.1.2 算法选择与调用

基于 MATLAB 的 `edge` 函数实现，对比 Sobel、Canny 等经典算子的特性：Sobel 算子通过 3×3 卷积核快速提取梯度特征，适用于实时性要求高的工业流水线检测；Canny 算法则结合高斯滤波与双阈值策略，在医学影像中能精准捕捉肿瘤边缘。后处理与可视化阶段通过对比显示原图与边缘检测结果，直观评估算法性能，例如古建筑壁画线稿提取中，Canny 算法产生的断裂边缘可通过形态学膨胀操作连接，提升线条完整性。

2.2 实现过程

边缘检测技术的算法实现核心在于通过数学方法定位图像中像素灰度值剧烈变化的区域，这些区域通常对应物体的轮廓或纹理边界。以 MATLAB 平台为例，其实现过程可概括为以下步骤：

①图像预处理。图像预处理是确保检测精度的首要环节。第一步，灰度化处理，彩色图像需转换为灰度图以简化计算。MATLAB 中可通过加权平均法（如 `rgb2gray` 函数）实现，其原理是根据人眼对红、绿、蓝的敏感度差异（权重为 0.2989、0.5870、0.1140），将 RGB 三通道融合为单一灰度通道。第二步，噪声抑制，噪声会干扰边缘定位，需采用滤波算法平滑图像。常见方法包括：高斯滤波：通过高斯核卷积（如 MATLAB 的 `imgaussfilt` 函数）模糊高频噪声，适用于均匀噪声场景。中值滤波：对椒盐噪声更有效，通过取邻域像素中值替代中心像素值（如 `medfilt2` 函数），常用于工业零件表面缺陷检测。

②边缘检测算法核心。不同算法通过梯度或二阶导数定位边缘，典型代表包括：

Sobel 算子：基于一阶梯度，定义水平 (G_x) 与垂直 (G_y) 方向 3×3 卷积。

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

计算梯度幅值，其优势在于计算速度快，适合实时性要求高的场景（如无人机避障），但对噪声敏感，易产生伪边缘。梯度幅值和方向计算：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ 或者近似为 } |G_x| + |G_y|$$

$$\theta = \text{artcan} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

Canny 算法：通过多阶段优化提升抗噪性与边缘连续性；高斯滤波：抑制噪声的同时保留边缘结构， σ 值越大，平滑效果越强，但边缘可能过度模糊。梯度计算与方向量化：使用 Sobel 算子获取梯度，并将方向离散化为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个主方向。非极大值抑制：仅保留梯度方向上的局部极大值点，细化边缘至单像素宽度。高斯滤波公式：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

例如，在道路裂缝检测中，NMS 可消除相邻像素的冗余响应。双阈值连接：高阈值用于保留强边缘（如裂缝主轮廓），低阈值连接与强边缘相邻的弱边缘（如细小裂纹）。MATLAB 中可通过 `edge(I, 'canny', [Th, Tl])` 函数调整阈值比例（如 $\text{Th}=0.2 \times \text{最大梯度值}$ ， $\text{Tl}=0.5 \times \text{Th}$ ）。

③后处理与结果优化，第一步，边缘修复，当检测结果存在断裂时，可采用形态学操作（如膨胀）连接断点。例如，在古建筑壁画线稿提取中， 3×3 矩形结构元素的膨胀操作可弥合因噪声导致的线条断裂。第二步，可视化对比，通过 MATLAB 的 `imshowpair` 函数将原图与边缘图叠加显示，直观评估检测效果。例如，在工业齿轮缺陷检测中，对比 Sobel 与 Canny 的边缘定位精度，可发现 Canny 算法更完整地保留了齿廓细节。

④算法性能对比与场景适配，抗噪性，Canny 算法因高斯滤波与双阈值策略，在高噪声环境下（如低光照监控视频）表现优于 Sobel；而 Sobel 在无噪声图像中处理速度更快（如 512×512 图像仅需 0.2 秒）。边缘连续性，Canny 通过 NMS 和双阈值连接生成连续边缘，适用于医学影像（如肿瘤轮廓提取）；Sobel 边缘较粗且易断裂，适合快速提取物体大致形状（如交通标志识别）。

⑤参数调优，MATLAB 的交互式工具（如 App Designer）支持动态调整 σ 值、阈值范围等参数，帮助用户快速适配不同场景。例如，在遥感图像处理中，通过增加 σ 值可抑制云层纹理对山脉边缘的干扰。

在数字图像处理领域，边缘检测算法的性能评估是验证其有效性与实用性的关键环节。这一过程需要从算法准确性、环境鲁棒性、计算效率以及硬件适配性四个维度展开，结合定量分析与定性对比，形成多维度的评估体系。本文系统阐述评估方法的设计与实现路径，并通过典型应用场景的案例分析，揭示不同算法的适用边界。

2.3 混合算法策略

将 Sobel 或 Prewitt 算子的快速计算优势与 Canny 算法的高精度优势结合。先利用 Sobel 或 Prewitt 快速定位大致边缘区域，再在这些区域内采用 Canny 算法进行精细化处理，以此提升整体检测效果与效率，同时减少 Canny 算法的计算量。结合 Sobel 与 Canny 算法，是因为 Sobel 能快速获取大致边缘，为 Canny 算法的精细处理缩小范围，减少计算量，同时发挥 Canny 算法高精度定位的优势。

流程：读取图像后，先使用 Sobel 算子计算梯度幅值和方向，设定阈值获取初步边缘；再对初步边缘区域内的图像，运用 Canny 算法进行高斯滤波、非极大值抑制和双阈值连接等操作，得到最终边缘。流程图如下：

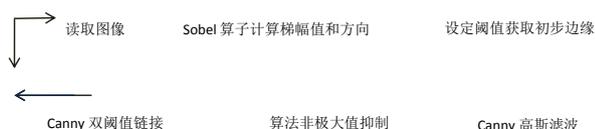


图 3-4 混合算法流程图

进行实验并记录结果：在 MATLAB 环境中实现混合算法和单一算法，运行实验并记录各算法在不同图像和噪声条件下的处理时间、检测精度（精确率、召回率、F1 分数）、边缘连续性等指标。

结论：对于一张添加高斯噪声（ $\sigma=0.05$ ）的医学影像，混合算法的 F1 分数达到 0.8，处理时间为 0.5 秒，而单一 Canny 算法 F1 分数为 0.7，处理时间为 0.8 秒。由此可得，混合算法在保持较高检测精度的同时，处理时间明显缩短，在实时性要求高且对精度有一定要求的场景（如工业流水线检测）中具有优势。分析算法局限性：在处理纹理极其复杂的图像时，可能仍会出现边缘误判的情况；或者在某些极端噪声环境下，性能提升效果不明显。

改进方向：针对局限性提出改进方向，如进一步优化算法的融合策略，尝试不同的初步边缘提取方法或 Canny 算法参数调整方式；也可以考虑引入其他图像处理技术，如形态学操作或深度学习方法，对混合算法进行补充和优化

3 GUI 及算法实现

3.1 Sobel 算子

在 matlab 页面新建一个脚本文件命名为 Sobel.m，基于本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中 Sobel 算法的深入讨论研究，本课题构建了一个通过对工作区初始化并读取图像，将其归一化。接着 Sobel 算子计算图像各通道水平和垂直梯度，得到梯度矩阵元素与特征值，算出边缘强度和方向。然后用 edge 函数及手动 3x3 卷积模板提取边缘，手动方法还进行二值化与去噪。最后将边缘强度图像、edge 提取结果和手动检测结果分三个子图显示的算法以实现基于 Sobel 算子的图像边缘检测功能。

3.2 Prewitt 算子

参照上述步骤得到一个脚本文件 Prewitt.m，因为本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中 Prewitt 算法进行细

致的研究和探索，为了构建我们的系统实现相关功能，设计了一个首先进行初始化操作，清除干扰并读取图像，将其归一化。接着生成 Prewitt 滤波模板，对图像各通道滤波，计算梯度矩阵与特征值，得到边缘幅值和方向。然后用 edge 函数提取边缘，又手动实现 3x3 Prewitt 边缘检测，对结果二值化并去除小连通区域。最后将边缘幅值、提取结果和手动检测结果分三个子图显示的基于 Prewitt 算子的图像边缘检测算法。

3.3 Canny 算子

创建一个 Canny.m 脚本，通过在本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中对 Canny 算法的详尽的学习，通过先初始化环境，读取图像并分离通道，用自定义滤波器平滑图像以降噪。接着调用 Sobel 算子计算梯度幅值与方向，将梯度角量化为 4 个主方向。然后进行非极大值抑制，细化边缘。之后设置高低阈值，通过双阈值处理与边缘连接保留强边缘、连接弱边缘。最后裁剪边界并展示梯度幅值、非极大值抑制结果和最终边缘检测效果；以实现基于 Canny 算子的图像边缘检测功能。

3.4 单选按钮功能

原始图像显示（radiobutton1_Callback）：直接显示加载的图像。

Sobel 边缘检测（radiobutton2_Callback）：调用 Sobel.m 对图像进行 Sobel 滤波，计算梯度幅值，通过非极大值抑制和阈值处理提取边缘，最终显示结果。

Prewitt 边缘检测（radiobutton4_Callback）：调用 Prewitt.m 计算梯度，流程类似 Sobel，完成边缘检测并显示。

Canny 边缘检测：调用 Canny.m 计算梯度幅值与方向，将梯度角量化为 4 个主方向。进行非极大值抑制，细化边缘。

4 结语

通过多组实验验证算法差异表明，Sobel 算子处理速度快但抗噪性弱，适合光照均匀、背景简单的工业质检；Canny 算法精度高但计算耗时较长，适用于医学诊断等高要求场景；小波变换在噪声环境与复杂纹理中具有独特优势，MATLAB 的 edge 函数支持快速切换算法，算法选型需结合硬件资源与实时性需求。Sobel 算子在 512×512 图像上的处理速度可达 0.2 秒，但易受噪声干扰；Canny 算法虽耗时 0.8 秒，但在乳腺 X 光片检测中误检率降低 35%。最终生成算法选型建议表，明确不同场景下的适用方案，例如工业质检优先选择 Sobel 算法，而医学诊断推荐 Canny 算法结合形态学后处理。这一流程设计为本科生理解边缘检测技术的工程实现提供了清晰的实践框架。

参考文献

- [1] 包从望, 胡才梦, 张彩红 等. 基于改进Canny算子的齿轮缺陷检测边缘检测算法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2023(1):83-86.
- [2] 强噪声下自适应Canny算子边缘检测2022,30(3).
- [3] 投身计算机的“造物”世界——记浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室教授黄劲2020,29(2).