

文章编号:1007-1180(2010)09-0044-04

图像边缘检测算法研究与分析

宋曙光

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 边缘是图像的重要特征, 包含了图像中用于识别目标的信息。边缘信息存在于目标与背景、目标与目标之间, 边缘检测技术是图像分割和其他一些图像处理的基础。图像边缘检测算法在边缘提取中起着重要的作用, 本文介绍了 Roberts、Sobel、Prewitt、Kirsch、Laplacian、LOG 和 Canny 等几种常见的边缘检测算法, 并通过实验仿真对其性能进行了验证和比较分析。

关键词: 边缘检测; 图像处理; 灰度梯度

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102709.0044

Research and Analysis on Image Edge Detection Algorithm

SONG Shu-guang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Edge detection is an important feature of the image, it contains the information used to identify the target. Edge exists between target and target, or between target and background. Edge detection is the base of image segmentation and some other image processing operation. Image edge detection algorithm plays an important role in the operation of edge detection. This paper introduces some commonly edge detection algorithms, such as Roberts, Sobel, Prewitt, Kirsch, Laplacian, LOG and Canny, and carries out the experiments and simulations in order to verify and compare their performances.

Keywords: edge detection; image processing; gray gradient

1 引言

图像的边缘是指周围像素灰度有阶跃变化或屋顶状变化的那些像素的集合,它存在于目标与背景、目标与目标的交界处。它是图像分割的重要依据,也是图像最基本的特征,包含了图像中用于图像分析、滤波以及目标识别的重要信息^[1-5]。一般在图像边缘处,图像的局部灰度变化是不连续的,边缘检测就是要检查出这些具有不连续灰度的像素,然后组成物体的边缘或者轮廓。在不同的应用中,根据目标不同,对边缘的提取也会不同,目标边缘、背景纹理特征和图像噪声都有可能因为检测方法的差异而成为最终提取到的边缘。因此,很难找到一种普遍适用的边缘检测方法来对所有的图像进行边缘检测,不同的检测算法在特定应用中才会有较好的性能。

2 边缘检测算子

在单色或复色的图像中,经常出现目标图像亮于背景图像区域或者目标图像区域暗于背景图像区域。边缘点、边缘线和边缘区域在目标灰度图像中,灰度是图像重要的原始特征,物体图像的轮廓在灰度上呈现是不连续的,边缘算子就是要描述已知图像在每个像素的一定邻域内灰度的变化情况。对于数字图像,其灰度值是离散的,因此可以用梯度来表示其变化的剧烈程度。梯度反应了灰度的变化快慢,当图像中存在边缘时,一定有较大的梯度值;而图像是灰度变化平缓的非边缘时,梯度值较小。梯度对应一阶导数,梯度算子是一阶算子,常见的梯度算子有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子和 Kirsch 算子等。二阶导数算子也是一种常用的算子,如 Laplacian 算子。LOG 算子采用 Gaussian 函数对图像先进行平滑,然后使用拉氏算子根据二阶导数过零点进行边缘检测。Canny 算子也是一种常用的算子。

2.1 Roberts 边缘检测算子

Roberts 边缘检测算子是一种通过计算对角线方

向相邻的两像素近似梯度差来进行边缘检测的微分算子。相邻对角线像素的灰度差被用来代替梯度^[6]。该算子对应的 x 和 y 方向的两个模板为:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Roberts 算子在检测水平边缘和垂直边缘时有较好的效果,能够对边缘进行准确的定位,但该算子受噪声影响对具有陡峭边缘低噪声图像响应最好。

2.2 Sobel 边缘检测算子

Sobel 是一种梯度幅值边缘检测算子,以 3×3 模板对像素点邻域进行灰度加权运算,在边缘处运算结果处于极值。该算子使用水平方向卷积模板和垂直方向卷积模板,分别为:

$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

上述两个模板中,前一个对水平边缘的影响最大,后一个对垂直边缘的影响最大。Sobel 算子中引入了加权平均,因而对图像中的噪声有一定的平滑作用^[2],只是平滑部分权值有些差异。

Sobel 算子对于像素位置的影响作了加权,因此效果更好,这一算子将重点放在接近于两模板中心的像素点。

2.3 Prewitt 边缘检测算子

Prewitt 边缘检测算子是利用局部差分平均方法寻找边缘算子,它体现了 3 对像素点间像素值之差的平均概念,是通过图像灰度局部差分平均进行边缘计算的算子,它与 Sobel 算子相似,通过对与中心像素点相邻的方向进行检测。由于 Sobel 算子在计算时对中心点的邻域进行了加权,因此能更好地提取图像的边缘。Prewitt 边缘算子的卷积模板为:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

2.4 Kirsch 边缘检测算子

Kirsch 算子对图像中的每个像素使用 8 个掩模进

行卷积, 这些掩模用来确定梯度的幅值和方向, 每个掩模对指定的边缘方向具有最大的梯度响应, 所计算出的 8 个方向的平均差分最大值将作为幅度图像输出, 并且算子可以检测出边缘的信息。

$$\begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

该算子对图像边缘的方向性信息有很好的检测效果, 并能在一定程度上抑制边缘噪声。

2.5 Laplacian 边缘检测算子

Laplacian 算子是一种二阶导数算子。该算子是使用边缘点处二阶导数出现零交叉来对边缘进行检测。常用的 Laplacian 算子模板的中心系数是正值, 周围是负值, 所有系数的代数和为 0。

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

该算子具有各向同性、对灰度值突变敏感、定位精度高等特点, 但其抗噪声能力较弱, 也不能提取图像边缘的方向信息。

2.6 LOG 边缘检测算子

LOG 算子又称拉普拉斯高斯算子, 是一种二阶微分边缘检测算子。它是先使用高斯函数对图像进行平滑, 然后使用拉氏算子根据二阶导数过零点进行边缘检测。因此, 高斯函数中的方差参数 σ 越大, 检测方法能更好地反映视觉特性, 图像细节越丰富, 但噪声抑制能力相对下降, 容易出现伪边缘; 如果抗噪声能力提高, 边缘定位准确性下降。LOG 算子的模板为:

$$\begin{pmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -4 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \end{pmatrix}$$

2.7 Canny 边缘检测算子

Canny 算子利用高斯函数一阶微分, 将边缘检测问题转换为检测单位函数的极值问题。Canny 算子是一个具有滤波、增强和检测多阶段优化算子, 评价检测性能优劣的 3 个指标 (分别是好的信噪比、好的定位性能和对单一边缘仅有唯一响应) 以数学的形式表示出来, 然后用最优化数值方法得到了相应的边缘类型的最佳边缘检测模板。在进行计算时, 先使用高斯滤波器对图像进行平滑除去噪声, 使用一阶偏导的有限差分计算梯度的幅值和方向, 对梯度幅值进行非极大抑制。使用双阈值技术算法, 当只有一个阈值时, 检测出来边缘可能存在断点, 算法是利用积累、统计灰度直方图得到一个高阈值, 后选取低阈值, 如果图像信号响应大于高阈值, 那么它一定是边缘, 将边缘连接^[7-8]。

2.8 用高斯滤波器平滑图像、高斯函数

高斯函数为:

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

Canny 算子的方向特性使其具有很好的边缘检测和定位性能, 抗噪声能力强, 并且能分别提供边缘梯度方向信息和边缘强度信息, 方便后处理。另外, 由于使用了非极大值抑制, 该算子可以产生细化的边缘。

3 实验结果与分析

使用 VC++ 6.0 编写以上各边缘检测方法的对应程序, 对原始图像进行边缘检测, 得到的图像如图 1 所示。

通过实验结果发现, Roberts 算子对水平和垂直边缘具有较好的检测效果, 定位精度高, 抗噪声能力弱。Sobel 和 Prewitt 算子对图像进行了差分 and 滤波, 都可以提供比较精确的边缘信息。Kirsch 算子的计算比较复杂, 但边缘提取效果并不理想。Laplacian 算子由于采用了二阶导数, 因此在使用该算子之前一般需要进行滤波处理, 使图像平滑, 以减少噪声对计算结果的影响。LOG 算子使用具有空间平稳性的高斯滤波器先对图像进行了平滑处理, 虽然过滤了一部分噪声, 但对原有的边缘也有一定的模糊作

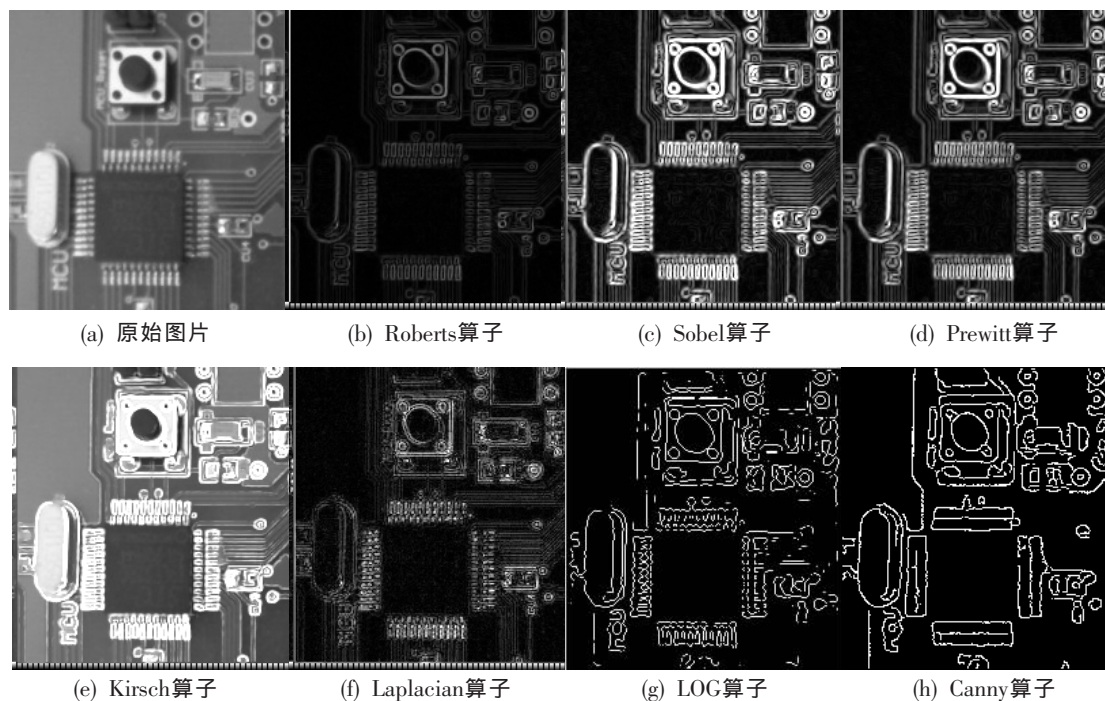


图1 原始图片及各种边缘检测算法的检测效果

用;使用该算子时,方差的选取对生成的边缘图像影响较大,小方差用于细节检测,大方差用于粗轮廓检测。Canny 算子使用高斯滤波器的导数来计算灰度的梯度,具有更好的抗噪声能力,并能产生梯度方向和强度两个信息,便于后处理,同时该算子能够通过选取适合的阈值来获得较细的边缘。LOG 算子和 Canny 算子能够获得良好的清晰边缘,是较理想的边缘检测算子。

4 结 论

本文介绍了几种常见的边缘检测算法,并对这几种边缘检测算法进行了仿真实验比较。实验结果表明,上述几种算子都能在一定条件下对图像边缘进行提取,为实际图像处理中的边缘检测提供了参考。在实际应用中,要选择合适的算子以达到最佳的检测效果。

参考文献

- [1] 薛文格,邝天福. 图像边缘检测方法研究[J]. 多媒体技术及其应用, 2007, 24:1144-1145.
- [2] 王康泰,戴文战. 一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法 [J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1035-1036,1047.
- [3] 季虎,孙即祥,邵晓芳,等. 图像边缘提取方法及展望[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(14):70-73.
- [4] 王楠,李文成,李岩. 基于卡尔曼滤波的图像复原[J]. 光机电信息, 2010, 27(2): 28-31.
- [5] 杨广全. 鱼眼图像的校正算法[J]. 光机电信息, 2009, 26(4): 43-46.
- [6] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [7] 王植,贺赛先. 一种基于 canny 理论的自适应边缘检测方法[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(8): 957-962.
- [8] 孙英慧. 基于 Canny 算子的边缘检测研究[J]. 鞍山师范学院学报, 2010, 12(2): 48-50.

作者简介: 宋曙光 (1954-), 男, 汉族, 吉林临江人, 副研究员, 1978年毕业于大连理工大学, 主要从事光学仪器设计。

Tel: 0431-86176962