

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.03.016

基于高低帽变换的优化边缘检测算法研究

张金凤, 刘 昕

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 在印刷图像的质量检测中,常用的技术手段是对印刷图像边缘特征信息进行提取。在算法检测中图像边缘更容易实现检测,可以通过图像的边缘信息判断图像的特征,从而更容易引起关注。论文通过对经典的 Sobel 算子增加检测模板的改进,将四个模板进行卷积得到边缘检测图,同时嵌入形态学高低帽变换算法增加检测图像边缘的细节和对比度,使改进的 Sobel 算子对图像边缘的检测得到优化,便于分析印刷图像的边缘信息。

关键词: 边缘检测; Sobel 算子; 高低帽变换

中图分类号: TS8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2019)03-0373-05

Research on optimized edge detection algorithm based on high and low cap transform

ZHANG Jinfeng, LIU Xin

(School of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology,

Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In the quality detection of printed images, a common technical means is used to extract the edge feature information of the printed image. In the algorithm detection, the edge of the image is easier to detect, with the feature of the image judged by the edge information of the image, which is more likely to attract attention. By increasing the detection template of the classical Sobel operator, the four templates are convolved to obtain the edge detection map, with the morphological high and low hat transform algorithm added to increase the detail and contrast of the detected image edges. The improved Sobel operator is optimized for the detection of image edges, facilitating the analysis of the edge information on the printed image.

Key words: edge detection; Sobel operator; high and low hat transformation

印刷出的图像通过扫描设备以数字图像的形式在计算机中存储,对印刷图像边缘的检测实际上是将数字图像的目标区域与背景区域区分开。图像边缘检测算子有很多,根据计算边缘导函数类型的不同,可以将边缘检测算子分为一阶导函数和二阶导函数两类。通常情况下,一阶导函数对边缘定位速度快且节约检测时间,二阶导函数相对复杂,实验中针对一阶算子进行了重点研究。Sobel 边缘检测算子以一阶导函数为基础,因计算简单、速度快而被广泛应用,但是此算法存在漏检边缘、抗噪能力低、边缘线条较粗糙等问题,只能满足精度不高的检测需

求。国内外研究者针对图像边缘检测做了许多研究,文献[1]在传统 Sobel 算法的基础上改进为 8 方向的 5×5 检测模板,增强了算法的抗噪性,但计算时间较长,导致边缘线条较粗糙。文献[2]提出采用击中击不中变换的优化边缘提取算法,虽然能避免图像的漏检,但在消除图像伪边缘的同时也造成了图像细节的丢失。文献[3]引入数学形态学模型,提出一种基于形态学中高帽变换预处理后再进行迭代分割的改进优化算法,此优化算法计算时间长且运行程序过于复杂,而且需要特定的图像,并不具有鲁棒性特点。

收稿日期: 2018-10-14

基金项目: 陕西省重大科技创新专项资金资助项目(2008ZKC02-13)

作者简介: 张金凤,女,硕士生,研究方向为印刷复制技术。E-mail:jinfeng_xaut@163.com

通讯作者: 刘昕,男,教授,博士,研究方向为印刷复制技术。E-mail:liuxin@xaut.edu.cn

1 理论分析

1.1 传统的 Sobel 算子原理

传统的 Sobel 算子^[4-5]主要对 0° 与 180° 的水平方向和 90° 与 270° 的垂直方向上的边缘信息比较敏感,容易检测到边缘信息。这样会导致图像的其他方向因为检测方向的限制而丢失图像边缘检测的信息。Sobel 是一阶导函数图像边缘检测算子,也称为梯度边缘算子^[6],它是通过图像边缘梯度在图像的边缘取得极大值来进行检测的。梯度 \mathbf{I} 是一个矢量,它具有方向 θ 和模 $|\Delta\mathbf{I}|$,由式(1)、(2)、(3)可以分别求出 $\Delta\mathbf{I}$ 、 $|\Delta\mathbf{I}|$ 、 θ 值。

$$\Delta\mathbf{I} = \begin{pmatrix} \frac{\partial\mathbf{I}}{\partial x} \\ \frac{\partial\mathbf{I}}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$|\Delta\mathbf{I}| = \sqrt{\left(\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{\mathbf{I}_x^2 + \mathbf{I}_y^2} \quad (2)$$

$$\theta = \arctan(\mathbf{I}_y/\mathbf{I}_x) \quad (3)$$

图像边缘梯度中的 $|\Delta\mathbf{I}|$ 表示图像边缘的强弱信息, $|\Delta\mathbf{I}|$ 值越大,表示是图像边缘信息的可能性越大,反之则越小。 θ 值表示梯度的方向,梯度的方向自始至终是与边缘的方向垂直的。在应用编程语言对图像边缘进行检测时,通常用有限差分^[7]来计算边缘信息:

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\mathbf{I}(x + \Delta x, y) - \mathbf{I}(x, y)}{\Delta x} \approx \mathbf{I}(x + 1, y) - \mathbf{I}(x, y) \quad (\Delta x = 1) \quad (4)$$

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial y} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\mathbf{I}(x, y + \Delta y) - \mathbf{I}(x, y)}{\Delta y} \approx \mathbf{I}(x, y + 1) - \mathbf{I}(x, y) \quad (\Delta y = 1) \quad (5)$$

式中: h 表示接近图像边缘的距离; Δx 和 Δy 表示像素点的距离在 $0 \sim 1$ 之间的增量。

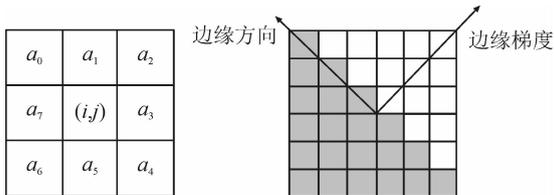


图1 3×3 像素模板和梯度方向表示
Fig. 1 Template and gradient calculation

如图1所示, 3×3 像素模板中心像元(即中心像素点 (i, j)) 的梯度为:

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial x} = \mathbf{M}_x = (a_6 + ca_5 + a_4) - (a_0 + ca_1 + a_2) \quad (6)$$

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial y} = \mathbf{M}_y = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6) \quad (7)$$

式中: \mathbf{M}_x 、 \mathbf{M}_y 分别为水平方向和垂直方向模板计算公式; c 为中心像元权值; $a_0 \sim a_7$ 为中心像元周围的像素。

当 $c=2$ 时,便得到传统的 Sobel 边缘检测模板:

$$\mathbf{m}_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{m}_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.2 改进 Sobel 边缘检测算子

在 1.1 节中对传统的 Sobel 算子模板生成原理进行了分析,也是在此基础上对其进行改进,加入 45° 与 225° 方向和 135° 与 315° 方向的两个模板。新添加的模板分别用 \mathbf{m}_{45° 和 \mathbf{m}_{135° 表示。这样的改进措施其改进原理是在水平和垂直方向检测的基础上扩大了检测的方向范围,因而对图像的检测更加精准。

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial x_{45^\circ}} = \mathbf{M}_{x_{45^\circ}} = (a_7 + ca_6 + a_5) - (a_1 + ca_2 + a_3) \quad (8)$$

$$\frac{\partial\mathbf{I}}{\partial y_{45^\circ}} = \mathbf{M}_{y_{45^\circ}} = (a_3 + ca_4 + a_5) - (a_1 + ca_0 + a_7) \quad (9)$$

$$\mathbf{m}_{45^\circ} = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{m}_{135^\circ} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据图像检测中其检测方向的对称性,将 $0^\circ \sim 360^\circ$ 梯度方向角归并成四个方向,如图2所示: 0° 与 180° 方向、 45° 与 225° 方向、 90° 与 270° 方向、 135° 与 315° 方向。其他方向以此类推,都可以找到相应的对称方向。

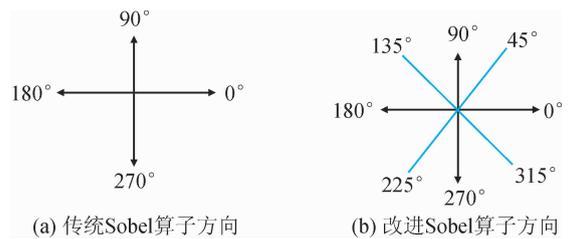


图2 算子方向
Fig. 2 Operator direction

1.3 添加高低帽形态学变换

用算法对图像的边缘进行提取,提取到的边缘会有两类,即真边缘和假边缘^[8]。在图像的边缘检测中,应用传统的检测算子时假边缘的出现是无法避免的,这就需要对现有算子进行改进,以此来消除假边缘效应的存在。将形态学算子加入改进后的 Sobel 算子中,不仅消除了假边缘,而且还使图像的边缘细节更加完整。形如 $f(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 的图像函数, $f(x, y)$ 为输入图像, $b(x, y)$ 为结构元素。

1) 膨胀运算:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x, t-y) \in D_f, (x, y) \in D_b\} \quad (10)$$

式中: D_f 和 D_b 分别为 f 和 b 的定义域。

2) 腐蚀运算:

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x, t+y) \in D_f, (x, y) \in D_b\} \quad (11)$$

3) 开运算:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (12)$$

4) 闭运算:

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b \quad (13)$$

膨胀运算的作用是对图像的边缘未连接部分进行连接,使图像的边缘显现出更多。腐蚀运算的作用是尽可能的对图像的边缘进行收缩,消除假边缘现象的存在。虽然膨胀腐蚀运算能使边缘进行有效的连接,但同时也可能改变边缘的信息,而开闭运算正好能弥补其不足之处,同时还具有其相应的优点。

5) 高低帽变换:

高低帽变换是由式(10)~(13)几种算子组合而成的,高帽变换可以突出图像细节,低帽变换可以突出相连接目标间的界限。在改进的 Sobel 边缘检测图像上加上高帽变换的结果再减去低帽变换,可以有效提高图像的对比度,丰富细节信息。

形态学 top-hat 变换:

$$H_{\text{hat}} = f - (f \circ b) \quad (14)$$

形态学 bottom-hat 变换:

$$B_{\text{hat}} = (f \cdot b) - f \quad (15)$$

2 实验

实验图像来自于图像库里的标准图像,通过对标

准图像的检测可以避免很多图片自身问题所带来的干扰。图 3 为实验图像,实验的硬件配置如表 1 所示。



图 3 实验图像

Fig. 3 Experimental image

表 1 实验中的计算机配置

Tab. 1 Computer configuration in experiment

软件	计算机系统	Lenovo Windows 7-Zip(64 bit)
	实验平台软件	Matlab
硬件	计算机型号	Lenovo G405s
	中央处理器	1.9 GHz
	硬盘容量	1T
	运行内存	4.0GB
	显示分辨率	1366.0 × 768.0

用 Matlab 生成的效果图如图 4 所示,从第一组 Lena 图像中可以得出,改进的 Sobel 边缘检测相较于其他两种检测效果更好,可以通过图 5 Lena 图像边缘检测局部图,清晰地看出没有边缘的断裂以及边缘的漏检。表 2 给出了对改进算法的客观评价结果,峰值信噪比 (PSNR) 是一种评价图像质量最为普遍和使用最广泛的客观量测法,其值越大,代表边缘检测效果越好。改进后的算法能较好地提高图像的质量,保留图像的原始信息。第二组 pepper 图片实验效果图和第三组 flower 实验效果图验证了该算法的使用具有鲁棒性。



图 4 传统算法与改进算法及 Matlab 自带算法实验效果图

Fig. 4 Traditional algorithm, improved algorithm and Matlab's own algorithm experimental effect diagram

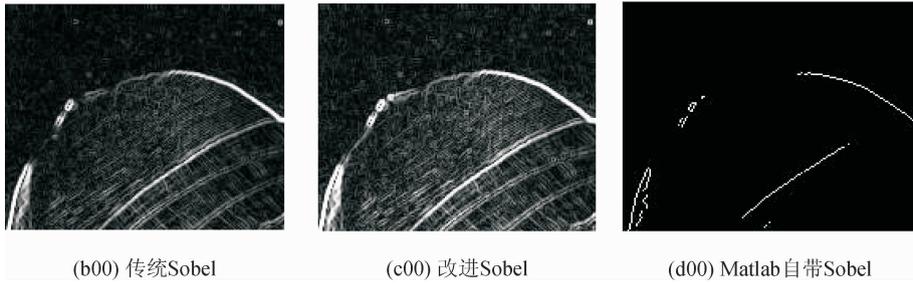


图5 Lena 图像边缘检测局部图

Fig. 5 Lena image edge detection partial map

表2 图像边缘检测性能评价

Tab. 2 Image edge detection performance evaluation

图像	峰值信噪比/dB	
	传统 Sobel 算子	改进的 Sobel 算子
Lena 图像	7.199 2	7.377 9
pepper 图像	10.561 9	10.838 8
flower 图像	7.241 3	7.634 4

由于改进 Sobel 边缘检测图是由改进的四个模

板卷积生成的,只是选取了图像的 0° 、 90° 、 45° 和 135° 特定的方向,所以有些边缘细节并没有凸显出来。通过图 6 形态学高低帽变换图(Lena 图像和 pepper 图像)可以清晰地看出,在改进的 Sobel 边缘检测图像上加上高帽变换的结果再减去低帽变换(加入高低帽变换是对整幅图像进行细节上的变换处理),可在有效提高图像对比度^[9]的同时,丰富细节信息,使检测到的图像与原图像边缘信息更加吻合。

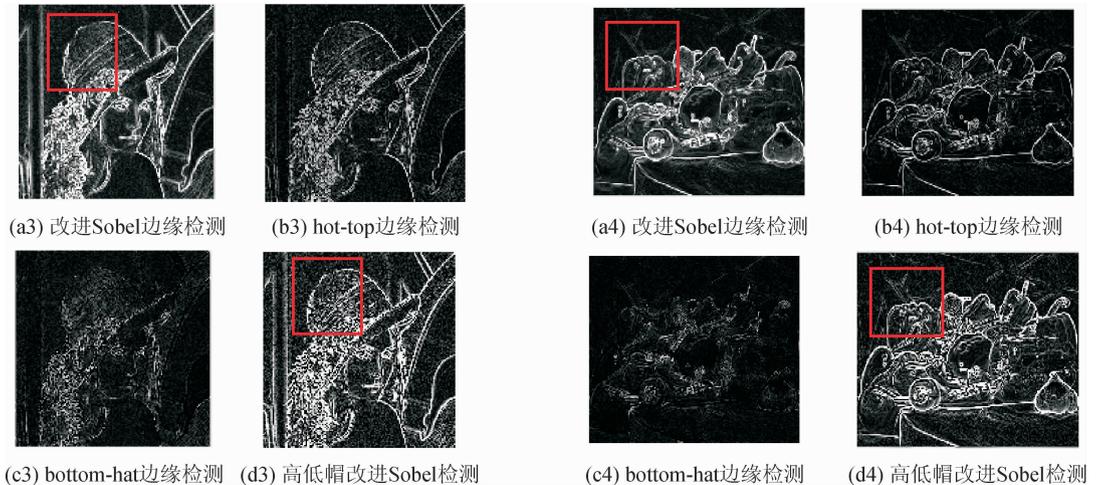


图6 形态学高低帽变换图

Fig. 6 Morphological high and low cap transformation diagram

3 结果与讨论

1) 改进后的 Sobel 算法对图像边缘的检测更加清晰,但是有很多边缘的细节丢失。

2) 在改进的 Sobel 边缘检测图像上加上高帽变换的结果再减去低帽变换,可以有效提高图像的对比度和丰富细节信息,能更好地还原图像的真实边缘。

通过对数字图像的实验,得到的检测效果比较理想。在印刷图像通过扫描设备进行缺陷质量检测过程中,应用此优化后的边缘检测算法,将更便于分析图像的边缘信息。

参考文献:

- [1] 郑英娟. 基于八方向 Sobel 算子的边缘检测算法研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2014.
ZHENG Yingjuan. A study on algorithm of edge detection based on the eight directions Sobel operator [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2014.
- [2] 陈恺焯,刘昕,王咚. 基于图像掩模和击中击不中变换的优化边缘提取算法[J]. 西安理工大学学报,2018,34(1):116-121.
CHEN Kaixuan, LIU Xin, WANG Dong. An algorithm for optimized edge detection based on image mask and hit-miss transform [J]. Journal of Xi'an University

- of Technology, 2018, 34(1): 116-121.
- [3] 阳振宇,潘建平,陈梦. 基于高低帽变换的图像迭代分割方法[J]. 测绘工程, 2018, 27(8): 60-65.
YANG Zhenyu, PAN Jianping, CHEN Meng. An iterative image segmentation method based on high and low cap transformation[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2018, 27(8): 60-65.
- [4] VINCENT O R, FOLORUNSO O. A descriptive algorithm for Sobel image edge detection [C]//Proceedings of informing Science & IT Education Conference, 2009: 97-106.
- [5] HEATH M, SARKAR S, SANOCKI T, et al. Comparison of edge detectors: a methodology and initial study [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(1): 38-54.
- [6] 潘跃龙,顾奇南,郑立斌,等. 基于梯度算子的边缘检测方法的研究与改进[J]. 制造业自动化, 2014, 36(17): 82-84.
PAN Yuelong, GU Ji'nan, ZHENG Libin, et al. Research and improvement on the algorithms of image edge detection based on gradient operators[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(17): 82-84.
- [7] 王永强,马伦,律方成,等. 基于有限差分 and 有限体积法相结合的油浸式变压器三维温度场计算[J]. 高电压技术, 2014, 40(10): 3179-3185.
WANG Yongqiang, MA Lun, LÜ Fangcheng, et al. Calculation of 3D temperature field of oil immersed transformer by the combination of the finite element and finite volume method [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(10): 3179-3185.
- [8] 王文峰,阮俊虎, CV-MATH, 等. 计算机视觉与机器认知[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2017, 93-98.
- [9] 张金凤. 印刷图像检测技术的研究[D]. 西安:西安理工大学, 2019.
ZHANG Jinfeng. Research on printed image detection technology [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.
- (责任编辑 周 蓓)
-
- (上接第 342 页)
- [10] 武田艳, 占建军, 严伟. 基于改进 PSO 的保障性社区公共服务设施配置空间优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(1): 263-272.
WU Tianyan, ZHAN Jianjun, YAN Wei. Study on configuration of space and optimization for the indemnificatory community public service facility based on modified PSO [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(1): 263-272.
- [11] 孙昕, 吉晓民, 王毅. 基于 SLP 和改进粒子群算法的产品布局优化设计方法研究[J]. 西安理工大学学报, 2016, 32(4): 488-493.
SUN Xin, JI Xiaomin, WANG Yi. Research on product layout optimization method based on SLP and improved particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2016, 32(4): 488-493.
- [12] 李云, 龚昌奇. 改进的遗传算法在游艇舱室布局优化设计中的应用[J]. 船海工程, 2010, 39(1): 34-37.
LI Yun, GONG Changqi. Application of improved genetic algorithms in the optimization design of yacht cabin's layout[J]. Ship & Ocean Engineering, 2010, 39(1): 34-37.
- [13] 钟婷. 空间句法在成都少城空间优化中的应用[J]. 重庆建筑, 2018, 17(10): 10-15.
ZHONG Ting. Application of space syntax in space optimization of Chengdu Shaocheng space [J]. Chongqing Architecture, 2018, 17(10): 10-15.
- [14] 钟锐琛, 邵雯, 张圆. 高校庭院空间环境特征对空间利用的支持研究[J]. 居业, 2017, 24(9): 42-43.
ZHONG Ruichen, SHAO Wen, ZHANG Yuan. Research on space utilization of university courtyard based on space environment characteristics[J]. Create Living, 2017, 24(9): 42-43.
- [15] 王运龙, 王晨, 纪卓尚, 等. 船舶居住舱室智能布局优化设计方法研究[J]. 中国造船, 2013, 54(3): 139-146.
WANG Yunlong, WANG Chen, JI Zhuoshang, et al. A study on intelligent layout design of ship cabin[J]. Shipbuilding of China, 2013, 54(3): 139-146.
- (责任编辑 周 蓓)