

DOI: 10.19333/j.mfkj.2018010110905

织物表面几何形状检测中最优边缘检测算法的选取

杨鹏程 杨社强 肖 渊 刘 洋

(西安工程大学 机电工程学院 陕西 西安 710048)

摘要: 基于机器视觉方法检测织物表面图案几何形状,研究棉质纺织品表面图案边缘的检测效果,通过对比找到适合工业应用的边缘检测算法。选取多种典型的边缘检测算子为考察对象,首先对各自边缘检测的结果图像及其信息熵进行对比,然后分析各算子在目标区域分割、内部条纹及局部图案细节等多方面的表现,证明 Sobel 算子得到的图像边缘与背景区域的灰度差异明显,灰度信息熵最小,有利于图像几何信息的识别;而且 Sobel 算子对织物表面及背景区域的纹理不敏感,识别结果:图像中噪声及后续处理难度较小,适合棉质袜子表面几何形状的检测。

关键词: 织物表面质量; 几何形状检测; 边缘检测; 图像分析

中图分类号: TP 335

文献标志码: A

Optimal edge detection algorithm selection in fabric surface geometry detection

YANG Pengcheng, YANG Sheqiang, XIAO Yuan, LIU Yang

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Based on the machine vision method to detect the geometric pattern of the fabric surface pattern, the detection effects of the cotton fabric edge were investigated to find the edge detection algorithm which is suitable for industrial applications. A variety of typical edge detection operators were selected. The result images of each edge detection and their information entropy were compared. Then, the performance of each operator in the segmentation of the target region, the internal stripes and the details of local patterns were analyzed. The results showed that there is a significant difference in the gray level between edge and background of the edge image obtained by Sobel operator. It is due to the gray has the smallest information entropy, which is most conducive to the identification of image geometric information. Moreover, Sobel operator is suitable for the detection of the surface geometry of cotton socks, because it is insensitive to the texture of the fabric surface and the background area, which brings it easy for the subsequent processing.

Keywords: fabric surface quality; geometric shape detection; edge detection; image analysis

随着经济的不断发展,纺织品已经不仅局限于满足人们舒适保暖的需求,更是人们个性和审美的

重要体现^[1]。与之相伴,纺织品表面图案也越来越多样和复杂,因此,对织物表面图案质量的监测也提出了越来越高的要求。目前,纺织企业主要依靠人工实现织物表面图像质量的检测,不仅效率低,而且往往因个体差异、疲劳等因素导致识别错误。基于机器视觉的图像检测系统具有快速、准确、自动化程度高等优点,可大大提高检测效率和客观准确度^[2-3],已经应用于多种纺织品质量的在线监测^[4],并将越来越多地应用于实际工业生产中^[5]。

在机器视觉领域中,边缘检测是检测图案几何

收稿日期: 2018-01-18

基金项目: 陕西省科技厅自然科学基金基础研究计划-青年人才项目(2015JQ5196); 陕西省青年人才托举计划(20160124) 西安工程大学博士科研启动金(BS1401)

第一作者简介: 杨鹏程, 讲师, 博士, 主要从事纺织品质量在线检测、全息投影、激光干涉测量方面的研究。E-mail: yangpengcheng@xpu.edu.cn。

形状的有效手段,其基本思想是用具有一定形态学结构的元素去度量图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目的^[6-7],可以提供图像轮廓和拓扑结构信息等许多有价值的几何形状信息^[8-9]。图像边缘检测技术作为该领域经典的技术难题之一,如何快速、精确的提取图像边缘信息一直是国内外的研究热点。经典的边缘检测方法是对原始图像中像素的某小邻域来构造边缘检测算子,例如一阶微分边缘检测算子: Sobel 算子、Prewitt 算子等;二阶微分边缘检测算子: LaPlacian 算子等。近年来新的检测算法不断涌现,随着计算机速度和存储的飞速发展,图像分辨率越来越高,即使在边缘处相邻像素灰度值的差异也越来越小,从而制约了建立在以梯度为主的边缘检测算子的发展,因此提出了基于模糊推理的边缘检测算法。传统算法都是单一尺度的边缘检测算子,不可能在噪声存在的情况下准确的检测出所有的边缘,因此利用小波进行多尺度边缘检测算法越来越引起人们的重视,如 Mallat 小波边缘检测算子^[10]。

近年来,基于机器视觉的边缘检测方法大量应用于织物表面图像质量的在线检测中^[11]。Niggemann 等^[12]采用边缘检测算法实现了织物表面轮廓的探测,楼越升^[13]通过对织物图像的离散傅里叶变换实现了织物纹理信息的在线检测,韩晓军等^[14]提出了一种基于图像信息的方法用于检测织物破洞、断经、跳花和浆斑等 4 种类型疵点的特征。由于各边缘检测算子对不同材质不同图像信息的识别能力各不相同,往往需要根据具体的检测环境和检测对象选择可行的检测算法。

针对大规模工业应用时,需要选择简单且具有良好的特性的边缘检测算子。当以棉质袜子表面图案的几何形状为检测对象时,目前为止并未明确查到特性优良可用的边缘检测算子。本文选择 3 种典型的边缘检测算子,分别为微分算子法中的一阶微分 Sobel 算子、二阶微分 Laplacian 算子,以及最优算子法中的 LoG 算子,分析其针对不同织物表面形状边界的识别能力,找到最优边缘检测算法,为实际工业应用领域提供理论依据和技术支持。

1 典型图像边缘检测方法

边缘检测的基本思想:首先利用边缘增强算子定义图像中各像素点的边缘强度,再通过设置阈值强度来提取边缘点。本文介绍 3 种典型的边缘检测算子的数学模型。

1.1 Sobel 算子

Sobel 算子^[15]是一种针对灰度图像的一阶离散

性差分算子,通过对图像梯度的幅值进行阈值化来提取边缘,图像中相邻像素点间的灰度梯度反映了图像灰度变化的方向和大小,对于一个数字图像 $f(x, y)$,在位置 (x, y) 处梯度定义为:

$$F_{\text{sobel}}(x, y) = \nabla f(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

式中: $F_{\text{sobel}}(x, y)$ 为灰度梯度值; $\nabla f(x, y)$ 为数字图像在点 (x, y) 处梯度的定义; G_x 和 G_y 分别为经横向及纵向边缘检测的图像灰度值。

梯度的幅值和方向可分别表示为:

$$\text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\phi(x, y) = \arctan(G_y/G_x) \quad (3)$$

式中: $\text{mag}(\nabla f)$ 为梯度的幅值; $\phi(x, y)$ 为梯度的方向。

实际计算中常用小区域模板卷集来实现式 (1) ~ (3) 的近似计算。 G_x 和 G_y 各用 1 个模板,2 个模板组合起来构成 1 个梯度算子, Sobel 算子如式 (4) 所示:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.2 Laplacian 算子

二阶微分算子是将图像二阶方向导数的零交叉点或极值位置判定为图像的边缘位置,不具有方向性,对灰度突变敏感,定位精度高,同时对噪声敏感,且难以获得边缘方向信息。Laplacian 算子^[16]是一种典型的二阶导数算子,其定义如式 (5) 所示:

$$F_{\text{Lap}}(x, y) = \nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (5)$$

式中 $F_{\text{Lap}}(x, y)$ 为二阶微分算子; $\nabla^2 f$ 为边缘检测图像梯度散度的定义。

其近似计算模板如式 (6) 所示:

$$\nabla^2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中 ∇^2 为 Laplacian 算子。

1.3 LoG 算子

LoG (Laplacian of Gaussian) 算子是对 Laplacian 算子进行了改进,先进行高斯滤波抑制图像中的噪声,然后计算二阶方向导数寻找二阶方向导数的零交叉点或极值位置,进而得到图像的边缘^[17]。滤波时所采用的二维高斯函数 $G(\alpha, \beta)$ 如式 (7) 所示:

$$G(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{\alpha^2 + \beta^2}{2\delta^2}} \quad (7)$$

式中 δ 为高斯函数的空间分布系数。

该函数在二维空间内形状类似倒悬着的钟， δ 决定了下垂的钟壁的斜率。对该函数取二阶方向导数，得二维 LoG 算子的函数形式，如式(8)所示：

$$\nabla^2 G(\alpha, \beta) = \frac{\partial^2 G}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial \beta^2} = \frac{1}{2\pi\delta^4} \left(\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\delta^2} - 2 \right) e^{-\frac{\alpha^2 + \beta^2}{2\delta^2}} \quad (8)$$

式中 $\nabla^2 G(\alpha, \beta)$ 为二维 LoG 算子。

用 LoG 算子对输入图像 $f(x, y)$ 进行卷积运算后输出结果，如式(9)所示：

$$F_{LoG}(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \nabla^2 G(\alpha, \beta) f(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (9)$$

2 实验与讨论

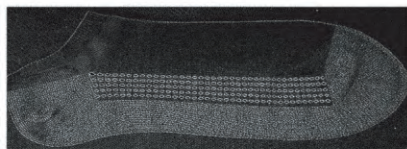
为了分析以上3类边缘检测算子对实际织物表面几何形状的检测结果，以较为常见的棉袜为例，袜子图像如图1所示，像素点个数为 1890×836 。分别采用以上3种边缘检测算子对图1袜子进行识别，其边缘强度如图2所示，为了便于对比，对 LoG 算子的结果进行了反相处理。



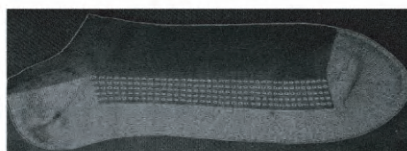
图1 实测袜子



(a) Sobel算子



(b) Laplacian算子



(c) LoG算子

图2 边缘强度检测结果

图2中各像素点的边缘强度计算方法如式(10)所示：

$$G(x, y) = \left[\frac{F(x, y) - F_{\min}(x, y)}{F_{\max}(x, y) - F_{\min}(x, y)} \times 255 \right] \quad (10)$$

式中： $F(x, y)$ 为任一像素点 (x, y) 的边缘强度计算结果； \max 为所得结果的最大值； \min 为所得结果的最小值； $[\]$ 为对其中的计算结果取整； $G(x, y)$ 为该像素点最终的灰度值。

总体来看，3种算子基本上都识别出了被检测袜子的轮廓及内部线条，但图2(b)识别出的边缘与背景之间的对比度较差，而图2(c)将一些图像中的细节(如织物纹理)识别为边缘。

图像信息熵是从平均信息量的角度对整个图像特性的表述，其值越大说明各灰度像素点分布越平均。根据式(10)得到的边缘图像灰度分布均是 $0 \sim 255$ 。此时图像信息熵越小，说明图像灰度分布越不均匀，识别出的边缘与背景差别越大，越有利于织物表面几何信息的识别。图像信息熵定义如式(11)所示。

$$H = - \sum_{i=0}^n p_i(x_i) \log p_i(x_i) \quad (11)$$

式中： H 为信息熵； x_i 为像素灰度，其中 $i = 1, 2, \dots, k$ ； k 为图像的灰度级数 ($k = 0 \sim 255$)； p_i 为各灰度级出现的概率。

分别计算图2各图像的信息熵，结果如表1所示。可以看出 Sobel 算子得到的边缘图像灰度信息熵最小，说明其背景区域和边缘灰度差距最大，最有利于图像几何信息的识别。

表1 图像的信息熵边缘检测结果

边缘检测算子	Soble	Laplacian	LoG
图像信息熵	5.77	6.28	6.82

为了进一步考察哪种算法更适合于织物表面形状信息的识别，本文从目标区域分割、条纹几何形状和局部细节3个方面考察边界识别效果。

2.1 目标区域分割

机器视觉在线检测中，往往需要首先在拍摄到的图像中识别出目标区域，即恰当地在图像中自动分割出袜子所在的区域是后续各种处理步骤的基础^[18-19]。目标区域边界识别对比图见图3。为了更加清楚地对比3种算子对目标区域的识别效果，放大了图3(a)中方框区域的边缘检测效果，如图3(b)(c)(d)所示。可以看出 Sobel 算子检测出的边缘对比度最高，且线条清晰、连续性好，最有利于目标区域的分割；LoG 算子得到的边缘效果次之，由于其对图像细节识别能力较强，织物表面和背景区域的纹理也被识别出来，在边界上下方区域出现大量噪声点；Laplacian 算子效果最差，检测出的边界对比度较低，甚至在部分区域边界连续性差，无法分辨

出边界位置。

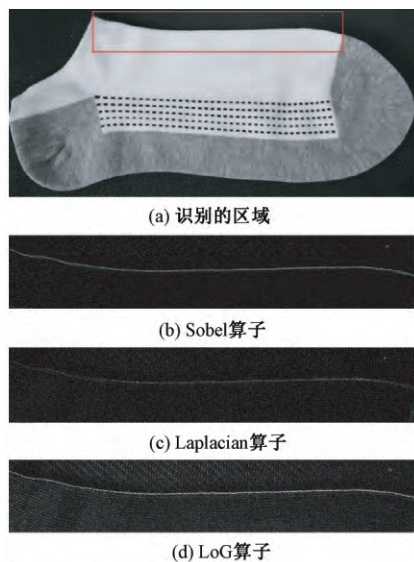


图3 目标区域边界识别对比图

2.2 内部条纹几何形状

随着纺织品的花色越来越丰富, 织物内部图案几何形状的检测也越来越重要。内部条纹识别对比图见图4。为了更加清楚地对比3种算子对内部条纹的识别效果, 放大了图4(a)中方框区域的边缘检测效果, 如图4(b)(c)(d)所示。可以看出, 对于织物内部颜色不同的2块区域间边缘检测时, 图像对比度 Sobel 算子 < Laplacian 算子 < LoG 算子。但是 LoG 算子对织物纹理过于敏感, 识别出的结果中噪声较多, 边缘周围过度区域明显, 会对后续的边缘形状拟合造成较大的困难; 相比于其他2种算子 Sobel 算子对织物细节不敏感边缘的过度区域不明显, 因此图4(a)中边界噪声也是最小的, 虽然对比度较低但可以选择合适阈值或灰度均衡化进行优化, 更有利于进一步几何形状信息的识别。Laplacian 算子效果居中, 对比度不如 LoG 算子, 噪

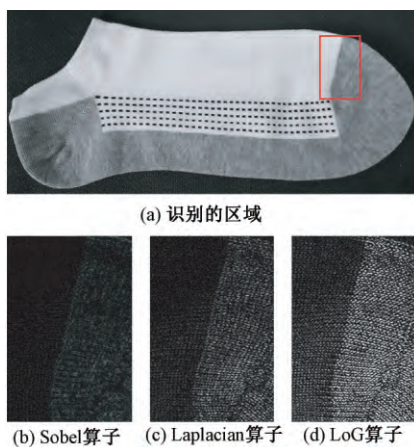


图4 内部条纹识别对比图

声的不敏感度不如 Sobel 算子。

2.3 局部图案细节

当前纺织品越来越注重个性化的展现, 而织物表面图案的细节往往是这种展现的重要载体, 因此对织物表面图案的细节也提出了越来越高的检测要求。局部细节图案对比如图5所示。放大了图5(a)中方框区域的边缘检测效果, 如图5(b)(c)(d)所示。可以看出3种算法都能够识别出局部小的箭头图案, 但是 Laplacian 算子和 LoG 算子受织物纹理影响明显, 在图案周围出现大量噪声点, Sobel 算子虽然亮度小于其他2种算子, 但是其对细节纹理的不敏感性, 得到了更加容易的织物细节图案。

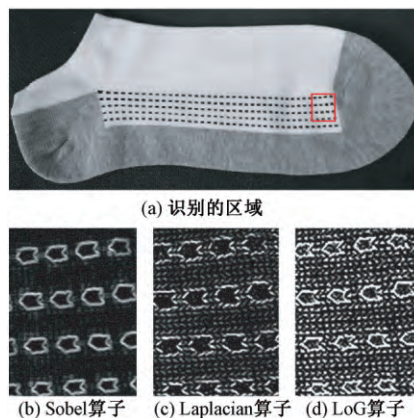


图5 局部细节图案对比图

3 结束语

本文针对基于机器视觉的织物表面几何形状检测中经常采用的边缘检测算法进行研究, 选择了一阶 Sobel 算子、二阶 Laplacian 算子和自带滤波的 LoG 算子等3种典型的边缘检测算子, 对各自边缘检测结果的信息熵、目标区域分割、内部条纹及局部图案细节等多个方面进行了对比。实验结果显示, 3种算子都能够在一定程度上实现被测织物边缘的检测, 但是效果差异较大。在同样的 [0, 255] 灰度分布区间内, Sobel 算子得到的边缘强度图像信息熵最低, 边缘与背景区域的灰度差异明显; 该算子对织物表面及背景区域的纹理不敏感, 识别结果图像中噪声较小, 后续处理难度较小; 识别结果对比度稍差, 但可通过简单的后续处理进行弥补。LoG 算子信息熵最高, 边缘与背景区域间有灰度渐变的过度区域, 不易准确识别出边缘位置; 对比度较好, 但对织物纹理等图像细节过于敏感, 识别结果包含大量噪声会大大增加后续图像处理的难度。Laplacian 算子检测效果无论在对比度和图像噪声方面均介于二者之间。综上所述, 本文研究表明对于织物表面图像的边缘检测, 一阶 Sobel 算子简单且具有较好识别效果。

参考文献:

- [1] 卓秋娜. 数字图像处理技术在纺织检测中的研究[J]. 城市建设理论研究 2017(4): 176-177.
- [2] KHOO S W, KARUPPANAN S, TAN C S. A review of surface deformation and strain measurement using two-dimensional digital image correlation[J]. Metrology and Measurement Systems, 2016, 23(3): 461-480.
- [3] 李伟松, 范蕾蕾, 孙杰. 功能性纺织品检测现状及发展趋势[J]. 现代纺织技术 2016 24(4): 56-58, 64.
- [4] 郭俊先, 应义斌, 成芳, 等. 皮棉表面多类异性纤维的高光谱图像检测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 355-360.
- [5] 王璜. 基于机器视觉的纺织品外观疵点检测与质量评价的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2009.
- [6] MARR D, HILDRETH E. Theory of edge detection[J]. Proceedings of the Royal Society of London B (Biological Sciences), 1980, 207: 187-217.
- [7] 段玉波, 陈静石. 一种新的图像边缘检测客观评价方法[J]. 自动化技术与应用 2016 35(3): 57-62.
- [8] 陈汗青, 万艳玲, 王国刚. 数字图像处理技术研究进展[J]. 工业控制计算机 2013 26(1): 72-74.
- [9] 赵应南. 浅析数字图像处理技术的现状及其发展趋势[J]. 中国包装工业 2016(6): 172-173.
- [10] 段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术 2005 31(3): 415-419.
- [11] PATIL M, VERMA M S, WAKODE M J. A Review on Fabric Defect Detection Technique [J]. International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, 4(9): 131-136.
- [12] NIGGEMANN C, MERSMANN C. Contour scanning of textile performs using a light-section sensor for automated manufacturing of fibre-reinforce Plastics [J]. Proc Spie 2008, 7003: 70031I.
- [13] 楼越升, 祝成炎, 郭振荣, 等. 基于离散傅里叶变换的织物纹理信息在线检测[J]. 东华大学学报(自然科学版) 2016 42(5): 727-737.
- [14] 韩晓军, 黄雷. 织物疵点的图像信息检测方法[J]. 天津工业大学学报 2015(5): 48-51.
- [15] 陆宗琪, 梁诚. 用 Sobel 算子细化边缘[J]. 中国图象图形学报 2000(6): 71-75.
- [16] 雷丽珍. 数字图像边缘检测方法的探讨[J]. 测绘通报 2006(3): 40-42.
- [17] 管力明, 李磊, 林剑. 基于改进 LOG 算子的图像边缘检测方法[J]. 机电工程 2010 27(12): 113-115.
- [18] 游信勇, 钱慧芳. 基于变差函数的纺织纹理图像分析[J]. 西安工程大学学报, 2015, 29(4): 410-414, 419.
- [19] 周显恩, 王耀南, 朱青, 等. 基于机器视觉的瓶口缺陷检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 702-713.