

改进 Canny 算子在工业影像清晰度评价中的应用研究*

刘书忻¹, 程仁贵², 黎明³

(1. 闽南师范大学 教育科学学院, 福建 漳州 363000; 2. 武夷学院 数学与计算机学院, 福建 武夷山 354300;
3. 重庆师范大学 研究生处, 重庆 401331)

摘要:【目的】为了实现不同离焦和正焦图片边缘检测中高低阈值的自适应确定。【方法】提出一种基于改进 Canny 算子的自动对焦清晰度评价函数。该函数利用传统 Canny 边缘检测算子的运算迅速、抗噪性强和精度高的特点,将模糊熵应用于 Canny 算子高低阈值的自适应确定,并用图像边缘点的模糊熵和作为图像清晰度评价值。【结果】在工业影像测量自动对焦系统中,算法的有效性得到了验证。【结论】试验结果表明,清晰度评价函数在满足单峰性和无偏性的前提下,具有较高的实时性,以及对环境较强的适应性,能够满足工业测量系统中对自动对焦的需求。

关键词:自动对焦;改进 Canny 算子;清晰度评价;模糊熵

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)02-0086-05

随着计算机技术和图像处理技术的不断发展,基于图像技术的非接触式测量因快捷、方便、智能等特点,被广泛应用到工业生产的各个行业^[1-4]。非接触式工业影像测量的基础是获取清晰的产品图像,而自动对焦则是图像系统获取清晰图像的重要过程,成为机器视觉系统的关键技术,如何快速有效地对图像进行自动对焦也成为研究的热点问题^[5]。其中,清晰度评价函数的优劣直接影响到自动对焦的最终效果。

目前有各种形式的清晰度评价函数^[6-11],基于边缘梯度特征的清晰度评价函数是其中一类。该类算法都是根据图像成像最清晰时,边缘点的灰度梯度最大的特点,来评价图像的清晰度^[12]。目前已有的基于边缘特征的清晰度评价函数有基于 Roberts 边缘检测算子、基于 Sobel 边缘检测算子、基于 Prewitt 边缘检测算子、基于 Krisch 边缘检测算子和基于 Gauss-Laplace 边缘检测算子等。在边缘检测算子中,Canny 算子因具有较大的信噪比、较高的检测精度和较快的检测速度等特点而被广泛应用,但它检测的高低阈值选择需要人工设定,难以适应自动对焦过程中对不同离焦和正焦的图像的自适应调整,因此目前尚未见基于 Canny 边缘检测算子的自动对焦清晰度评价。

基于 Canny 边缘检测算子的优点和缺陷的分析,本研究提出一种基于改进 Canny 算子的自动对焦清晰度评价函数,将模糊熵应用到高低阈值的设定上,实现对不同离焦和正焦的图片边缘检测中高低阈值的自适应确定,并利用图像边缘点的模糊熵对图像清晰度进行评价。在理论分析的基础上,通过试验对本算法进行验证,结果表明,该算法在实时性、准确性和抗干扰性等方面都能满足工业影像测量的要求。

1 传统 Canny 边缘检测算子原理及分析

Canny 算子是 John Canny 于 1986 年提出的一种含有最优化思想的边缘检测算子^[13],算法流程如图 1 所示,具体步骤如下:

第 1 步,高斯滤波对图像进行平滑滤波,减少噪声影响;

第 2 步,对滤波后的图像计算梯度幅

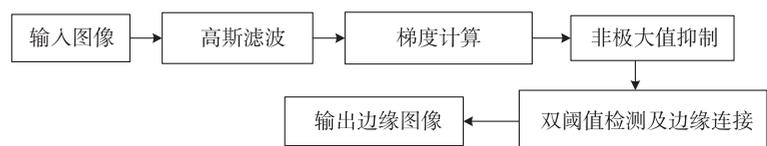


图 1 Canny 算子的算法流程

Fig. 1 Process of Canny algorithm

* 收稿日期:2016-03-31 网络出版时间:2017-03-13 11:07

资助项目:国家自然科学基金(No. 61375112)

第一作者简介:刘书忻,讲师,博士,研究方向为数字图像处理,E-mail: liushuxin01@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170313.1108.050.html>

值和方向,分别如(1)式和(2)式。

$$G(i, j) = \sqrt{G_x^2(i, j) + G_y^2(i, j)}, \quad (1)$$

$$\theta(i, j) = \arctan \frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)}. \quad (2)$$

第 3 步,对图像梯度幅值进行非极大值抑制,保留梯度幅值的局部极大值,其他点为 0。

第 4 步,对非极大值抑制后的图像进行阈值处理和边缘连接。设定高低阈值对梯度幅值进行检测,高于高阈值的点为真边缘点,低于低阈值的点为假边缘点,设置为 0。其中,高、低阈值的选择影响最终检测到的边缘质量。高阈值过小,图像细节保留过多;低阈值过高,部分边缘信息将会丢失。

传统的 Canny 算子中,高低阈值的确定是人为设定的。然而,对于不同质量的图像,同一组高低阈值所检测出的边缘质量有很大差异。特别是在自动对焦过程中,针对不同的离焦和正焦图片,如果采用同一组高低阈值,以 Canny 算子所检测到的边缘点的梯度和作为清晰度评价函数,可能出现远离对焦位置的图像,由于所检测到的边缘点中假边缘点过多,最终得到的边缘点梯度和值反而比近焦位置的图像更高,造成清晰度评价函数出现局部峰值。如果能够根据图像的不同质量,自适应的对高低阈值进行设定,则有可能将 Canny 边缘检测算子应用到工业测量的自动对焦系统中。

2 基于改进 Canny 算子的清晰度评价函数

2.1 基于模糊熵的自适应高低阈值确定

模糊逻辑现在被广泛应用到图像处理中。对于模糊集合,由于不同的人所用的判断标准不同,隶属度函数及各元素的隶属度也将不尽相同。因此引入模糊熵对模糊集的模糊性程度进行合理度量^[13-14]。本研究利用模糊熵度量图像梯度信息的不确定性,计算边缘点的高低阈值,实现 Canny 算子的自适应边缘检测。

1) 模糊熵的定义。设有一幅 $m \times n$ 维的图像 M ,定义模糊集合 $R = \{G(i, j) | ((i, j) \text{ 为非极大值抑制后的非零像素点})\}$,这里 $G(i, j)$ 为过滤后的像素计算梯度幅值,模糊集合 R 的隶属度函数为:

$$\mu_R(g(i, j)) = \frac{1}{1 + G(i, j)}. \quad (3)$$

(1)式中, $0.5 \leq \mu_A(g(i, j)) \leq 1$ 。由(3)式可知,当 $G(i, j) = 0$ 时,隶属度函数 u_R 出现最大值。根据信息论,熵用于对信息的不确定性进行度量,模糊熵用于对模糊集合或者模糊系统的模糊信息进行度量^[13]。图像测量系统所采集的图像中,像素的梯度经常受到光照和噪声等因素的影响,从而导致梯度信息的不确定。在本研究中,模糊熵被用于对像素的梯度幅值的不确定性进行度量,给定图像梯度的模糊集合 R 和隶属度函数 u_R ,模糊熵可以由(4)式计算出。

$$E(\mu_R(G(i, j))) = -(\mu_R(G(i, j))) \ln(\mu_R(G(i, j))). \quad (4)$$

由(4)式可知,当 $G(i, j) = 0$,隶属度函数 u_R 为最大值的时候,模糊熵最小,且模糊熵和隶属度函数在最小值和最大值两侧具有对称性。

2) 图像的边缘特征函数构建。定义基于模糊熵的图像 M 的边缘点的测度值,如(5)式所示。

$$H(M) = \sum_{(i, j) \in R} -(\mu_R(G(i, j))) \ln(\mu_R(G(i, j))) = \sum_{(i, j) \in R} E(i, j), \quad (5)$$

其中,当像素点 (i, j) 为边缘点时,像素点的梯度幅值最大,则测度值 $H(M)$ 的值也最大。

3) 高低阈值的确定。对测度分别求均值和标准差,如(6)式和(7)式。设高阈值 $T_h = |\overline{H(M)} - \sigma|/2 + \overline{H(M)}$,低阈值 $T_l = 0.5T_h$ 。

$$\overline{H(M)} = \frac{H(M)}{X_{\text{number}}(R)}, \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{(i, j) \in R} (E(i, j) - \overline{H(M)})^2}{X_{\text{number}}(R)}}. \quad (7)$$

其中 $X_{\text{number}}(R)$ 为模糊集 R 的势,表示集合 R 的元素个数。

2.2 清晰度评价函数的建立

对基于模糊熵的自适应 Canny 算子进行功能延伸,考虑到减小计算量、降低计算复杂性,以模糊集合 R 内各边缘点的模糊熵 $E(i, j)$ 的和作为图像清晰度评价函数,如(8)式所示。

$$F(M) = \sum_{(i,j) \in R} E(i,j) \tag{8}$$

3 试验验证及分析

3.1 算法基本特性分析

图 2a 为待检测工件刹车片在自然光下的图片,红圈所指示凸台为对焦位置,后续所有试验都以此位置进行对焦。图 2b、图 2c 分别为刹车片凸台的正焦图片和离焦图片。

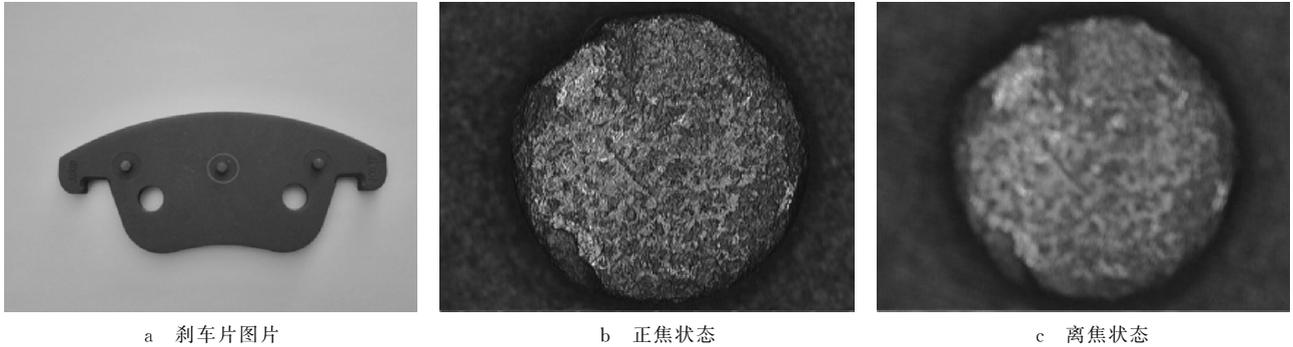


图 2 待检测工件

Fig. 2 The measured workpiece

为了验证改进 Canny 算子在图像清晰度评价的应用效果,进行以下试验:固定 CCD 镜头到刹车片的距离不变,以固定步长从远至近进行对焦,对不同聚焦状态的图片进行采集并在其中心窗口截取 320×320 的对焦窗口,将所获取图片按照对焦状态进行排列。再以 Canny 算子和改进 Canny 算子作为清晰度评价函数值,对所获取的 15 幅图片进行清晰度评价,图 3 为归一化处理后的对比结果。从图中可看出,传统 Canny 算子不能根据图片质量进行自适应阈值调整,不满足图像清晰度评价函数对单峰性、无偏性、尖锐性的要求,改进后的 Canny 算子能够满足图像清晰度评价函数的要求。

将基于改进 Canny 算子的清晰度评价函数与其他基于边缘检测算子的清晰度评价函数进行比较,包括 Roberts 算子、Brenner 算子、Laplacian 算子、Tenengrad 算子。图 4 为评价结果归一化后的比较曲线。

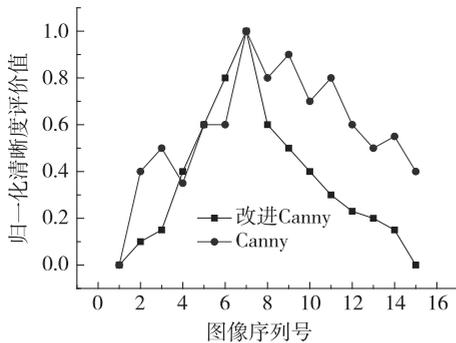


图 3 传统 Canny 与改进 Canny 清晰度评价比较

Fig. 3 Auto focusing function values of Canny and improved Canny

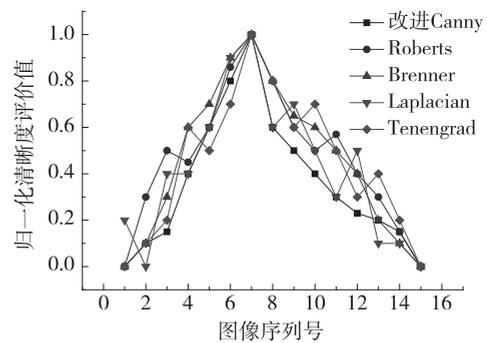


图 4 清晰度评价函数比较曲线

Fig. 4 Comparison of definition evaluation functions

图 4 显示,在所测试的清晰度评价函数中,只有改进 Canny 算子和 Brenner 算子呈现单峰性,且改进 Canny 算子呈现更陡峭的峰值特性和更高的敏感性。Roberts 算子、Laplacian 算子和 Tenengrad 算子都呈现多个峰值点,难以对正焦位置做出正确的评价。

3.2 不同环境条件下清晰度评价函数性能对比

工业影像测量的照明环境是获取理想图片的基础,上述试验都是在相对理想的照明环境下进行的,为了进一步对基于改进 Canny 算子的清晰度评价算法的可靠性进行验证,本研究针对不同的光照条件进行以下试验。对图 2a 所示刹车片进行试验,每次试验时镜头的放大倍率都设置为 3,光照强度指数分别取 10(偏弱)、35(理想)、80(过强),并对改进 Canny 算子和 Brenner 算子进行比较。

图 5 为 3 组不同光照条件下基于改进 Canny 算子的清晰度评价函数值。图中显示,照明条件过强或者过弱

都会使清晰度函数曲线上浮,且曲线略趋平坦,尖锐性有所减弱。但是曲线仍然具有良好的单峰性、无偏性的特点。

图 6 为光照指数为 10 和 80 下,改进 Canny 算子评价价值与 Brenner 算子评价价值的比较。从图中看出, Brenner 算子在光强不理想(过强或者过弱)的环境下,其曲线上浮、平坦,且出现局部峰值点。改进 Canny 算子虽然也受到环境的影响,但表现出对环境变化更强的适应能力。

试验表明,基于改进 Canny 算子的清晰度评价函数在实际应用中具有较强的抗干扰能力,能够适应工业测量过程中的复杂环境变化,有效提高自动对焦系统的可靠性能。

3.3 实时性分析

在 Canny 算子实现的 4 个环节中,改进 Canny 算子与传统 Canny 算子相比较,在高斯滤波、梯度计算和非极大值抑制这 3 个环节所需计算时间一样,不同之处在于高低阈值处理这一环节。相比较传统 Canny 算子,改进 Canny 算子根据图像质量自适应确定高低阈值,从而确保了边缘定位更加精准,并有效地排除了虚假边缘的干扰。因此,尽管高低阈值的自适应确定增加了计算时间,但是,一方面本文采用模糊熵定义的像素点测度的平均值和标准差设定高低阈值,增加的运算量主要以加减运算为主;另一方面由于自适应高低阈值选择实现了边缘点的更精确地定位,减少了后续边缘连接的次数和时间。因而自适应阈值选择仍然保持了传统 Canny 算子在实时性方面的优势,能够满足工业影像测量中对图像清晰度评价的实时性的要求。

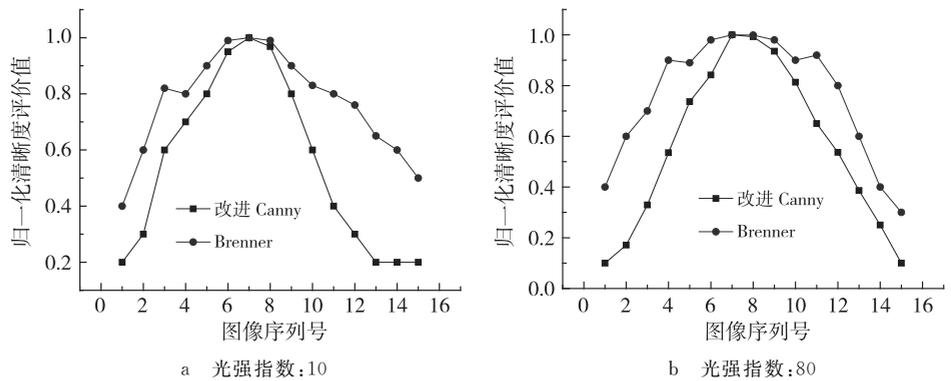


图 6 不同光强指数下的改进 Canny 与 Breener 清晰度评价价值对比

Fig. 6 Contrast between improved Canny and Breener under various light intensity

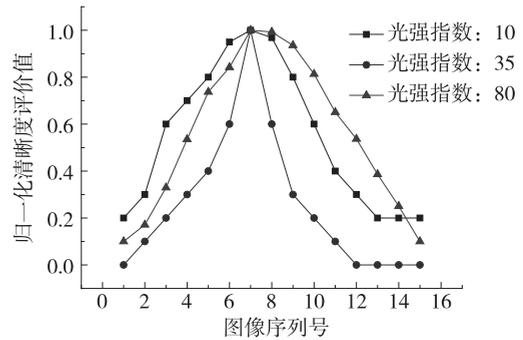


图 5 不同光照强度下的改进 Canny 算子清晰度评价函数值

Fig. 5 Values of definition evaluation function for improved Canny under different light

4 结语

本研究提出一种基于改进 Canny 算子的自动对焦清晰度评价函数。模糊熵被应用到高低阈值的自适应选择,克服了传统 Canny 算子在边缘检测高低阈值的选择只能人工确定,无法对不同质量的图片进行自适应识别的缺陷。该算法被用于自动对焦系统的图像清晰度评价中,根据所检测图像边缘点的模糊熵定义了清晰度评价函数。试验表明,所提出的算法具有良好的特性,能够满足工业测量及其他复杂测试环境对自动对焦系统的要求。

参考文献:

[1] 胡波,陈阿林,孙小涛. 基于 Matlab/Simulink 的遥感图像处理[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(4): 101-106.
 HU B, CHEN A L, SUN X T. Remote sensing image processing based on Matlab/Simulink[J]. Journal of Chongqing Normal University(Natural Science), 2012, 29(4): 101-106.

[2] 张德发,彤丽. 多光源图像细化和细节增强的协同图像处理算法研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2014, 26(2): 260-264.
 ZHANG D F, RONG L. Multi-light source image defined and enhanced image processing algorithms[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2014, 26(2): 260-264.

[3] 周宇谷,王平,高颖慧. 基于视觉词袋模型的遥感图像分类

- 方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015(5): 71-77.
- ZHOU Y G, WANG P, GAO Y H. Remote sensing image classification with bag-of-visual-words model[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2015(5): 71-77.
- [4] 代威, 文贡坚, 张星, 等. 高光谱图像海上舰船目标检测方法研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015(11): 120-125.
- DAI W, WEN G J, ZHANG X, et al. Method for ship detection in hyperspectral image[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2015(11): 120-125.
- [5] MOSCARITOLO M, JAMPPEL H, KNEZEVIČ F, et al. An image based auto-focusing algorithm for digital fundus photography[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2009, 28(11): 1703-1707.
- [6] ZHOU C, LIN S, NAYAR S K. Coded aperture pairs for depth from defocus[J]. International Journal of Computer Vision, 2011, 93: 53-72.
- [7] AKIYAMA A, KOBAYASHI N, MUTOH E, et al. Infra-red image guidance for ground vehicle based on fast wavelet image focusing and tracking[C]//Novel optical systems design and optimization XI SPIE, San Diego, CA: SPIE, 2009, 7429(6): 5-20.
- [8] GAMADIA M, KEHTARNAVAZ N, HOFFMAN K R. Low-light auto-focus enhancement for digital and cell-phone camera image pipelines[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronic, 2007, 53(2): 249-257.
- [9] LIU C T, HE Z X, ZHAN Y, LI H C. Searching algorithm of theodolite auto-focusing based on compound focal judgment[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014: 110-121.
- [10] 郭敬明, 杨杰, 李鸿升, 等. 基于双树复数小波变换的图像清晰度判定[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(4): 579-583.
- GUO J M, YANG J, LI H S, LI M. A new measure of image focus based on dual-tree complex wavelet transform[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(4): 579-583.
- [11] 张来线, 孙华燕, 郭慧超, 等. 基于图像灰度梯度最大值累加的自动调焦算法[J]. 光子学报, 2013, 42(5): 605-610.
- ZHANG L X, SUN H Y, GUO H C, et al. Auto focusing algorithm based on largest gray gradient summation[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(5): 605-610.
- [12] 杨再华, 李玉和, 李庆祥, 等. 基于边缘特征提取的图像清晰度评价函数[J]. 计算机工程与应用, 2005(10): 35-36, 161.
- YANG Z H, LI Y H, LI Q X, et al. Image definition criterion based on edge gradient feature[J]. Computer Engineering and Applications, 2005(10): 35-36, 161.
- [13] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(6): 679-698.
- [14] AL-SHARHAN S, KARRAY F, GUEAIEB W, et al. Fuzzy entropy: a brief survey[C]//2001 IEEE international fuzzy systems conference. Melbourne, Australia: IEEE, 2011: 1135-1139.

Study of an Improved Canny Algorithm Using in Industrial Image Definition Evaluation

LIU Shuxin¹, CHENG Rengui², LI Ming³

(1. School of Educational Science, Minnan Normal University, Zhangzhou Fujian 363000;

2. School of Mathematics and Computer Science, Wuyi University, Wuyishan Fujian 354300;

3. Graduate Department, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] Auto-focusing is one of key technologies in the industrial image measurement system. [Methods] It presents an auto-focusing definition evaluation function based on improved Canny algorithm. The function has characteristics of quick operation, stronger noise resistance and high precision of Canny algorithm, the fuzzy entropy was used to determine the high threshold and the low threshold adaptively, and sum of the fuzzy entropy about edge points was used as the definition evaluation value. [Findings] Effectiveness of the algorithm was verified in the auto-focusing system of industrial image measurement. [Conclusions] Experimental results indicated that, under the premise of satisfy unimodality and unbiased, the definition evaluation function has high real time capability, and high adaptation. This algorithm can satisfy the requests of the auto-focusing in the industrial measurement system.

Keywords: auto-focusing; improved Canny algorithm; definition evaluation; fuzzy entropy

(责任编辑 游中胜)