

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.08.013

一种基于数学形态学的齿轮边缘检测方法研究*

涂盼盼,何毅斌*,熊文豪,胡高芮,陈宇晨,戴乔森,刘 湘
(武汉工程大学 机电工程学院,湖北 武汉 430073)

摘要:针对传统的边缘检测算法在提取齿轮边缘过程中存在的抗噪性较差的问题,对图像边缘检测中算法的抗噪性、边缘检测连续性和细节保留能力进行了研究,在对数学形态学的边缘检测算法进行归纳的基础上,提出了一种基于数学形态学的齿轮边缘检测方法。针对采集到的图片,利用最基本形态学操作组合,对齿轮锯齿边缘和内部圆环部分,分别使用了形态学填充和形态学连通域去噪,然后使用形态学边缘检测算子提取了边缘,最后将两部分边缘相加,得到了最终齿轮边缘检测图;再对采集的齿轮图片加入了椒盐噪声,重复进行了边缘检测试验。研究表明:该算法能够检测出较好的齿轮边缘,在抗噪性、边缘检测连续性、细节信息保留等方面都有较大的提高。

关键词: 齿轮边缘;数学形态学;形态学填充;形态学连通域

中图分类号: TH132.41;TP242.6⁺²

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2019)08-0839-04

Gear edge detection method based on mathematical morphology

TU Pan-pan, HE Yi-bin, XIONG Wen-hao, HU Gao-rui,
CHEN Yu-chen, DAI Qiao-sen, LIU Xiang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional edge detection algorithm has poor anti-noise ability in the process of extracting gear edge, the anti-noise ability, continuity of edge detection and detail preservation ability of the algorithm in image edge detection were studied. The edge detection algorithm of mathematical morphology was summarized. A method of gear edge detection based on mathematical morphology was proposed, and the images collected were analyzed. The combination of basic morphological operations were used, the sawtooth edge and inner ring of gear were separated and applied to morphological filling and morphological connected domain denoising. Then the edge was extracted by morphological edge detection operator. Finally, the two edges were added together to get the final gear edge detection map. Then salt and pepper was added noise to the collected gear image, and the edge detection test was repeated. The results indicate that the algorithm can detect better gear edges, and has a great improvement in noise resistance, continuity of edge detection and details information preservation.

Key words: gear edge; mathematical morphology; morphological filling; morphological connected domain

0 引 言

数字图像的边缘检测是图像分割、目标区域识别、区域形状提取等图像分析领域十分重要的基础,也是图像识别中提取图像特征的一个重要属性。边缘是图

像最基本的特征,由于噪声和模糊的存在,检测到的边界可能会变宽,或在某些点处发生间断。边界检测包括两个基本内容,首先抽取出反映灰度变化的边缘点,然后剔除某些边界点或填补边界间断点,并将这些边缘连接成完整的线^[1]。

收稿日期:2018-12-28

基金项目:湖北省科技厅重大专项资助项目(2016AAA056);武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX2018188)

作者简介:涂盼盼(1994-),男,湖北安陆人,主要从事科学计算可视化与仿真、图像识别方面的研究。E-mail:1710630044@qq.com

通信联系人:何毅斌,男,博士,教授。E-mail:775700062@qq.com

经典的 Sobel、Prewitt 等一阶梯度算子和 Canny、LOG 等二阶微分算子,均是采用检测图像灰度的变化来检测图像的边缘,但此类算子的原理上的局限性也很明显,就是噪声会影响算子对图像灰度边缘的检测,易产生假边缘或者断续的现象,所以其应用也有局限性^[2-3]。

数学形态学基于集合运算,具有非线性特征,在图像边缘检测上即体现集合特征,又能检测图像边缘。事实上,数学形态学已经构成了一种新的图像处理方法和理论,成为了计算机数字图像处理及分形理论的一个重要研究领域,并且已经应用在多门学科的数字图像分析和处理的过程中^[4-5]。

本文提出一种基于数学形态学的齿轮边缘提取算法,以迭代法求取二值分割阈值,通过保留最大图形面积以及运用形态学填充、形态学连通域来去噪,最后通过形态学边缘提取来获得齿轮边缘信息。

1 传统边缘检测算法

1.1 一阶梯度算子

对于一个连续函数 $f = (x, y)$, 在 (x, y) 处的梯度定义为^[6]:

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

梯度是一个向量,其幅度和相位分别为:

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

$$\varphi(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (3)$$

在恒定灰顶位置处 $|\nabla f| = 0$, 且其值和与可变灰度区域中的灰度变化程度有关。 $\varphi(x, y)$ 的值决定梯度向量最大变化率发生的角度^[7]。

1.2 二阶梯度算子

二阶梯度算子以经典的 Canny 算子的边缘检测方法为例,其算法操作步骤如下^[8]:

- (1) 使用具有指定标准差 σ 的一个高斯滤波器来平滑图像,以减少噪声;
- (2) 在每个点处计算局部梯度 $[g_x^2 + g_y^2]^{\frac{1}{2}}$ 和边缘方向 $\arctan\left(\frac{g_x}{g_y}\right)$;
- (3) 非最大值抑制。确定步骤(2)中的边缘点产生梯度中的脊线,算法沿着脊线的顶部追踪,并将实际上不在脊线顶部的像素设置为零,从而在输出中给出一条细线;
- (4) 算法通过将 8 连接的弱像素执行到强像素来执行边缘连接。

2 基于数学形态学的边缘提取方法

数学形态学是由一组形态学的代数运算符组成的,其基本运算有膨胀和腐蚀等。基于这些基本运算,还可以推导和组合出各种形态学实用算法。

结构元素是形态学的基本算子。结构元素在每个像素位置上,它与图像对应的区域进行特定的逻辑运算,逻辑运算结果为输出图像的相应像素,所以结构元素的选取对图像处理的结果具有重大的影响。

2.1 膨胀和腐蚀

假设 A 为一幅图像, B 为结构元素,则腐蚀和膨胀可定义如下:

$$\text{膨胀: } A \oplus b = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \varnothing\} \quad (4)$$

$$\text{腐蚀: } A \ominus b = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (5)$$

式中: \varnothing —空集。

膨胀操作可以用来填补图像分割后物体的空洞;腐蚀操作可以用来消除物体边界点。

2.2 组合形态学算子

本文使用了形态学边界提取算子 `bwperim`, 形态学填充算子 `imfill`, 形态学连通分量提取算子 `bwareaopen`, 其算法原理如下:

$$\text{bepерim 算子: } \beta(A) = A - (A \ominus B) \quad (6)$$

$$\text{imfill 算子: } X_K = (X_{K-1} \oplus B) \cap A^c \quad K = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

如果 $X_K = X_{K-1}$, 则算法在迭代的第 K 步结束, 结合 X_K 包含所有填充的空洞。

$$\text{bwareaopen 算子: } X_K = (X_{K-1} \oplus B) \cap A \quad K = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

式中: K —迭代次数; A^c — A 的补集。

本文通过选取连通对象 P , 使用算子 `bwareaopen`, 能去掉小于连通对象 P 的小对象。

3 实验及结果分析

本文齿轮边缘提取算法步骤如下:

- (1) 对齿轮原图像 M 灰度化得到齿轮灰度图 $M\text{-gray}$, 以及采用迭代法获取阈值 C , 对灰度图进行二值化处理得到齿轮二值图 $M\text{-bw}$;
- (2) 对 $M\text{-bw}$ 采用 `regionprops` 算子来保留面积最大的对象, 以去除多余的小面积对象, 已达到初步去噪, 得到图像 $M\text{-bw-max}$;
- (3) 对步骤(2)中处理得到的图像进行形态学填

充使用 *imfill* 算子,达到进一步去噪图像,得到图像 *M-fill*;

(4) 使用步骤(3)得到的图像减去步骤(2)得到的图像,得到齿轮齿轮内部空心部分未去噪图像;

(5) 对步骤(4)中得到图像求出总的像素和,然后取总的像素和的一半的取整后的值设为 P ,然后使用形态学连通域区去噪使用 *bwareaopen* 算子,连通对象取 P ,已达到去掉小于连通对象的小对象,得到图像 *M-bw-holes*;

(6) 对 *M-bw-holes* 使用 *bwperim* 算子,连接属性选取 8,得到圆孔边缘 *M-holes*,对 *M-bw-fill* 使用 *bwperim* 算子,连接属性选取 8,得到锯齿边缘 *M-fill*;

(7) 求出 *M-fill*, *M-holes* 之和,即可得到较好的齿轮边缘。

为了对比传统边缘提取算子、传统边缘提取算子与本文提出的基于形态学的齿轮边缘提取算子的检测结果,和加入噪声后传统形态学边缘提取算法和本文提出算法的检测结果,本文基于 Matlab R2014a 对拍摄的齿轮图进行边缘提取。

传统边缘检测算子检测结果如图 1 所示。

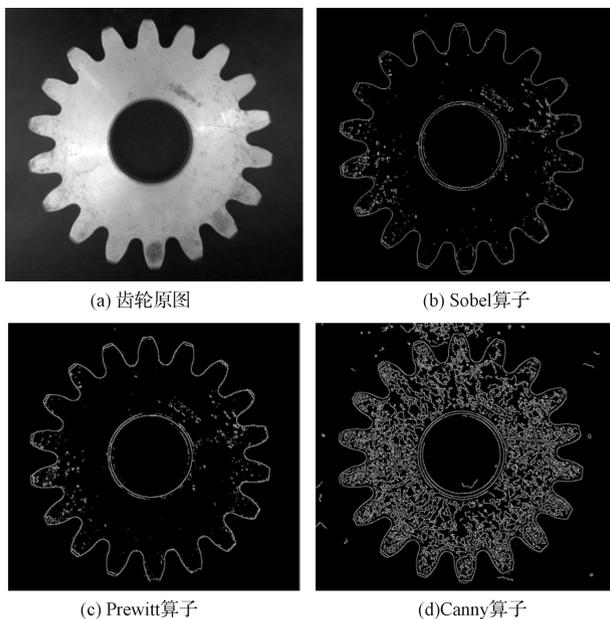


图 1 传统边缘检测算子检测结果

直接使用 *bwperim* 算子得到的检测结果和本文提出的边缘检测算子的图像边缘检测结果,如图 2 所示。

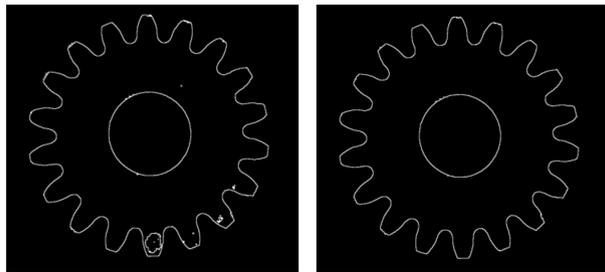


图 2 边缘检测结果

加入椒盐噪声后,传统形态学边缘检测算子与本文提出的基于形态学的边缘检测算子对比结果,如图 3 所示。

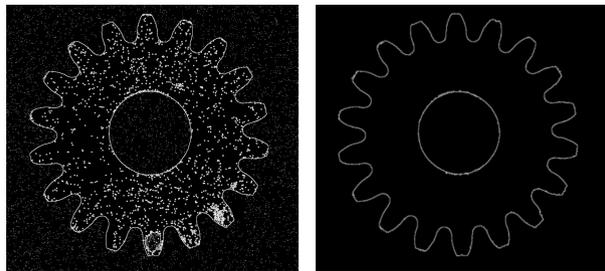


图 3 含椒盐噪声的边缘检测结果

图 3 含椒盐噪声的边缘检测结果

图 3 所示的试验结果表明:

(1) 对采集到的齿轮图像进行边缘提取时,先进行简单的去噪,然后用一阶梯度算子和二阶梯度算子的有代表性算子进行齿轮边缘提取,残留的噪声对传统梯度算子的边缘检测结果影响很大,出现假边缘、边缘不连续等现象,而传统的形态学算子抗噪性较差;

(2) 与传统算法相比,本文算法能够更好地保存图像边缘和细节信息、定位精度,并且具有更好的抗噪性。

4 结束语

传统的边缘检测算法在检测无噪声的图像边缘时能够提取到较好的图像边缘信息,但是实际采集到的图片往往夹杂各种噪声,传统的边缘检测算法在实际使用中受到限制,检测的边缘容易出现断续、假边缘和很多噪声点的情况,提取的边缘并不理想。

(下转第 850 页)

本文引用格式:

涂盼盼,何毅斌,熊文豪,等.一种基于数学形态学的齿轮边缘检测方法研究[J].机电工程,2019,36(8):839-841,850.

TU Pan-pan, HE Yi-bin, XIONG Wen-hao, et al. Gear edge detection method based on mathematical morphology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(8):839-841,850.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>