

文章编号: 2095-2163(2022)10-0180-04

中图分类号: TP183

文献标志码: A

基于改进 Canny 算法的齿轮表面边缘检测

李小龙, 闫娟, 杨慧斌, 刘向前

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 齿轮的边缘检测是保证齿轮使用安全的重要手段,传统的 Canny 边缘检测算法对噪声敏感,但是在滤除噪声时容易丢失弱边缘信息,其固定参数适应性较差。针对上述问题,本文提出了改进的 Canny 边缘算法用于齿轮表面边缘检测,将离散余弦变换(DCT)和非局部均值(NLM)相结合,取代了 Canny 算法中传统的高斯滤波器。实验结果表明,该方法在边缘检测和噪声抑制方面具有良好的效果。

关键词: 边缘检测; Canny 算子; DCT 系数; 非局部均值; 齿轮

Gears surface edge detection based on improved Canny algorithm

LI Xiaolong, YAN Juan, YANG Huibin, LIU Xiangqian

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] Gears edge detection is an important means to ensure the safety of gears use. The traditional Canny edge detection algorithm is sensitive to noise, but it is easy to lose weak edge information when filtering noise, and its fixed parameter adaptability is poor. To solve the above problems, an improved Canny edge algorithm is proposed for gears surface edge detection. The combination of discrete cosine transforms (DCT) and nonlocal mean (NLM) replaces the traditional Gaussian filter in Canny algorithm. The experimental results show that this method has good results in edge detection and noise suppression.

[Key words] edge detection; Canny operator; DCT coefficients; NLM; gear

0 引言

随着制造业的快速发展,对高效、高精度制造条件下的机械零部件质量检测的需求不断增长。考虑到齿轮是机械行业中常会用到的传动部件,为此齿轮的质量在生产中就显得尤为重要。表面缺陷是直接影响齿轮质量和批量生产的主要因素之一,齿轮表面缺陷的检测主要依靠人工目视检查方法^[1-2]。这些方法费时、低效、不准确,还会造成视觉疲劳。人眼的识别能力是有限的,其结果取决于人的主观检查^[3]。机器视觉技术是通过光学设备和非接触式传感器对真实物体进行扫描和处理,并将信号转换成计算机可以分析识别的数字信号,从而获得所需信息或达到控制物体的目的。在机器视觉检测中,检测图像的边缘是将对象特征轮廓与其背景分开,为下一步检测和识别图像特征做准备,是图像处理技术中重要的一环。近年来,Canny 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子等多种边缘检测算子被广泛应用于检测图像的边缘,二阶微分算子中的拉普拉斯算子、LOG 算子等具有计算简单、高效、易于实现等特

点,但是对噪声较敏感,工程应用中检测效果不理想。在此背景下,Zhao 等人^[4]提出了一种基于离散余弦变换(DCT)的改进 Canny 边缘检测算法。Rong 等人^[5]提出了一种改进的 Canny 边缘检测算法,通过引入引力场强的概念来代替图像梯度,得到了引力场强算子。Chen 等人^[6]改进了 Canny 边缘检测,通过提出一种新的自适应中值和形态的混合滤波器组,采用混合滤波器组来平滑噪声图像,平滑效果较好。Mittal 等人^[7]提出一种通过调整 σ 值改进 Canny 边缘检测算法的有效方法。Buades 等人^[8]提出了一种称为非局部均值(NLM)的去噪方法。肖文韬等人^[9]提出利用 Mahala Nobis 距离对噪声齿轮图像进行边缘检测结合图像增强来改进自适应中值滤波器。陈顺等人^[10]提出了融合 Canny 算子和形态学的图像边缘检测研究。

综合前述文献研究的基础上,本文提出了一种改进 Canny 算子的齿轮表面边缘检测方法,即在 Canny 算子中结合离散余弦变换(DCT)2 系数和非局部均值算法(NLM)来代替高斯滤波器,能有效地抑制噪声,并能更有效地提取齿轮边缘。

作者简介: 李小龙(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能控制;闫娟(1978-),女,高级实验师,主要研究方向:智能控制及机械自动化。

通讯作者: 闫娟 Email:aliceyan_shu@126.com

收稿日期: 2021-12-09

1 传统的 Canny 边缘检测算法

在彩色图像中,检测边缘的常用方法是先对原始图像进行灰度化、去噪等预处理,接下来进行平滑图像、计算图像梯度、对梯度值进行非极大值抑制等一系列处理,即采用传统的 Canny 算法确定被检测图像的边缘。

2 改进的边缘检测算法

传统的 Canny 方法是使用高斯函数进行去噪,一般来说,平滑度总是取决于高斯核的大小,并会直接影响边缘检测的质量。同时,实验表明,使用高斯函数去噪的效果不是很理想,因其在去除高斯噪声方面受到限制,而图像总是受到椒盐噪声、瑞利噪声、高斯白噪声等噪声的影响。针对这些问题,本文提出了一种基于 DCT 和 NLM 的改进 Canny 边缘检测算法。图像函数可以在 IDCT 的基础上用 DCT 系数来描述,DCT 的优点就是能够将基数变化后的信号能量集中在第一次变换系数中,因此在低频中。这允许消除其余的高频系数,然后利用非本地手段来消除图像的高频率。

2.1 离散余弦变换 DCT 算法

原始图像 $I(x, y)$ 的矩阵为 $M \times N$, 由一系列离散像素组成。DCT 变换可以使用正弦和余弦函数将离散图像变成连续域。DCT 变换公式如下所示:

$$F(u, v) = c(u) c(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{M} x u\right) + \frac{1}{2} \delta_{u=0} \cos\left(\frac{\pi}{N} y v\right) + \frac{1}{2} \delta_{v=0} \quad (1)$$

其中,

$$c(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{M}} \cdots u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}} \cdots u \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$c(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \cdots v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cdots v \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.1.1 DCT 系数

DCT 系数可以从主方程 (1) 中获得, 图像信息是值系数的表示。可用于对高频分量进行去噪的数学公式具体如下:

$$F'(u, v) = \frac{F^3(u, v)}{F^2(u, v) + \delta} \quad (4)$$

2.1.2 逆离散余弦变换 IDCT

IDCT 变换是 DCT 的逆变换得到图像的系数, 此时需用到的数学公式为:

$$I'(x, y) = c(u) c(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F'(u, v) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{M} x u\right) + \frac{1}{2} \delta_{u=0} \cos\left(\frac{\pi}{N} y v\right) + \frac{1}{2} \delta_{v=0} \quad (5)$$

2.2 非局部均值算法

非局部均值 (NLM) 是图像处理中去噪的一种算法, 这种方法是在图像中找到远程信息的冗余, 基于图像本身存在的自相似性, 即在图像中寻找相似的像素点 (patch), 再根据所得结果与像素点的相似度计算加权平均值, 从而解决去噪问题。

设 $S(x)$ 是与 $x(x \in \Omega)$ 相似的像素集, 从而:

$$u(x) = \sum_{y \in \Omega_x} w(x, y) v(y) \quad (6)$$

其中, $u(x)$ 是像素 x 、 $v(y)$ 的去噪值, 是图像在点 $y(y \in \Omega_x)$ 、 $w(x, y)$ 处的未滤波值, 即加权函数。

得到了这些像素 (补丁) 的邻域之间的距离, 权重 $w(x, y)$ 被归一化, 给出以下等式:

$$\sum_{y \in \Omega_x} w(x, y) = 1 \quad (7)$$

在非局部均值算法中, 去噪图像的估计依据为:

$$NLM(x) = \sum_{y \in \Omega_x} \frac{1}{Z(x)} e^{-\frac{\|P(x) - P(y)\|_{2,h}^2}{2h^2}} v(y) \quad (8)$$

其中, Z 表示归一化因子; $P(x)$ 表示固定像素 x 处的路径; $P(y)$ 表示类似于 $P(x)$ 的补丁; h 表示平滑度控制参数。

通过 DCT 变换、DCT 系数校正、IDCT 变换、NLM, 可以得到平滑的图像, 此后对传统 Canny 边缘检测算法中显示的每个像素进行图像梯度到边缘确定和连接处理。

3 实验结果与分析

为了验证本文融合算法的去噪能力和边缘检测效果, 实验在 Linux Ubuntu 20 操作系统上的 Python3.9 上进行。本课题以 512×512 标准 Lena 图像和不同尺寸背景的齿轮图像为例, 对比分析了本文提出的算法和传统算法对去噪能力、定位精度和边缘连续性的优化。

峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 是图像的最大可能功率与影响其表示质量的破坏噪声功率之间的比率, 峰值信噪比越大表明失真越少。图像的 PSNR 一般用于在最大值信号和

背景噪音之间的对比,PSNR 定义如下所示:

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2 - 1}{eMSE} = 20 \lg \frac{255^2 - 1}{RMSE} \quad (9)$$

其中, L 是图像中最大可能强度级别的数量 (假设最小强度级别为 0)。

MSE 是均方误差,数学定义为:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (O(i, j) - D(i, j))^2 \quad (10)$$

其中, O 表示原始图像的矩阵数据; D 表示退化图像的矩阵数据; m 表示像素的行数; i 表示图像该行的索引; n 表示像素的列数; j 表示图像该列的索引; $RMSE$ 是均方根误差。

图 1 为 Lena 图像采用传统去噪方法和本文提出算法的去噪结果以及 Canny 检测结果对比,图 2~图 4 分别为塑料齿轮图像、正齿轮图像以及罗彻斯特齿轮图像的对比结果。

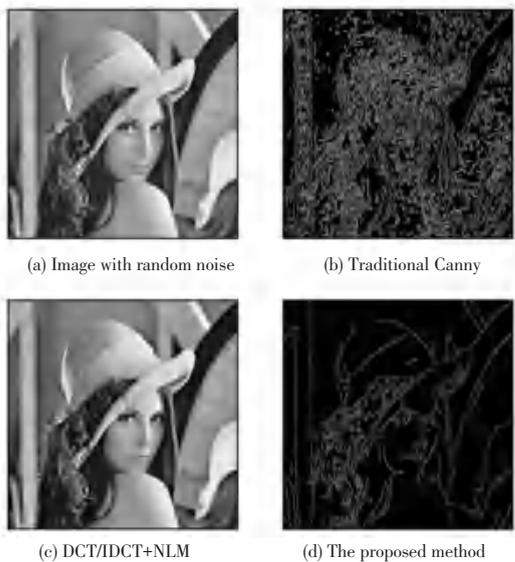


图 1 Lena 测试图

Fig. 1 Lena test images

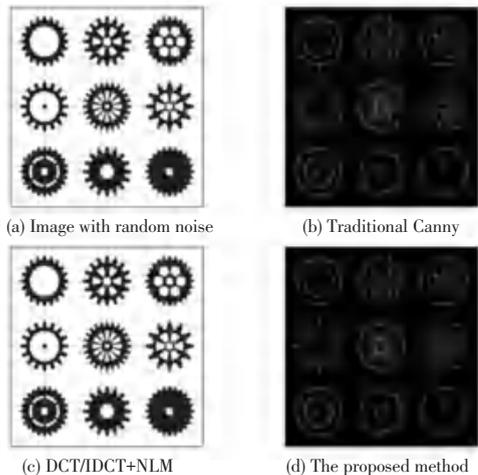


图 2 塑料齿轮对比图

Fig. 2 Plastic gears contrast diagram

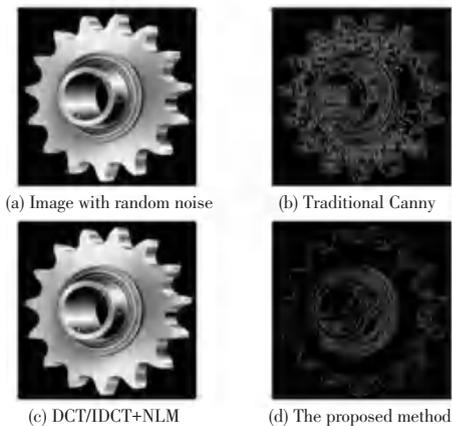


图 3 正齿轮对比图

Fig. 3 spur gears contrast diagram

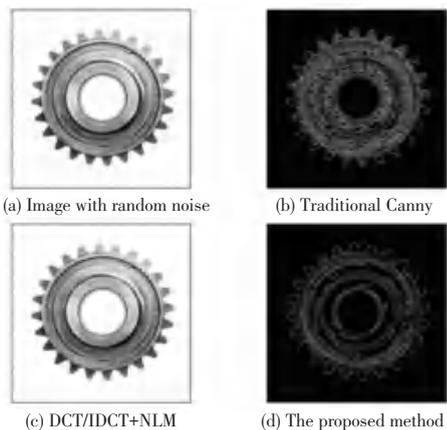


图 4 罗彻斯特齿轮图像对比图

Fig. 4 Rochester gear images contrast diagram

表 1~表 4 分别显示了 Lena 图像、塑料齿轮图像、正齿轮图像、罗彻斯特齿轮图像的传统 Canny 算法、文献[9]融合算法、自适应滤波算法以及本文提出的改进 Canny 算法的峰值信噪比。

表 1 Lena 图像的峰值信噪比对比

Tab. 1 Peak signal-to-noise ratio of Lena

方法	峰值信噪比
传统 Canny 算法	9.179 0
文献[9]融合算法	34.227 5
自适应中值滤波	32.454 7
本文改进 Canny 算法	35.018 8

表 2 塑料齿轮峰值信噪比

Tab. 2 Peak signal-to-noise ratio of plastic gears

方法	峰值信噪比
传统 Canny 算法	15.984 0
本文改进 Canny 算法	41.364 8

表 3 正齿轮峰值信噪比对比

Tab. 3 Peak signal-to-noise ratio comparison of spur gears

方法	峰值信噪比
传统 Canny 算法	18.621
本文改进 Canny 算法	45.414

表 4 罗切斯特齿轮图像峰值信噪比对比

Tab. 4 Peak signal-to-noise ratio comparison of Rochester gear images

方法	峰值信噪比
传统 Canny 算法	21.754
本文改进 Canny 算法	49.923

峰值信噪比最常用于估计压缩器、滤波器等效率,峰值信噪比的结果值越大,相应的压缩或滤波器方法的效率就越高。

在所有测试中,本文提出方法的峰值信噪比均高于传统的 Canny 算法。因此,本文提出的改进 Canny 边缘检测算法在抑制噪声和保留良好边缘信息方面非常有效。

4 结束语

本文提出了一种改进的 Canny 边缘检测算法。该方法基于 DCT 和 NLM 变换,处理 DCT 系数和反 DCT,结合 NLM 代替传统的高斯函数进行去噪,计算图像梯度、非极大值抑制和边缘连接,从而得到最终的边缘图像。改进后的算法既保留了传统 Canny 算法的优点,又增强了噪声抑制能力,保留了更多的

边缘信息。对比结果表明,本文提出的改进算法优于传统的 Canny 边缘检测方法。

参考文献

- [1] 蒋海滨. 基于主动视觉的齿轮测量系统研究[D]. 成都:电子科技大学,2017.
- [2] 李盼,禹翼. 基于图像处理的齿轮缺陷检测[J]. 黑龙江科技信息,2017(08):45.
- [3] YANG Jing, SHENG Weihua, YANG Guanci. Dynamic gesture recognition algorithm based on ROI and CNN for social robots [C]// 13th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). Changsha, China;IEEE, 2018;389-394.
- [4] ZHAO Miaomiao, LIU Hongxia, WAN Yi. An improved Canny edge detection algorithm based on DCT [C]// 2015 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC). Nanjing, China;IEEE, 2015;234-237.
- [5] RONG Weibin, LI Zhanjing, ZHANG Wei, et al. An improved Canny edge detection algorithm [C]//2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Tianjin, China; IEEE, 2014;577-582.
- [6] CHEN Yu, DENG Caixia, CHEN Xiaxia. An Improved Canny Edge Detection Algorithm. International Journal of Hybrid Information Technology, 2015, 8(10): 359-370.
- [7] MITTAL M, VERMA A, KAUR I, et al. An efficient edge detection approach to provide better edge connectivity for image analysis[J]. IEEE Access, 2019, 7:33240-33255.
- [8] BUADES A, COLL B, MOREL J M. Non-local means denoising [J]. Image Processing On Line, 2011, 1: 208 - 212.
- [9] 肖文韬,李登峰. 结合图像增强的含噪齿轮图像边缘检测研究[J]. 机电工程,2021,38(07):918-922.
- [10] 陈顺,李登峰. 融合 Canny 算子和形态学的齿轮图像边缘检测研究[J]. 机电工程,2020,37(07):821-825.
- [11] 吕志鹏,吴鸣,宋振浩,等. 电能质量 CRITIC-TOPSIS 综合评价方法[J]. 电机与控制学报,2020,24(01):137-144.
- [12] 杨立波. 基于改进 PSO-SVM 的电能质量综合评估[J]. 测控技术,2018,37(01):150-153,158.
- [13] 林才华,张逸,邵振国,等. 基于模糊 DEA 的长时间尺度电能质量综合评估[J]. 高电压技术,2021,47(05):1751-1761.
- [14] 张华赢,汪清,游奕弘,等. 电能质量数据质量对综合评估结果的影响分析[J]. 科学技术与工程,2021,21(24):10341-10349.
- [15] Eves Howard. Elementary matrix theory [M]. New York: Dover Publications, 1980.
- [16] 周林,栗秋华,张凤. 遗传投影寻踪插值模型在电能质量综合评估中的应用[J]. 电网技术,2007(07):32-35.
- [3] KALLER A, BIELEN S, MARNEFFE W. The impact of regulatory quality and corruption on residential electricity prices in the context of electricity market reforms[J]. Energy Policy, 2018, 123: 514-524.
- [4] 吴传来,杨洪耕,张云红,等. 考虑指标质量影响权重的电能质量综合评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(04): 97-102.
- [5] 赵宪,周力行,邓维.改进的层次分析法在含分布式电源系统电能质量综合评估中的应用[J]. 中国电力,2014,47(12):72-78.
- [6] 朱明星,张毅恒,张华赢,等. 考虑指标特性的区域电网电能质量评估方法[J/OL]. 电力系统及其自动化学报:1-10[2021-12-21]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000871>.

(上接第 179 页)