

文章编号: 2095-2163(2020)01-0168-05

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

# 基于 Canny 的小资源占用边缘检测改进算法

宋大成, 张兴媛, 王啸伟, 陈超, 李达

(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

**摘要:** 在图像边缘检测的应用中,很多电子导航设备因图像边缘检测算法过程计算量大,需要资源较多,硬件实现较为复杂,且边缘检测效果较差而无法实现。本文基于传统的 Canny 算法,在计算梯度幅值时优化了算法公式,减少了硬件资源的使用,方便在 FPGA 实现;在方向角计算时,更加细化地划分区域,提高边缘细化的效果;阈值选取时采用动态单阈值,很大程度上减少了资源占用;最后发现传统 Canny 算法在高斯滤波步骤中丢失了部分边缘信息,本文采用复合形态学滤波器代替高斯滤波器,去噪效果较好且保留更多的边缘信息。实验表明,改进后的算法占用资源减少,提取的边缘信息更加细化且具有较好的抗噪性。

**关键词:** 边缘检测; 梯度幅值; 复合形态学滤波; Canny

## An improved edge detection algorithm based on Canny for small resource occupancy

SONG Dacheng, ZHANG Xingyuan, WANG Xiaowei, CHEN Chao, LI Da

(School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**【Abstract】** In the application of image edge detection, many electronic navigation devices are unable to implement because of the large amount of computation, the need for more resources, the complexity of hardware implementation and the poor edge detection effect. Based on the traditional Canny algorithm, this paper optimizes the algorithm formula when calculating the gradient magnitude, reduces the use of hardware resources, and facilitates the implementation in FPGA; in the calculation of direction angle, more refined partition area is used to improve the effect of edge refinement; in the selection of threshold, dynamic single threshold is used to reduce the resource occupation to a large extent; finally, it is found that some edge information is lost in the process of Gauss filtering step in the traditional Canny algorithm. In this paper, the composite morphological filter is used to replace the Gauss filter, which has better denoising effect and retains more edge information. Experiments show that the improved algorithm occupies less resources, extracts more detailed edge information and has better anti-noise performance.

**【Key words】** edge detection; gradient amplitude; compound morphological filtering; Canny

## 0 引言

图像边缘检测是机器视觉的核心技术,广泛应用于数字图像处理和计算机视觉领域。图像边缘是图像的主要特征之一,图形边缘检测是图像分析、识别的基础,是很多电子图像处理技术的核心。图像边缘是不连续的灰度值,是有阶跃型变化或屋顶型变化的像素灰度值的集合。其中计算图像灰度梯度是边缘检测的主要方向,常用的边缘检测算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子等一阶微分算子和 LapLacian、Marr\_Hildret 等二阶微分算子,微分算子通过模板和灰度图像进行卷积,以提取边缘,但提取中计算量较大,占用资源多,且过程较为粗糙,损失的边缘信息较多。

在图像边缘检测中,需满足信噪比、定位精度和单边响应三个最优原则<sup>[1]</sup>,Canny<sup>[2]</sup>在 1986 年提出 Canny 边缘检测算法,而且在这 3 个原则中都有良

好表现,不仅有较大的信噪比,精度也很高,因此,被广泛应用于数字图像处理领域。但随着电子设备等的发展,传统 Canny 算法的不足也逐渐显露,主要表现在:计算量大、占用资源多、损失边缘信息多和人为设定阈值,无法统一化等方面。近年来,很多学者提出了基于 Canny 算子的改善算法。文献[3]提出自适应阈值的流水线结构改进型 Canny 边缘检测算法;文献[4-5]提出采用自适应滤波器代替传统 Canny 的高斯滤波器;文献[6]采用小波变换增强图像边缘,消除传统 Canny 算法对弱边缘、不连续边缘的信息损失,改善边缘提取效果。文献[7]提出采用迭代算法计算最佳高低双阈值,可以有效地降低噪声对选择阈值的影响,从而取得最佳阈值。

基于传统的 Canny 算法,针对传统算法占用资源多、边缘检测效果不佳等问题,本文拟从梯度幅值的计算公式、方向角计算时划分区域、单双阈值的选

**作者简介:** 宋大成(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:故障诊断、图像处理、信息融合。

**收稿日期:** 2019-10-12

取和用其它滤波代替高斯滤波这些内容上进行改进。对此,可得研究论述如下。

## 1 传统的 Canny 边缘检测算法

传统的 Canny 边缘检测算法的步骤可分述如下<sup>[8]</sup>。

(1) 对输入的图像运用高斯滤波去除噪点。

(2) 运用 Sobel 算子对每个像素点进行梯度幅值和方向角计算。

(3) 运用非极大值抑制(NMS),剔除非最大值的像素点,进行图像边缘细化工作。

(4) 确定高、低阈值,进行边缘点的筛选。

对待研究的图像采用高斯滤波进行去噪处理,高斯滤波时需用到如下数学公式:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

其中,  $x$  和  $y$  是二维图像的坐标,  $\sigma$  是高斯分布的标准差<sup>[9]</sup>。 $\sigma$  较小时,抑制噪声效果较差,边缘定位较精确; $\sigma$  较大时,情况则相反。

计算梯度和方向角时采用 Sobel 算子,  $X$  和  $Y$  方向偏导数公式为:

$$G_x = [S(x, y + 1) - S(x, y) + S(x + 1, y + 1) - S(x + 1, y)] / 2, \quad (2)$$

$$G_y = [S(x, y) - S(x + 1, y) + S(x, y + 1) - S(x + 1, y + 1)] / 2. \quad (3)$$

非极大值抑制为根据角度来对每个像素幅值和同方向两个相邻像素进行比较,如果小于其中一个则被舍弃,反之被保留。

## 2 改进的 Canny 边缘检测算法

针对传统的 Canny 图像边缘检测算法的不足,本文提出了如下改进:在计算梯度幅值时优化了算法公式,减少了硬件资源的使用,方便在 FPGA 实现;在方向角计算时,更加精细地划分区域,提高边缘细化的效果;阈值选取采用动态单阈值,很大程度上减少了资源占用;采用复合形态学滤波器代替高斯滤波器,去噪效果较好且保留更多的边缘信息。

### 2.1 梯度幅值和方向角的计算

在图像的边缘检测中,梯度方向表征了边缘方向,梯度幅值表征了边缘强度,因此在梯度方向上梯度强度最大的点就是边缘点<sup>[10]</sup>。NMS 是非极大值抑制算法。在梯度幅值矩阵找到梯度方向上的最大值,并将其它的梯度幅值抑制为 0,可实现对图像中目标的边缘点定位及边缘细化。

由于传统 NMS 采用式(4)计算梯度幅值需要进行平方和平方根计算,硬件实现相对复杂且占用

资源较多,因此本文采用梯度水平分量和垂直分量绝对值的和近似替代式(4)的计算,如式(5)所示:

$$|G| = \sqrt{(G_x^2) + (G_y^2)}, \quad (4)$$

$$|G| = \sqrt{(G_x^2) + (G_y^2)} \approx |G_x| + |G_y|, \quad (5)$$

传统的 Canny 边缘检测算法中计算方向角是将梯度划分为 4 个方向,如图 1 所示,分别为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$ <sup>[3,11]</sup>。按照这种划分不够细致,可能会漏掉部分图像信息,因为图像边缘梯度不一定是沿着这四个方向分布,会导致边缘细化程度较低。因此本文对图像梯度方向进行更加细致的划分,以便于达到更加细化边缘的效果。

改进的梯度方向划分如图 2 所示,将传统 Canny 算法中的 2 和 4 区域分别再划分 2 个区域,由图 2 可知,这样总共将梯度方向角划分成 6 个方向区域,对各个区域处理方法的分析描述见如下。

(1) 当处于方向 1 和 4 时,处理方式与传统 Canny 算法中的方向 1 和 3 相同。

(2) 当处于方向 2 时,其梯度角与  $0^\circ$  方向和  $45^\circ$  方向紧密相邻的 4 个像素点进行比较。

(3) 当处于方向 3 时,其梯度角与  $45^\circ$  方向和  $90^\circ$  方向紧密相邻的 4 个像素点进行比较。

(4) 当处于方向 5 时,其梯度角与  $90^\circ$  方向和  $135^\circ$  方向紧密相邻的 4 个像素点进行比较。

(5) 当处于方向 6 时,其梯度角与  $135^\circ$  方向和  $0^\circ$  方向紧密相邻的 4 个像素点进行比较。

其中,各个方向偏导数计算公式具体如下。

(1) 当处于  $0^\circ$  方向时,方向偏导数为:

$$G_{0^\circ}(x, y) = S(x + 1, y) - S(x - 1, y); \quad (6)$$

(2) 当处于  $90^\circ$  方向时,方向偏导数为:

$$G_{90^\circ}(x, y) = S(x, y + 1) - S(x, y - 1); \quad (7)$$

(3) 当处于  $45^\circ$  方向时,方向偏导数为:

$$G_{45^\circ}(x, y) = S(x - 1, y + 1) - S(x + 1, y - 1); \quad (8)$$

(4) 当处于  $135^\circ$  方向时,方向偏导数为:

$$G_{135^\circ}(x, y) = S(x + 1, y + 1) - S(x - 1, y - 1); \quad (9)$$

采用 L2 范数计算梯度幅值公式为:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2 + G_{45^\circ}(x, y)^2 + G_{135^\circ}(x, y)^2}, \quad (10)$$

梯度方向计算公式为:

$$\theta(x, y) = \arctan(G_y(x, y) / G_x(x, y)). \quad (11)$$

在比较过程中,只有当中心像素点的梯度幅值

全部大于相邻的2个方向上4个像素点梯度幅值,将该点梯度幅值置为255,判断该点位边缘像素点,其它情况下均为非边缘像素点,梯度幅值置为0。本文这种改进的梯度方向角划分方法相比于传统Canny算法中的划分方法更加细致,实验证明可以有效地提高图像边缘细化的效果,且易于在各种应用中实现。

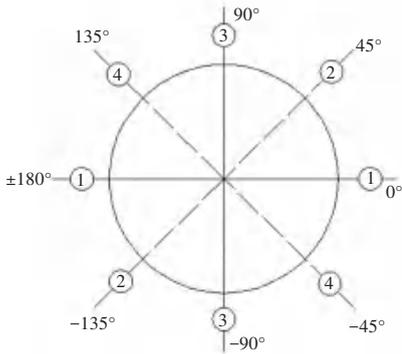


图1 传统Canny算法梯度方向角划分图

Fig. 1 Gradient direction angle dividing graph of traditional Canny algorithms

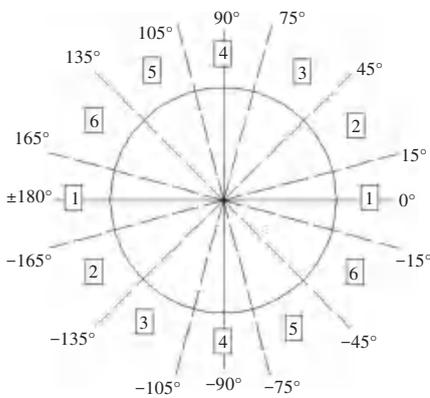


图2 改进算法梯度方向角划分图

Fig. 2 Gradient direction angle dividing diagram of improved algorithms

## 2.2 阈值求取算法

Canny边缘检测算法的高低阈值的大小决定着检测到的边缘信息的多少<sup>[12]</sup>,传统Canny边缘检测算法阈值选取时需要手动选取高低阈值,有很大的不确定性,文献[7]提出采用迭代算法计算最佳高低双阈值,但这种方法需要迭代计算,意味着需要占用与图像分辨率成比例的资源。在很多应用中,图像的本身边缘不像传统图像那样复杂多变,真正的边缘信息十分明显。故本文提出采用动态单阈值的方式来减少电子硬件资源的使用,并且能够在一定程度上保证图像边缘的完整性和精确性。动态单阈值在计算图像时每一帧图像都会计算一次,以保证选取的阈值适用于不同的图像信息,同时也使

其具有很好的鲁棒性。计算步骤分述如下:

(1) 求出整个图像的梯度平均值  $Q_0$ , 去除图像的背景信息, 提取目标信息。

(2) 将每个像素点的梯度幅值和  $Q_0$  进行比较, 将高于  $Q_0$  的梯度幅值归为一类, 定义为  $D_0$ , 然后在  $D_0$  中求出其平均值  $Q_1$ 。

(3) 再将高于  $Q_1$  的梯度幅值归为  $D_1$ , 并求出  $Q_1$  和  $D_1$  的标准差  $\delta$ 。

(4) 最后得出单阈值  $Q$ 。数学计算公式如下:

$$Q = Q_1 + 2 * \delta + T. \quad (12)$$

其中,  $T$  值为定值。

经过大量的仿真实验进行比较,  $T$  值选取为20, 能够达到理想的边缘提取效果。经过每一次的计算,  $Q$  值会随图像信息的变化而改变, 达到可以适应每帧图像的目的, 提高了单阈值的适应性。

## 2.3 复合数学形态学滤波

传统的Canny边缘检测算法的第一个步骤是采用高斯滤波对图像进行噪声预处理(彩色图片先进行灰度变换), 但噪声属于高频信号, 边缘信号也属于高频信号, 高斯滤波处理后, 相应的边缘信息也会减弱, 有可能使得在后面的步骤漏掉一些需要的边缘, 特别是弱边缘和孤立的边缘。

针对传统Canny边缘检测算法的不足, 本文做了如下改进: 用形态学滤波代替高斯滤波, 进行降噪处理, 解决因消除噪声过程中把弱边缘和孤立边缘同时去除的问题; 提高了Canny算法对图片边缘的细化程度, 使得到的结果更加接近真实图像边缘。这里, 对数学形态学拟做研究概述如下<sup>[8]</sup>。

数学形态学起源于数学的集合论, 是一门建立在格论和拓扑学基础之上的图像分析学科, 是数学形态学图像处理的基本理论。其基本的运算包括: 腐蚀和膨胀、开运算和闭运算等。对此, 研究推得阐释表述如下。

(1) 腐蚀。设  $X$  为图像集合,  $N$  为形态学结构元素, 腐蚀的数学定义为:

$$X \ominus N = \{x | N + x \subseteq X\}, \quad (13)$$

式(13)表示用  $N$  对  $X$  进行腐蚀, 按每个  $n$  来位移  $X$  并把结果或(OR)运算。

(2) 膨胀。其数学定义为:

$$X \oplus N = \{x | N + x \cup x \neq \phi\}, \quad (14)$$

式(14)表示用  $N$  对  $X$  进行膨胀, 按每个  $n$  来位移  $X$  并把结果并(AND)运算。

(3) 开运算。其数学定义为:

$$X \circ N = (X \ominus N) \oplus N, \quad (15)$$

式(15)表示  $X$  被  $N$  开操作, 先腐蚀再膨胀。

(4) 闭运算。其数学定义为:

$$X \cdot N = (X \oplus N) \ominus N, \quad (16)$$

式(16)表示  $X$  被  $N$  闭操作, 先膨胀再腐蚀。

形态学滤波的效果取决于结构元素的尺寸和形状。在 Canny 算法中引入形态学滤波去除噪声, 基本原理是使用一定尺寸和构架的形态结构元素对图形进行开闭运算, 选取的结构元素尺寸需要介于噪声信号和边缘信号之间, 平滑噪声, 保留边缘, 以达到边缘信息不被平滑的效果, 而常见的形态学滤波很难达到, 故需要选取复合形态滤波。本次研究选取的形态学滤波结构元素详见如下。

设  $Y$  为去噪之后的图像集合, 则 2 种常见的形态学滤波算子为:

$$Y_1 = (X \cdot N) \circ N, \quad (17)$$

$$Y_2 = (X \circ N) \cdot N, \quad (18)$$

构造复合形态学滤波器, 需要将 2 种滤波算子结合起来。本文构造的复合形态学滤波器为:

$$Y_3 = \frac{1}{2} [(X \cdot N) \circ N + (X \circ N) \cdot N], \quad (19)$$

其中, 如果  $S$  的尺寸结构太大, 运算过程中会去

除更多的噪声信息, 去噪效果更好, 但是会平滑掉部分图片边缘信息, 在 Canny 算法的后续步骤中丢失的边缘信息会更多; 如果  $S$  的尺寸结构太小, 运算过程中会保持更多的图片边缘信息, 边缘会更加细化, 但是去噪效果欠佳。综合前述分析可知, 如果想保留更多的边缘信息且去噪效果较好,  $S$  结构元素的尺寸结构尤为重要。通过实验仿真证明, 本文构造的复合形态学滤波器可写为如下数学形式:

$$Y_3 = \frac{1}{2} [(X \cdot N_1) \circ N_2 + (X \circ N_2) \cdot N_1]. \quad (20)$$

其中,  $N_1 = \begin{matrix} \textcircled{0}10\textcircled{0} \\ \textcircled{0}11\textcircled{1} \\ \textcircled{0}10\textcircled{0} \end{matrix}, N_2 = \begin{matrix} \textcircled{0}0100\textcircled{0} \\ \textcircled{0}1110\textcircled{0} \\ \textcircled{0}1111\textcircled{0} \\ \textcircled{0}1110\textcircled{0} \\ \textcircled{0}0101\textcircled{0} \end{matrix}$

### 3 实验结果与分析

本文的实验环境为: Intel 2.50 GHz 双核 CPU, 运行内存 8 GB, Matlab2016a。

图像分为无噪声情况 A1 和有噪声情况 A2, 分别应用传统 Canny 边缘检测算法和改进后的边缘检测算法进行比较, 实验结果如图 3、图 4 所示。

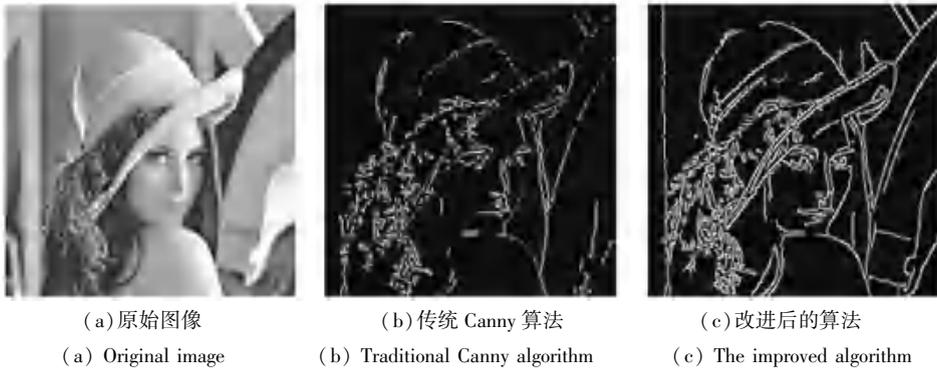


图 3 无噪声情况下 Lena 图像处理结果

Fig. 3 Lena image processing results without noise

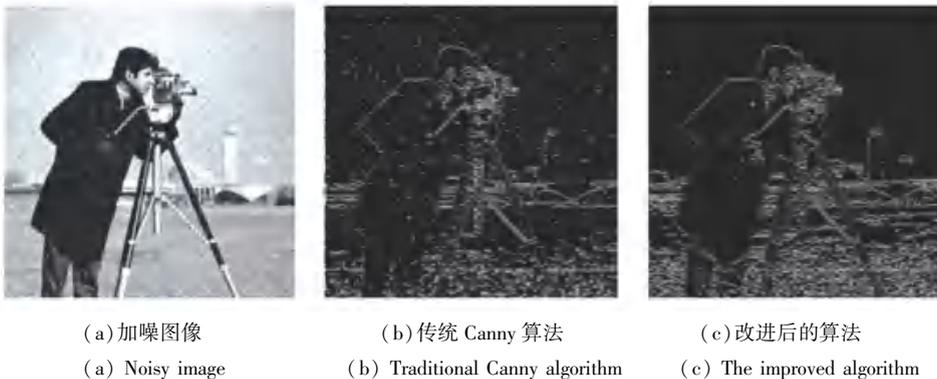


图 4 有噪声情况下 cameraman 图像处理结果

Fig. 4 cameraman image processing results with noise

由图3(A<sub>1</sub>)的对比实验结果可以看出,改进后的Canny算法比传统Canny算法检测出的边缘信息更多,边缘也更加细致和清晰,在运算过程中,相对于传统算法,改进的算法运算时间大幅度缩短,占用的资源更少,运行更加迅速。

由图4(A<sub>2</sub>)的对比实验结果可以看出,改进后的Canny算法比传统Canny算法去噪效果更好,运行时间更短,而运行占用资源也更少。

文献[13]提出一种Canny边缘检测算法评价方法,即计算各种算法检测出的边缘像素总数、4连通域数和8连通域数,并对其比值加以比较。研究得到,比值1为8连通域数和边缘点数的比值,比值越小,表示边缘连续性越好;比值2为8连通域数和4连通域数的比值,比值越小,表明单像素边缘所占比例越大,越符合单一边缘响应准则。对图3无噪声情况下,Lena图像处理结果进行数据统计,统计结果见表1。

表1 Lena边缘图像信息统计结果表

Tab. 1 Lena edge image information statistical result table

| 算法        | 边缘点数   | 4连通域数  | 8连通域数 | 比值1     | 比值2     |
|-----------|--------|--------|-------|---------|---------|
| 传统Canny算法 | 12 560 | 10 282 | 3 490 | 0.277 9 | 0.339 4 |
| 本文改进算法    | 19 470 | 14 770 | 4 373 | 0.224 6 | 0.296 1 |

对图4有噪声情况下cameraman图像处理结果的峰值信噪比进行统计,统计数据见表2。

表2 cameraman图像PSNR峰值信噪比

Tab. 2 Peak Signal-to-Noise ratio of cameraman image

| 算法  | 传统Canny算法 | 本文改进算法 |
|-----|-----------|--------|
| 信噪比 | 11.479    | 13.212 |

分析表2中cameraman图像PSNR峰值信噪比数据可知,改进后的算法信噪比提高了15.1%,去噪效果更好。

将图3和图4算法的运行时间进行对比研究,最终得到的结果数据见表3。

表3 算法程序运行时间对比

Tab. 3 Comparisons of running time of algorithmic programs ms

| 算法        | 传统Canny算法 | 本文改进算法 |
|-----------|-----------|--------|
| Lena      | 78        | 56     |
| cameraman | 64        | 51     |

由表3分析可知,对于Lena图,改进后的算法运行时间减少了28.2%;对于cameraman图,改进后的算法运行时间减少了20.3%,因此改进后的算法在相当程度上节省了算法占用的硬件资源。

#### 4 结束语

针对传统Canny边缘检测算法存在的缺陷,本

文进行了改进,取得了良好的边缘检测效果。通过实验表明,改进后的算法对图像的边缘检测更加细化,且保留的边缘信息更多;在去噪方面,提高了图像的峰值信噪比,有着更好的去噪效果;通过对算法程序时间的统计,得知改进后的算法更加简洁,占用资源更少。

#### 参考文献

- [1] 张震,马驹良,张忠波,等.一种改进的基于Canny算子的图像边缘提取算法[J].吉林大学学报(理学版),2007,45(2):244-248.
- [2] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [3] 许宏科,秦严严,陈会茹.一种基于改进Canny的边缘检测算法[J].红外技术,2014,36(3):210-214.
- [4] WANG Bing, FAN Shaosheng. An improved Canny edge detection algorithm [C]//2009 Second International Work Shop on Computer Science and Engineering. Xiamen, China: IEEE, 2009: 497-500.
- [5] 李俊山,马颖,赵方舟,等.改进的Canny图像边缘检测算法[J].光子学报,2011,40(S1):50-54.
- [6] ZHAO Huili, QIN Guofeng, WANG Xingjian. Improvement of Canny algorithm base on pavement edge detection [C]//2010 3<sup>rd</sup> International Congress on Image and Singnal Processing. Yantai, China: IEEE, 2010: 964-967.
- [7] 王小俊,刘旭敏,关永.基于改进Canny算子的图像边缘检测算法[J].计算机工程,2012,38(14):196-198,202.
- [8] 贺萌.基于自适应形态学的边缘检测及应用[D].长沙:中南大学,2013.
- [9] YUAN Weiqi, LI Shaoli, LI Dejian. Wood surface defect recognition based on sub-region zoom Gaussian fitting [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(4): 879-886.
- [10] CHEN Hejun, DING Haiqiang, HE Xiongxiang, et al. Color image segmentation based on seeded region growing with Canny edge detection [C]//2014 12<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing (ICSP). Hangzhou, China: IEEE, 2014: 683-686.
- [11] 孙凯乐,郭显久,张烜,等.基于改进Canny算法的边缘检测[J].电脑编程技巧与维护,2018(6):165-168,173.
- [12] JIANG Jie, WANG Hao, ZHANG Guangjun. High-accuracy synchronous extraction algorithm of star and celestial body features for optical navigation sensor [J]. IEEE Sensors Journal, 2018, 18(2): 713-723.
- [13] 林卉,赵长胜,舒宁.基于Canny算子的边缘检测及评价[J].黑龙江工程学院学报,2003,17(2):3-6,16.
- [14] 吴翔,于微波,马艳辉,等.一种新的改进Canny图像边缘检测算法[J].影像科学与光化学,2016,34(1):116-121.
- [15] 闫亚美.边缘检测算法及其在面识别系统中的应用[D].长春:长春工业大学,2017.
- [16] 邹阳.一种基于surfacelet变换的边缘检测算法[D].汕头:汕头大学,2011.
- [17] 楚西征.基于边缘保持的图像去噪算法[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [18] 康乾.常用边缘检测方法分析与比较[J].信息与电脑(理论版),2010(1):139.
- [19] 高康.基于相似权的自适应数学形态学[D].西安:西安电子科技大学,2015.