

一种 Roberts 自适应边缘检测方法

康牧^{1,2}, 许庆功³, 王宝树¹

(1. 西安电子科技大学计算机学院, 710071, 西安; 2. 洛阳师范学院信息技术学院, 471022, 河南洛阳;
3. 洛阳理工学院计算机系, 471003, 河南洛阳)

摘要: 针对 Roberts 算法对噪声比较敏感且需要人为指定阈值等问题, 提出了一种 Roberts 自适应边缘检测方法. 利用 Roberts 算子的基本原理, 扩充了检测方向, 再根据待检像素周围的 3×3 像素邻域的平均像素灰度值, 结合人眼视觉特征自适应地生成动态阈值, 这样既保留了原 Roberts 算子的可并行处理、快速运算、边缘较细等优点, 还对噪声有一定的抑制作用. 同时, 针对 Roberts 算法边缘检测相对粗糙、边缘细化效率较低的问题, 分析和改进了原有边缘细化算法, 即先对含有噪声的图像进行边缘检测, 过滤其伪边缘, 再对图像边缘进行细化处理, 从而得到单像素边缘. 实验比较表明, 所提算法能够自适应地生成动态阈值, 提高图像边缘细节信息的提取性能.

关键词: 图像处理; 边缘检测; 自适应阈值

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)10-1240-05

A Roberts' Adaptive Edge Detection Method

KANG Mu^{1,2}, XU Qinggong³, WANG Baoshu¹

(1. School of Computer, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. Academy of Information Technology, Luoyang Normal University, Luoyang, Henan 471022, China; 3. Department of Computer, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: An adaptive edge detection method is proposed for the sensitivity to noise and given threshold of existing Roberts algorithms. The basic principle of the Roberts algorithm is used and the direction of the detection is expanded. The algorithm generates automatically adaptive threshold according to the mean value of the 3×3 area pixels around the detecting pixel and the property of people's vision. It not only can keep advantages of existing Roberts algorithm such as parallel process, fast calculation speed and the comparatively thin edge, but also can play a certain part in restraining noise. Because the edge detected by Roberts algorithm is comparatively thick, and the efficiency of the edge-thin algorithm is lower, the edge-thin algorithm is analyzed and improved. The improved algorithm detects the edge of the image where there exists noise, filters the fake edge, then thins the edge of the image, and finally gets the single pixel edge. By comparing the test results of the adaptive edge detection algorithm with those of the existing Roberts algorithm, the adaptive edge detection method can generate automatically adaptive threshold, improves the performance in getting detailed-edge and restraining noise.

Keywords: image processing; edge detection; adaptive threshold

图像边缘是图像的基本特征之一, 是图像中特性(像素灰度、纹理等)分布不连续之处. 图像边缘存在着目标与目标、目标与背景、基元与基元的边界,

它能标示出目标物体或基元的实际含量. 图像边缘检测是图像分析的重要内容, 也是图像处理领域中一种重要的预处理技术, 并广泛用于轮廓特征的抽

取和纹理分析等领域。

在以往的边缘检测算法中,常用的方法是利用检测模板或算子,如 Sobel、Prewitt、Robert、Laplacian 等,这类方法的特点是运算简单、可并行处理,但对噪声比较敏感,测得的边缘比较粗糙。另一类方法是依据局部区域或者整幅图像确定的门限对图像进行分割,从而提取出边缘,这类方法的关键是如何确定一个或多个门限的问题。针对这些问题,人们展开了相关研究,并提出了许多改进措施^[1-3]和方法^[4-5],前者主要是通过双阈值查找图像梯度的局部最大值进行边缘检测,但未考虑人眼的视觉特性,后者主要包括小波法和 Canny 法^[6],小波法也没有考虑人眼视觉特性,而 Canny 法^[6]对噪声非常敏感,需要进行非极大值抑制、边缘连接等操作。

本文利用 Roberts 算子的基本原理,扩充了检测方向,再根据待检像素周围的 3×3 像素邻域的像素平均灰度值,结合人眼的视觉特征,自适应地生成动态阈值,同时针对 Roberts 算法的边缘检测相对粗糙、边缘细化效率较低的问题,分析和改进了这种边缘细化算法。

1 传统的 Roberts 边缘检测算法

任意一对相互垂直方向上的差分可以看成是梯度的近似求解,Roberts 边缘检测算子^[7-8]就是利用了该原理,即用对角线上相邻像素之差来代替梯度求解。

如果 $f_x = f(i, j) - f(i+1, j+1)$, $f_y = f(i, j+1) - f(i+1, j)$, 则 f_x 和 f_y 的卷积算子分别为

$$f_x : \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, f_y : \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

如果梯度幅值为 $R(i, j) = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ 或近似为 $R(i, j) = |f_x| + |f_y|$, 那么通过差分可以求得 Roberts 算子在差分点 $(i+1/2, j+1/2)$ 处连续梯度幅度的近似值 $R(i, j)$ 。如果适当选取阈值 τ , 使得 $R(i, j) > \tau$, 则认为点 (i, j) 是边缘点。

Roberts 边缘检测算子就是采用对角线上相邻像素之差进行梯度幅度检测的,其在水平、垂直方向的边缘检测性能优于其他方向的检测性能,而且定位精度也比较高,但对噪声较为敏感。

综上所述,Roberts 算法存在如下缺陷。

(1) 仅采用了对角线上相邻像素之差进行梯度幅度检测,并未考虑水平相邻像素和垂直相邻像素的情况,且对噪声比较敏感。

(2) 检测算子无法消除局部噪声干扰,也会丢失

灰度值变化缓慢的局部边缘,这会导致目标物体的轮廓边缘不连续。此外,传统 Roberts 算子的阈值参数不是由图像边缘的特征信息决定的,它需要人为设定,因此该算子不具有自适应能力。

(3) 测得的边缘虽然比较细腻,但用于特殊场合还不够理想。

2 Roberts 自适应边缘检测算法

2.1 图像梯度幅值计算方法

针对传统 Roberts 算法在梯度幅值计算上的缺陷,本文提出了一种在 8 像素邻域内通过计算水平(0°)、垂直(90°)、 135° 、 45° 等方向的一阶偏导数有限差分,来确定像素梯度幅值的方法,且增加了 135° 、 45° 方向的权值。这种方法兼顾了梯度幅值计算中边缘准确定位和抑制噪声的要求,具体计算如下。

像素在水平方向的偏导数为

$$P_0[i, j] = I[i-1, j] - I[i+1, j]$$

像素在垂直方向的偏导数为

$$P_{90}[i, j] = I[i, j-1] - I[i, j+1]$$

像素在 135° 方向的偏导数为

$$P_{135}[i, j] = 2 \times (I[i-1, j-1] - I[i+1, j+1])$$

像素在 45° 方向的偏导数为

$$P_{45}[i, j] = 2 \times (I[i+1, j-1] - I[i-1, j+1])$$

则它们对应的卷积算子分别为

$$p_0 : \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad p_{90} : \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$p_{135} : \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{bmatrix}, \quad p_{45} : \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

像素的梯度幅值和梯度方向可通过直角坐标、极坐标的转换来计算,则梯度幅值的二阶范数计算式为

$$M[i, j] = (P_0^2[i, j] + P_{90}^2[i, j] + P_{135}^2[i, j] + P_{45}^2[i, j])^{1/2}$$

其简化式为

$$M[i, j] = |P_0[i, j]| + |P_{90}[i, j]| + |P_{135}[i, j]| + |P_{45}[i, j]|$$

2.2 自适应的动态阈值计算方法

基于文献[2]的二维阈值分割算法应用邻域平均灰度的思想,并利用 3×3 像素邻域平均值来计算

$$\text{待测点的阈值 } x = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 I(i, j).$$

如果采用固定阈值,则易产生伪边缘;如果阈值设置过大,则易使边缘间断。因为,人眼对图像灰度的分辨率较差,而且对图像平缓部分的噪声比较敏感^[9]。人的视觉系统对亮区域的噪声敏感度较低(称为“韦伯法则”)^[10],而对边缘或结构化区域的噪声敏感度较小(称为“结构噪声掩模”)。所以,根据人眼的视觉特性,应在视觉分辨率较高的区域将阈值设置得小一些,而在视觉分辨率较低的区域将阈值设置得大一些。也就是说,相同的灰度差,在不同的区域有的被认为是边缘,有的却被认为不是边缘。由实际经验和实验结果可知,在白色区域,人眼分辨率最低,其次是黑色区域,再次是灰度级为127左右的区域,而人眼比较敏感的是灰度级为48、206左右的区域。人眼对灰度的敏感度不是随着灰度值线性变化的。根据经验,采用抛物线计算阈值比较合理,即灰度级在 $[0, 48]$ 、 $(48, 206)$ 和 $[206, 255]$ 区域,阈值计算式为 $g(x) = ax^2 + bx + c$ 。所以,在 $[0, 48]$ 区域,当 $x=0$ 时, $g(x)=15$;当 $x=48$ 时, $g(x)=4$;当 $x=48$ 时, $g(x)=4$ 。相应地,有 $a=-0.001\ 738$, $b=0.000\ 072$, $c=15$ 。在 $(48, 206)$ 区域,当 $x=127$ 时, $g(x)=10$;当 $x=48$ 时, $g(x)=4$;当 $x=206$ 时, $g(x)=4$ 。相应地,有 $a=-0.000\ 491$, $b=0.125\ 635$, $c=-2.030\ 474$ 。在 $[48, 255]$ 区域,当 $x=255$ 时, $g(x)=50$;当 $x=206$ 时, $g(x)=4$;当 $x=304$ 时, $g(x)=4$ 。相应地,有 $a=-0.009\ 579$, $b=4.885\ 464$, $c=-595.896\ 710$ (这里的参数会有一些误差)。因为本文确定阈值的方法是基于人眼视觉特性的,所以它适用于所有灰度级别的图像。通用阈值计算式为

$$g(x) = \begin{cases} -0.001\ 738x^2 + 0.000\ 072x + 15 & 0 \leq x \leq 48 \\ -0.000\ 491x^2 + 0.125\ 635x - 2.030\ 474 & 48 < x \leq 206 \\ -0.009\ 579x^2 + 4.885\ 464x - 595.896\ 710 & 206 < x \leq 255 \end{cases}$$

计算结果如图1所示。

2.3 边缘点细化算法

将图像中已知目标点标记为1,背景点标记为0,则边缘点定义为:本身标记为1,而其8连通邻域中至少有1个标记为0的点。

考虑以边缘点为中心的8邻域,所以记中心点为 q_q ,其邻域的8个点顺时针绕中心点分别记为 $q_0, q_1, q_2, \dots, q_7$,其中 q_0 在 q_q 的左上方。那么,文献

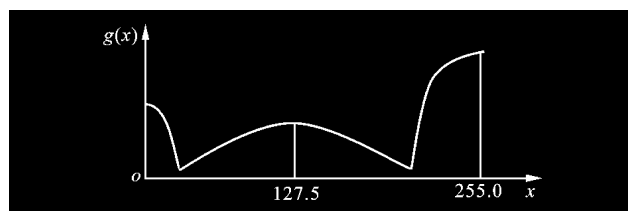


图1 阈值计算结果

[11]的边缘点细化算法操作如下。

(1)检测、标记边缘点,而满足边缘点的条件是:
① $2 \leq N(q_q) \leq 6$; ② $S(q_q) = 1$; ③ $q_1 q_3 q_5 = 0$; ④ $q_3 q_5 q_7 = 0$ 。其中, $N(q_q)$ 是中心点 q_q 的非零邻域点个数, $S(q_q)$ 是以 $q_0, q_1, q_2, \dots, q_7$ 为序列的点,其值为从0到1变化的次数。当对边缘点检测完成后,将所有标记了的边缘点删除。

(2)检测、标记边缘点,而满足边缘点的条件是:
① $2 \leq N(q_q) \leq 6$; ② $S(q_q) = 1$; ③ $q_1 q_3 q_7 = 0$; ④ $q_1 q_5 q_7 = 0$ 。当对边缘点检测完成后,将所有标记了的边缘点删除。

以上操作将构成一次迭代,反复迭代直至没有点满足标记条件为止,此时剩余的点便是经过细化算法构成的图像单像素边缘。

通过分析文献[11]的细化算法,可以看出如下缺陷。

(1)保留了孤立的边缘点。因为满足条件算法的步骤(1)条件①、步骤(2)条件①要求 $2 \leq N(q_q) \leq 6$,也就是中心点 q_q 的非零邻域点的个数大于等于2且小于等于6,而孤立点的非零邻域点的个数为0,所以孤立点未被删除,但这个孤立点很可能就是噪声点。

(2)运算量较大。假设检测点 q_q 满足算法条件的步骤(1)条件①、步骤(1)条件②或步骤(2)条件①、步骤(2)条件②,且 $q_1, q_3, q_5 = 1, q_7 = 0$,则需要进行8次乘法运算(或与运算)。

综上问题,本文对细化算法进行如下改进。

(1)如果 $N(q_q) = 0$,则删除该边缘点。

(2)如果 $2 \leq N(q_q) \leq 6$,且 $S(q_q) = 1$,则删除该边缘点。

以上2步操作构成一次迭代,第2步需反复迭代,直至没有点再满足标记条件为止,此时剩余的点便是经过该细化算法构成的图像单像素边缘。噪声点经第一次迭代便可去除,故第1步无需反复迭代。

不同的图像,其边缘点排列情况是不同的。以求出 $N(q_q)$ 和 $S(q_q)$ 为前提,文献[11]算法在最坏情

况下需进行 10 次比较运算、8 次乘法运算,而在最好情况下需进行 5 次比较运算、3 次乘法运算. 本文算法在不考虑孤立点的情况下,最好情况与最坏情况下的运算均需进行 3 次比较运算,无需进行乘法运算,运算复杂度如表 1 所示.

表 1 2 种算法复杂度比较

检测点情况	比较运算次数	乘法运算次数	算法
最好情况	5	3	文献[11]算法
	3	0	本文算法
最坏情况	10	8	文献[11]算法
	3	0	本文算法

从表 1 可以看出,本文算法的复杂度要比文献

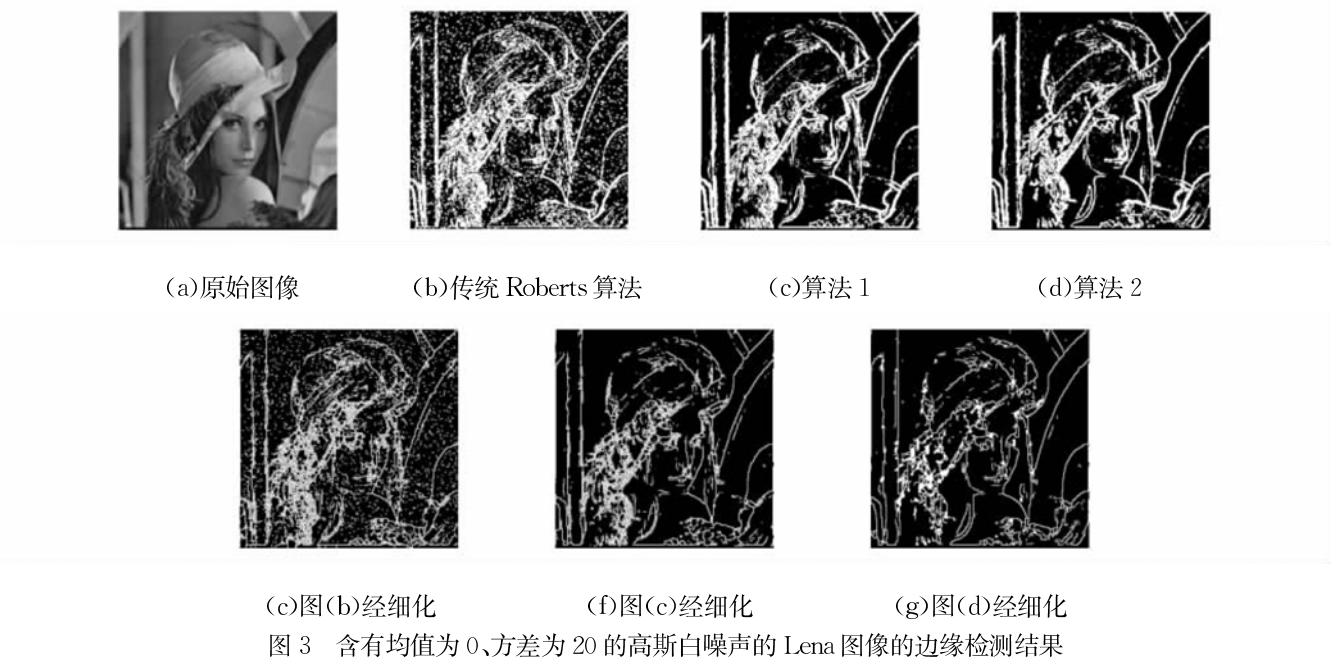
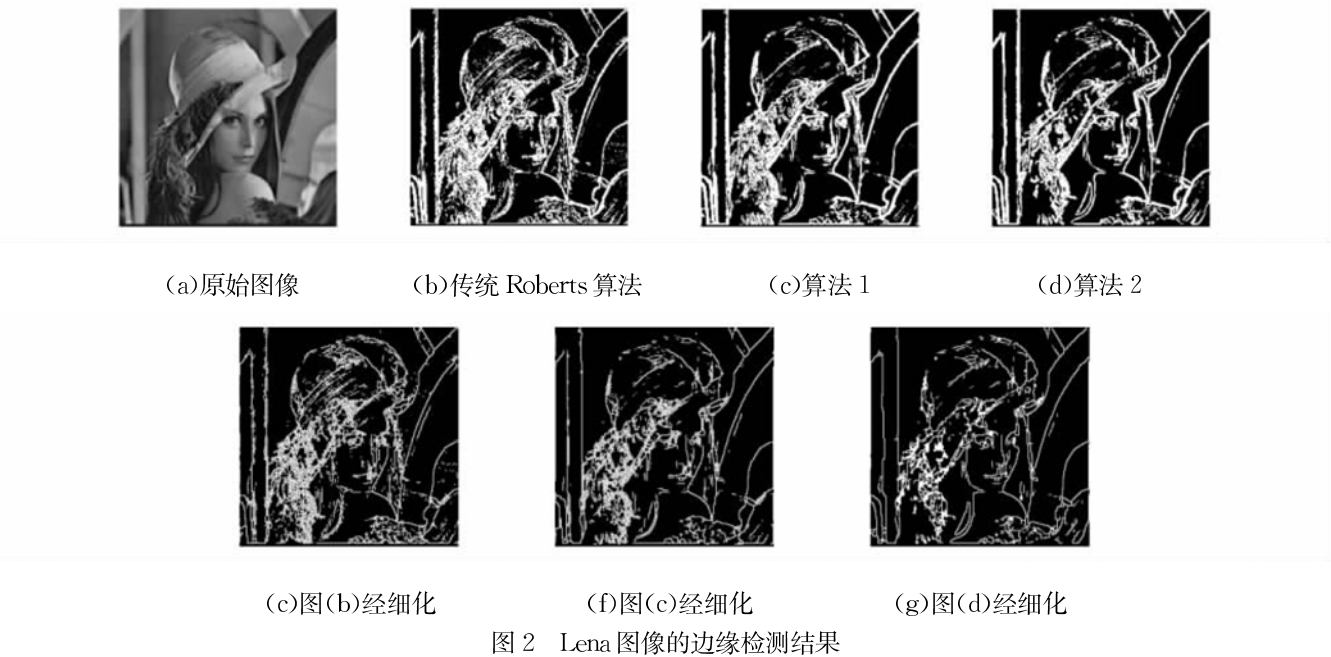
[11]算法低得多. 由于本文算法是对文献[11]算法进行了实质性分析后改进的,所以仅提高了算法效率,却未改变或影响原算法的运行结果.

3 实验结果及分析

本文分别用传统的 Roberts 算法、未采用适应阈值的本文算法(算法 1)、采用自适应阈值的算法(算法 2),以及 3 种算法经细化后对 Lena 图像进行边缘检测(实验 1),结果如图 2 所示.

对于含有均值为 0、方差为 20 的高斯白噪声的 Lena 图像的实验(实验 2)结果如图 3 所示.

由实验1的结果可知,细化前3种算法的边缘



检测效果相当,人眼几乎无法区别.经细化处理后,可以看出3种算法的检测效果有所不同,传统 Roberts 算法提取的边缘非常粗糙且不平滑,算法1的检测效果明显优于传统 Roberts 算法,但与算法2相比,检测结果略显粗糙.

由实验2的结果可知,传统 Roberts 算法对噪声非常敏感,而本文算法对噪声具有相当强的抑制作用.通过对它们细化后的效果进行比较,可得出与实验1相同的结论.这充分说明本文算法的性能优于传统 Roberts 算法.

本文算法抑制噪声的能力可以从其算子模板结构中看出,传统 Robert 算法中待测点直接参与运算,而本文算法的待测点对应的权值为0,它是通过求解点的8邻域的梯度幅度来计算阈值的,故对噪声不敏感.算法2考虑到了人眼的视觉特性,所以进一步减少噪声影响.对本文算法获得的图像边缘再经细化处理,可以得到单像素边缘,那么检测效果可以与文献[1,12]的效果相媲美.

4 结 论

本文结合人眼的视觉特性,提出的基于 Roberts 的自适应算法适用于各类图像^[13]的边缘提取,细化后的边缘属于单像素边缘,且具有抑制噪声的能力.本文算法对于 $[0, 255]$ 动态范围内的灰度图像的处理效果相当理想,但是当图像的灰度动态范围较窄且集中在某一局部范围内时,处理效果稍差一些.如果对原图像进行灰度拉伸,或根据实际图像的灰度分布统计特性进行直方图均衡,或利用图像增强算法,那么处理效果将会更为理想.本文算法对文献[11]的细化算法进行了优化,提高了细化效率,并可以根据使用目的来决定是否进行细化处理.

参考文献:

- [1] 王植,贺赛先.一种基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法[J].中国图象图形学报,2004,9(8):957-962.
WANG Zhi, HE Saixian. An adaptive edge-detection method based on canny algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(8): 957-962.
- [2] 王玥玥,王秋光.基于图像边缘信息的2维阈值分割方法[J].中国图象图形学报,2007,12(1):78-81.
WANG Yueyue, WANG Qiuguang. A two-dimensional thresholding method based on the information of image edge[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(1): 78-81.
- [3] MORRONE M C, NAVANGIONE A, BURR D. An adaptive approach to scale selection for line and edge detection[J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 16(7): 667-677.
- [4] MALLAT S, HWANG W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. Trans on Information Theory, 1992, 38(2): 617-623.
- [5] AYDIN T. Multidirectional and multiscale edge detection via m-band wavelet transform[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1996, 5(9): 1370-1377.
- [6] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [7] 李弼程,彭天强,彭波,等.智能图像处理技术[M].北京:电子工业出版社,2004:149-173.
- [8] 何东健,耿楠,张义宽,等.数字图像处理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:95-97.
- [9] 冷寒冰,王先,刘上乾,等.基于人眼视觉特性的邻域自适应模糊增强算法[J].光电工程,2004,31(1):62-65.
LENG Hanbing, WANG Xian, LIU Shangqian, et al. A neighborhood adaptive fuzzy enhancement algorithm based on human visual properties[J]. Opto-Electronic Engineering, 2004, 31(1): 62-65.
- [10] 吴颖谦,方涛,李聪亮,等.一种基于小波分析和人眼视觉特性的图像增强方法[J].数据采集与处理,2003,18(1):17-21.
WU Yingqian, FANG Tao, LI Congliang, et al. An approach for image enhancement based on wavelet analysis and properties of human visual system[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2003, 18(1): 17-21.
- [11] 刘煜,李言俊,张科,等.一种多像素图像边缘提取方法[J].光子学报,2007,36(2):380-384.
LIU Yu, LI Yanjun, ZHANG Ke. A method of multi-pixels edge detecting of image[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(2): 380-384.
- [12] ZHANG Renyan, ZHAO Guoling, SU Li. A new edge detection method in image processing[C]//IEEE International Symposium on Communications and Information Technology. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 445-448.
- [13] 左建中,尹辉,陈贤青,等.小波变换在螺纹边缘检测中的应用[J].制造业自动化,2007,29(1):33-34.
ZUO Jianzhong, YIN Hui, CHEN Xianqing. The application of wavelet transform in screw thread edge detection[J]. Manufacturing Automatization, 2007, 29(1): 33-34.

(编辑 苗凌)