

基于阈值分割和轮廓提取的图像边缘检测算法

徐国雄¹, 张 骁¹, 胡进贤², 倪旭祥³

(1. 安徽工业大学, 安徽 马鞍山 243002;

2. 合肥赛为智能有限公司, 安徽 合肥 230022;

3. 现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘 要:文中提出了一种全新的基于阈值分割和轮廓提取的医学图像边缘检测算法,并在 MATLAB 平台上进行了模拟仿真。与传统的算法相比,该算法具有三方面的优点:数学形态学重建去除了图像中的阴影和反射光噪声;通过迭代算法计算出最佳阈值并对图像进行分割,有效地降低了噪声对最终检测结果的影响;利用形态学腐蚀算法提取细胞边缘轮廓,使细胞边缘的宽度仅有一个像素,提高了边缘定位的精度,避免了细胞边缘的重叠现象。同时,检测后得到的细胞边缘具有良好的连续性。

关键词:医学图像;边缘检测;数学形态学;阈值分割;轮廓提取;仿真

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)12-0064-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.12.015

Medical Cell Edge Detection Algorithm Based on Threshold Segmentation and Contour Extraction

XU Guo-xiong¹, ZHANG Xiao¹, HU Jin-xian², NI Xu-xiang³

(1. Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;

2. Hefei Sunwin Intelligent Co., Ltd., Hefei 230022, China;

3. State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A novel medical cell edge detection algorithm is presented in this paper based on threshold segmentation and contour extraction and tested on the platform MATLAB. Compared with the traditional classical edge detection algorithms, the result shows the novel algorithm has following advantages: Morphological reconstruction removes image noise shadows and reflected light. The image is segmented clearly through an iterative algorithm to calculate the optimal threshold value. The width of the cell edge is only one pixel to improve the positioning accuracy of the edge, to avoid overlapping cell edge, as well as the cell edge has good continuity.

Key words: medical image; edge detection; mathematical morphology; threshold segmentation; contour extraction; simulation

0 引言

在医学细胞图像处理研究中,细胞的分割和识别是最重要也是最困难的一个方面。细胞边缘的检测是对细胞进行面积、个数等形态的定量计算和分析的基础,其结果会对病情的分析和诊断的结果产生直接影响,细胞边缘检测不理想就根本无法进行细胞的形态分析^[1]。

近些年来,国内外也提出了一些比较经典的传统边缘检测算法,主要包括 Roberts 算法^[2]、Sobel 算法^[3]、LOG 算法、Prewitt 算法、Canny 算法^[4]等等。然

而,这些算法尽管在一定程度上满足了人们的需要,但仍有不足之处^[5]。

(1) 算法对图像中的噪声很敏感,容易受到噪声的干扰而导致最终的检测结果不稳定;

(2) 算法检测得到的细胞边缘^[6]连续性差,后期无法对细胞形态进行分析和计算;

(3) 检测得到的细胞边缘比较粗,容易与相邻的细胞发生交叉,从而无法准确识别。

这些局限性不仅降低了算法的性能,而且影响了算法的应用范围。针对这些不足之处,文中提出了一

收稿日期:2015-03-19

修回日期:2015-06-25

网络出版时间:2015-11-19

基金项目:安徽省自然科学基金重点项目(kj2009a132)

作者简介:徐国雄(1963-),男,博士,副教授,研究方向为生物芯片、图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151119.1110.040.html>

种利用灰度图像形态学重建、迭代算法最佳阈值分割以及数学形态学腐蚀算法提取图像轮廓的多种方法混合检测细胞边缘的算法。该算法实现了较大程度上降低噪声对最终检测结果的干扰,最终获取到细胞真实边缘并保证了细胞边缘图像的质量。

1 二值图像的数学形态学运算

数学形态学的运算对象是集合,本质上是用结构元素映射输入图像。腐蚀^[7]和膨胀运算是数学形态学的两种基本运算。设 A 是图像矩阵, B 是结构元素矩阵,进行数学形态学运算时,实际上就是用集合 B 对集合 A 进行操作。

设 A, B 为 Z^2 中的集合,其中 A 为输入图像, B 为结构元素,图像 A 被 B 腐蚀的定义为:

$$A \ominus B = \{x \mid (B)_x \subseteq A\} \quad (1)$$

其中, x 表示集合平移的位移量; $(B)_x$ 为集合 B 的平移集合; \ominus 为腐蚀运算的运算符。

公式(1)表明, A 被 B 腐蚀是包含在 A 中的 B 由 x 平移的所有点 x 的集合,这些点的集合构成了腐蚀的结果。一般情况下,被结构元素腐蚀后的图像会发生“收缩”或“细化”。收缩的方法和程度由结构元控制。

从几何学方面去分析整个腐蚀过程,即结构元素 B 在 A 的内部移动,在不超过 A 的边界情况下,标出圆 B 的圆心所在的所有位置,这些圆心组成了腐蚀后的图像。腐蚀运算作用于目标物时,能消除目标物的边界点,并且在目标物的外部或边界处有比结构元素小的部分时,腐蚀还能使处理后的物体边界变得更光滑。另外,腐蚀还有一个非常重要的优点,即对于两个目标物连接在一起,但是连接间的尺寸比选用的结构元素小,则对这两个目标物进行腐蚀运算后,目标物之间的连接将被腐蚀掉,从而使得两个目标物分开^[8]。

设 A, B 为 Z^2 中的集合, \emptyset 为空集,图像 A 被结构元素 B 膨胀的定义为:

$$A \oplus B = \{x \mid (B)_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

其中, x 表示集合平移的位移量; B 为集合 B 的反射集合; \oplus 为膨胀运算的运算符。

膨胀运算是使图像中的目标“生长”或“变粗”的操作,这种特殊的方法和变粗的程度由结构元的形状来控制。腐蚀的作用是对图像内部做相应的滤波处理,而膨胀的作用是对图像的外部做相应的平滑处理。在膨胀运算中,若两个目标物间的距离小于结构元的大小时,则经过膨胀后的图像效果是两个目标物会被连在一起,从而变成一个物体。这也体现出了膨胀的本质目的即把图像中的某些有用的背景信息并到目标物中去^[9]。

数学形态学中另外两种重要的运算是开启运算和闭合运算,它们是通过腐蚀运算和膨胀运算的组合来实现的。

同样, A, B 为 Z^2 中的集合, A 为目标图像, B 为结构元素,则结构元素 B 对目标图像 A 开启运算定义为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

其中,“ \circ ”为开启运算的运算符。

开启运算的结构元素通常使用圆盘类型^[10],由于圆盘具有旋转不变的对称特性,开启运算具有两项重要的作用:

(1)通过圆盘平滑图像的内部边缘,可减少凸出的尖角从而转化成背景;

(2)圆盘具有低通滤波的作用,对图像进行滤波。

设 A 为目标图像, B 为结构元素,则结构元素 B 对目标图像 A 的闭合运算定义为:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

其中,“ \bullet ”为闭合运算的运算符。

对目标图像 A 进行闭合运算时,图像内部的一些凹的部分可能会被结构元素 B 平滑掉,如果结构元素 B 的尺寸大于图像上的某些结构,则闭合运算后这些部分都将被结构元素 B 磨光。在对一些含有噪声的图像进行图像处理时,可以利用开启、闭合运算对图像交替进行处理,这样就可能去除图像中的部分噪声,即对实验图像进行滤波复原操作。

总之,腐蚀运算能够收缩图像、增大缝隙和孔洞,使线条变细、颗粒变小,因而可有效地消除孤立噪声斑点;膨胀运算是将目标物接触的所有背景点融合到物体之内的过程,能够扩展图像、使线条变粗、颗粒变大,可以填充目标物中的孔洞和缝隙并形成连通区,达到从图像外部进行滤波处理的效果;开启运算能够平滑图像的轮廓,切断狭长的间断而分离物体,还可以消除图像边缘毛刺和孤立点;闭合运算也能平滑图像的轮廓,但它与开启运算相反,一般能连接临近物体之间的短小间断,并填补轮廓线中细小的裂缝和破洞。

2 基于阈值分割和轮廓提取的医学细胞图像分割算法

2.1 灰度图像形态学重建去除噪声

重建是一种形态学变换,包括两幅图像和一个结构元(代替单幅图像和一个结构元)^[11]。其中,一幅图像为标记(marker),是变换的始点;另一幅图像为模板(mask),用于约束变换过程。结构元用来定义连通性。文中使用8连接(默认值),结构元 B 是 3×3 的值为1的矩阵,中心坐标定义为(2,2)。

假设 G 是模板, F 是标记, 从 F 重建 G 记为 $R_G(F)$, 标记 F 必须是 G 的子集, 即 $F \subseteq G$ 。

用以下迭代过程^[12]定义:

- (1) 将标记图像 F 初始化为 h_1 。
- (2) 建立结构元: $B = \text{ones}(3)$ 。
- (3) 重复 $h_k = (h_k \oplus B) \cap G$, 直到 $h_{k+1} = h_k$ 。

对灰度图像进行重建时, 最常用的重构技术是开运算重构和闭运算重构^[13]。本节讨论的方法是有关灰度级的重建技术。灰度级重建技术实际上是重建的开操作, 如同标准的形态学开运算一样。图像首先被结构元腐蚀, 然后令腐蚀图像为标记图像、原图像为模板再进行重建运算。而闭运算的重建首先对输入图像求补, 计算求补后的开运算重建, 然后再对其结果求补。开闭重构技术可以有效地去除或减弱图像中亮区域和暗区域中小于结构元素的各类噪声。除此之外, 它不会改变图像中目标物的原有结构并且图像边缘不会出现严重的偏移情况。总之, 通常利用这种技术去除图像中出现的阴影和反射光噪声。同样, 该方法也可用于医学细胞图像上。

2.2 迭代算法最佳阈值分割

阈值分割的基本思想是将灰度图像分成不同灰度等级, 再利用预先设定好的灰度阈值来分割图像。假设一灰度直方图对应于暗背景上由亮物体组成的图像 $f(x, y)$, 这样物体和背景都具有均匀的灰度分布, 那么它的灰度直方图往往呈现为双峰曲线, 这种情况下可以选取灰度直方图上两峰之间的最小值作为阈值 T , 满足 $f(x, y) \geq T$ 的所有图像点称为物体点, 其他的点称为背景点。反之, 在亮背景上的暗物体也是一样。阈值分割图像的过程定义为:

$$g(x, y) = \begin{cases} a & f(x, y) \geq T \\ b & f(x, y) < T \end{cases} \quad (5)$$

其中, 像素 a 对应于目标; 像素 b 对应于背景。

然而在绝大多数的实际应用中, 实验图像很难排除噪声的干扰, 这就导致了峰谷的位置很难判定或者说判定的结果不明确, 这样一来就需要一种方法来判定峰谷的位置。本小节介绍了迭代算法求最佳阈值, 该算法能有效地减少噪声对灰度阈值的影响。

假设原始图像 $f(x, y)$ 混入噪声 $e(x, y)$, 形成了一幅存在噪声干扰的图像 $g(x, y)$, 则:

$$g(x, y) = f(x, y) + e(x, y)$$

假设各个点的噪声互相不影响并且具有零均值, 标准差为 ε , 通过阈值分割方法将原始图像分成前景物体 g_1 和背景 g_2 。由于噪声的随机性, 令分割后的前景物体 g_1 和背景 g_2 上的噪声干扰仍可以表示为 $e(x, y)$, 则公式可表示为:

$$g_1(x, y) = f_1(x, y) + e(x, y) \quad (6)$$

$$g_2(x, y) = f_2(x, y) + e(x, y) \quad (7)$$

文中介绍的迭代算法分别对图像 g_1 和 g_2 计算灰度均值, 则公式可表示为:

$$E\{g_1(x, y)\} = E\{f_1(x, y) + e(x, y)\} = E\{f_1(x, y)\} \quad (8)$$

$$E\{g_2(x, y)\} = E\{f_2(x, y) + e(x, y)\} = E\{f_2(x, y)\} \quad (9)$$

从上式可以看出, 迭代过程会使 g_1 和 g_2 的平均灰度值趋向真值, 因而可有效地消除噪声对检测结果的干扰。利用阈值方法处理分割后的图像, 有效缩小了噪声对图像处理结果的干扰, 并且能使图像的边缘邻域点远离噪声干扰区域, 从而增强了图像边缘检测的抗干扰能力。

迭代过程求最佳阈值描述: 首先令原始图像的灰度平均值为初始阈值, 再根据初始阈值进行图像分割得到两个子图像, 分别计算这两个子图像的灰度平均值并计算两幅子图像的灰度平均值作为新的阈值, 然后使用新的阈值对原始图像进行分割, 重复上述的过程直到新的阈值与上一次的阈值相等时终止。经过几次循环后噪声对图像分割的影响会降到最小, 通过迭代算法计算出的阈值再分割图像得到的效果要比初始阈值分割图像得到的效果会好很多^[14]。其步骤描述如下:

- (1) 选择初始估计值 $T^0 = \{T^k \mid k = 0\}$ 。

$$T^0 = \frac{Z_{\max} + Z_{\min}}{2} \quad (10)$$

式中, Z_{\max}, Z_{\min} 分别是图像中的最大和最小灰度值。

(2) 利用阈值 T^k 分割图像, 得到两组像素: G_1 由所有灰度值大于等于 T^k 的像素组成, G_2 由所有灰度值小于 T^k 的像素组成, 则:

$$G_1 = \{f(x, y) \mid f(x, y) \geq T^k\} \quad (11)$$

$$G_2 = \{f(x, y) \mid f(x, y) < T^k\} \quad (12)$$

分别计算 G_1, G_2 区域内的平均灰度值 M_1 和 M_2 , 则:

$$M_1 = \frac{\sum_{f(i, j) \geq T^k} f(i, j) \times N(i, j)}{\sum_{f(i, j) \geq T^k} N(i, j)} \quad (13)$$

$$M_2 = \frac{\sum_{f(i, j) < T^k} f(i, j) \times N(i, j)}{\sum_{f(i, j) < T^k} N(i, j)} \quad (14)$$

式中, $f(i, j)$ 表示图像上点 (i, j) 的灰度值; $N(i, j)$ 表示点 (i, j) 的权重系数, 一般情况下权重系数为 1, 所以式(13)和式(14)可简化为:

$$M_1 = \sum_{f(i, j) \geq T^k} f(i, j) \quad (15)$$

$$M_2 = \sum_{f(i,j) < T^k} f(i,j)$$

(16)

(3) 计算新的阈值 T^{k+1} 。

$$T^{k+1} = \frac{M_1 + M_2}{2}$$

(17)

(4) 比较 T^k 和 T^{k+1} 的大小,若 $T^{k+1} = T^k$,则结束,否则 $k = k + 1$,转到步骤(2)。

2.3 数学形态学提取医学细胞图像边缘轮廓

通过上述迭代过程计算出最佳阈值,再根据该阈值分割图像,处理后的细胞图像从灰度图像转换成了二值图像,提取二值图像的轮廓可以采取二值图像腐蚀算法。在数学形态学理论中,腐蚀算法会使图像中的目标“收缩”或“细化”,而“收缩”或“细化”的程度通常由结构元控制。

文中用 3×3 的模板元素对医学细胞图像进行腐蚀,假设 A 为医学细胞原始图像, B 为 3×3 的模板元素即结构元素,则 A 被 B 腐蚀后再利用原始图像减去腐蚀后的结果 M 即可获得最终的图像边缘轮廓^[14],公

式表示为:

$$H = A - M = A - A \ominus B$$

(18)

使用二值图像腐蚀算法提取医学细胞图像的边缘轮廓,所检测到的细胞边缘宽度为单像素宽,从而克服了现有的传统的经典边缘检测算法检测的边缘粗壮的缺陷,另外细胞轮廓完整,细胞边缘具有较好的连续性。但其对噪声很敏感,因此文中在此之前先采用了形态学重建和阈值分割技术对细胞图像进行处理,消除大部分噪声后再采用二值图像腐蚀算法提取细胞图像的边缘信息。

3 实验结果

为了论证文中新算法的效果,现在 Matlab 环境下进行模拟仿真。将文中提出的新算法与现有传统的经典边缘检测算法(以 Canny 算法为例)进行比较,实验效果如图 1 所示。

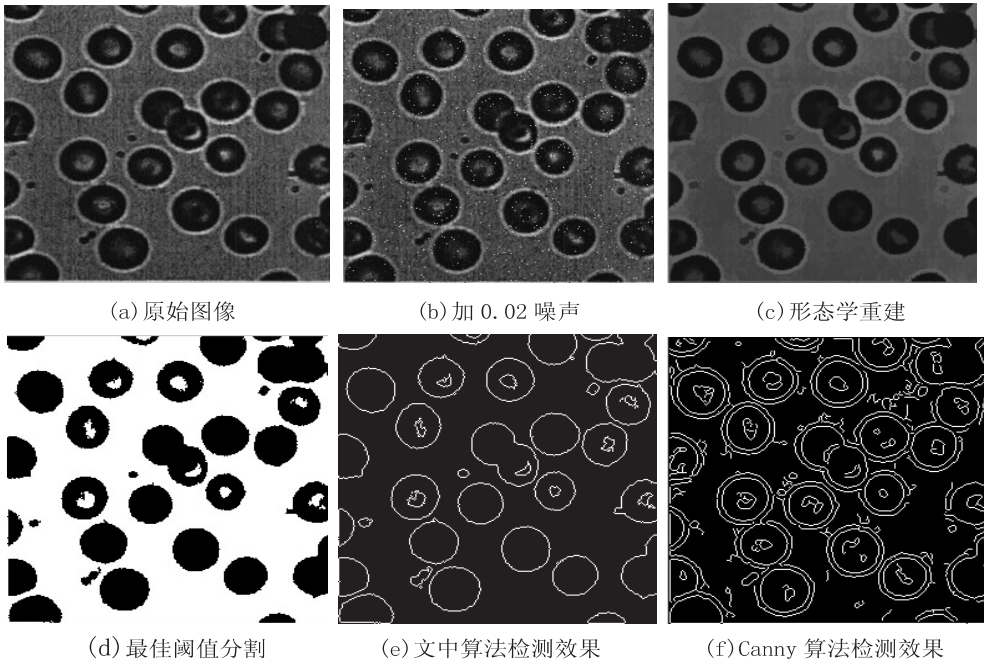


图 1 实验结果对比图

通过图 1 的比较,可以很直观地看出文中提出的新算法取得了令人满意的效果,它具有以下几个优点:

- (1) 算法开始时对医学细胞图像进行形态学重建,去除了图像中的阴影和反射光噪声。
- (2) 通过迭代算法计算出最佳阈值并对图像进行分割,有效地降低了噪声对最终检测结果的影响。
- (3) 阈值分割得到二值图像后,利用形态学腐蚀算法提取细胞边缘轮廓,使细胞边缘的宽度仅有一个像素,相比于传统的边缘检测算法,该算法提高了边缘定位的精度,避免了细胞边缘的重叠现象。同时,检测后得到的细胞边缘具有良好的连续性。

4 结束语

文中提出了一种新颖的医学细胞图像边缘检测算法,该算法包含形态学重建、迭代算法最佳阈值分割和轮廓提取三个部分。

新算法在 MATLAB 上得到验证,它极大地克服了现有传统的经典边缘检测算法的缺点,能够很好地抑制噪声,得到的细胞边缘不仅细节效果非常清晰,而且具有很好的连贯性,因此能够适用于医学细胞图像的处理中。

数夹角匹配算法相结合,以实现提高图像在非刚体变换下的匹配精度的目的。

参考文献:

[1] Chung F R K. Spectral graph theory [M]. USA: American Mathematical Society, 1997.

[2] Carcassoni M, Hancock E R. Correspondence matching with modal clusters[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(12): 1609–1615.

[3] Thornton J, Savvidos M. A Bayesian approach to deformed pattern matching of iris image[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(4): 596–606.

[4] Brown L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325–376.

[5] Chang Shih-Hsu, Cheng Fang-Hsuan, Hsu Wen-Hsing, et al. Fast algorithm for point pattern matching invariant to translations, rotations and scale changes [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(2): 311–320.

[6] Jain A K, Chen Yi. Pores and ridges: high-resolution fingerprint match using level3 features [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(1): 15–27.

[7] 李炯生, 张晓东, 潘永亮. 图的 Laplace 特征值[J]. 数学进展, 2003, 32(2): 157–165.

[8] Cvetković D, Doob M, Sachs H. Spectra of graphs—theory and application [M]. 2nd ed. Berlin: VEB Deutscher Verlag Wiss, 1982.

(上接第 67 页)

参考文献:

[1] 张睿轩. 医学图像边缘提取与分割的新算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

[2] Roberts L G. Machine perception of three-dimension solids [M]//Optical and electro-optimal information processing. Cambridge, MA: MIT Press, 1965.

[3] Sobel L. Camera models and machine perception [D]. Stanford: Stanford University, 1970.

[4] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679–698.

[5] Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection [J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1980, 207(1167): 187–217.

[6] 章毓晋. 图像处理与分析基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

[7] 赵春晖, 孙圣和. 一种全方位多尺度形态滤波方法 [J]. 模

[9] Scott G L, Longuet-Higgins H C. An algorithm for associating the features of two images [J]. Proceedings of Royal Society of London, 1991, 244: 21–26.

[10] Shapiro L S, Brady J M. Feature-based correspondence—an eigenvector approach [J]. Image and Vision Computing, 1992, 10(5): 283–288.

[11] Luo B, Hancock E R. Structural graph matching using the EM algorithm and singular value decomposition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(10): 1120–1136.

[12] Cross A D J, Hancock E R. Graph matching with a dual-step EM algorithm [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1236–1253.

[13] Carcassoni M, Hancock E R. Spectral correspondence for point pattern matching [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(1): 193–204.

[14] 王 年, 范益政, 韦 穗, 等. 基于图的 Laplace 谱的特征匹配 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(3): 332–336.

[15] Tang Jun, Liang Dong, Wang Nian, et al. A Laplacian spectral method for stereo correspondence [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(12): 1391–1399.

[16] Luo B, Wilson R C, Hancock E R. Spectral embedding of graphs [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(10): 2213–2230.

[17] Chui H, Rangarajan A. A new point matching algorithm for non-rigid registration [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 89(2–3): 114–141.

式识别与人工智能, 1998, 11(1): 101–106.

[8] Soille P. 形态学图像分析原理与应用 [M]. 王小鹏, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[9] Poggio T, Voorhees H, Yuille A. A regularized solution to edge detection [M]. [s. l.]: MIT Artificial Intell Lab, 1985.

[10] 张 鑫, 陈伟斌. 基于形态学重构的多结构元细胞图像边缘检测 [J]. 计算机仿真, 2009, 26(8): 216–219.

[11] 余 莉. 基于数学形态学的目标检测 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.

[12] 姜红军, 郑 毅, 海 鹰, 等. 基于数学形态学随机性方法的细胞图像颗粒分析 [J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学版, 2012, 41(2): 183–186.

[13] 赵于前, 桂卫华, 陈真诚, 等. 基于形态学重建滤波的脑部磁共振图像分割 [J]. 计算机工程, 2006, 32(16): 170–171.

[14] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理的 MATLAB 实现 [M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2013.

基于阈值分割和轮廓提取的图像边缘检测算法

作者：[徐国雄](#)，[张骁](#)，[胡进贤](#)，[倪旭祥](#)，[XU Guo-xiong](#)，[ZHANG Xiao](#)，[HU Jin-xian](#)，[NI Xu-xiang](#)

作者单位：[徐国雄, 张骁, XU Guo-xiong, ZHANG Xiao\(安徽工业大学, 安徽 马鞍山, 243002\)](#)，[胡进贤, HU Jin-xian\(合肥赛为智能有限公司, 安徽 合肥, 230022\)](#)，[倪旭祥, NI Xu-xiang\(现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州, 310027\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015, 25(12)

引用本文格式：[徐国雄. 张骁. 胡进贤. 倪旭祥. XU Guo-xiong. ZHANG Xiao. HU Jin-xian. NI Xu-xiang 基于阈值分割和轮廓提取的图像边缘检测算法\[期刊论文\]-计算机技术与发展 2015\(12\)](#)