

## 基于 Normalized cut 的羽毛杆自动提取

岳洪伟<sup>1,2\*</sup>, 汪仁煌<sup>1</sup>, 何最红<sup>1</sup>

(1. 广东工业大学 自动化学院, 广州 510006; 2. 仲恺农业工程学院 信息学院, 广州 510225)

(\* 通信作者电子邮箱 yuehongwei420@163.com)

**摘要:**针对羽毛杆进行有效分割问题,提出一种带纹理权重的归一化割(Ncut)方法完成羽毛杆提取。融合纹理信息的权重增强相似纹理边的相似度,减少了相近灰度区域干扰;并结合窄带单向膨胀方法完成初始轮廓的局部调整优化,消除了羽毛杆的边界泄漏。实验结果表明,所提方法可以用于羽毛杆的分割提取,为下一步的毛杆折痕检测奠定基础。

**关键词:**羽毛杆;归一化割准则;图像分割;局部调整

**中图分类号:** TP361; TP391.413 **文献标志码:** A

### Automatic extraction of feather quill based on Normalized cut algorithm

YUE Hong-wei<sup>1,2\*</sup>, WANG Ren-huang<sup>1</sup>, HE Zui-hong<sup>1</sup>

(1. Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510006, China;

2. Information College, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou Guangdong 510225, China)

**Abstract:** A modified Normalized cut (Ncut) method considering the texture weight was proposed to effectively segment feather quill. The weight including texture information enhanced association on each edge of similar texture and reduced interference of the similar region. Narrow unidirectional expansion method with a region-scalable fitting term was used to optimize the initial boundary for the final result and eliminated boundary leakage of the feather quill. The experimental results show that the proposed method can realize boundary extraction of feather quill efficiently and pave the way for the next step research of crease detection.

**Key words:** feather quill; Normalized cut (Ncut) criterion; image segmentation; region-scalable fitting

## 0 引言

羽毛球是劳动密集型产品,从羽毛分拣到成品羽毛球检测有十来道工序。羽毛球工艺要求只能植入拱度、弯度相近,颜色基本一致、无缺陷的羽毛片,目前生产厂家通常使用人眼观察分类手工操作,存在劳动强度高、分拣质量不稳定等问题。针对此种情况,利用机器视觉完成相应参数测定是一种有效的方法:首先对羽毛片进行采样,需要完成羽毛叶和羽毛杆的分割提取;然后分别对羽毛叶和羽毛杆的参数自动测量。由于羽毛片由羽毛叶和羽毛杆所组成,它们的特征不一样,因此羽毛杆的分割提取质量对测试结果有很大影响。

观察羽毛片采样图像可知,羽毛杆形状细长,两侧羽毛叶的灰度存在重叠交叉现象;羽毛叶密度分布并不均匀,高密度区域比低密度区域灰度值偏大。从灰度直方图可以发现羽毛叶灰度值分布包括了羽毛杆灰度值分布,所以利用区域内灰度相似性的基于阈值的算法无法对羽毛杆进行有效分割。近年来在图像分割和数据聚类领域中谱图理论是一个研究热点<sup>[1-7]</sup>。因此,本文提出利用归一化割(Ncut)准则的图谱理论对羽毛图像进行分割<sup>[8-9]</sup>,根据先验知识获取羽毛杆分割结果,并将此结果作为活动轮廓模型迭代变形的轮廓,从而实现羽毛杆自动提取。

## 1 Ncut 算法基本原理

首先将图像映射为由顶点集合  $V$  和边集合  $E$  构成的加权

图  $G = (V, E)$ , 图  $G$  的阶  $N = |V|$ 。边  $e(u, v) \in E$  赋予非负权值  $w(u, v) \geq 0$ , 此权值越大表明相邻两像素之间的相似度越高。假设将节点集  $V$  分成两个子集  $A$  和  $B$ , 且  $A \cup B = V, A \cap B = \emptyset$ , 则切割代价函数<sup>[10]</sup> 定义为  $cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$ 。由于最小割不一定是图像最优割,针对此问题,Shi 等提出归一化割描述两类间的分离度<sup>[8]</sup>:

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{assoc(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{assoc(B, V)} \quad (1)$$

其中:  $assoc(A, V) = \sum_{u \in A, v \in V} w(u, v)$  表示  $A$  中的节点与图中所有节点总的联系度,  $assoc(B, V)$  同理。设  $X$  是一个  $N$  维向量 ( $X_u = 1$  表示节点  $u$  在  $A$  中,  $X_u = -1$  表示节点  $u$  在  $B$  中),  $D$  为对角矩阵且  $D(u, u) = d_u = \sum_v w(u, v)$ ,  $W$  是  $N$  阶关联对

称矩阵,  $W_{uv} = w(u, v)$ , 又令  $k = \frac{\sum_{X_u > 0} d_u}{\sum_{X_u < 0} d_u}$ , 则式(1)改写为:

$$Ncut(X) = \frac{\frac{(\vec{1} + X)^T}{2} (D - W) \frac{(\vec{1} + X)}{2}}{k \vec{1}^T D \vec{1}^T} + \frac{\frac{(\vec{1} - X)^T}{2} (D - W) \frac{(\vec{1} - X)}{2}}{k \vec{1}^T D \vec{1}^T} \quad (2)$$

收稿日期: 2011-12-19; 修回日期: 2012-02-08。 基金项目: 广东省科技计划项目(2010B020315028)。

**作者简介:** 岳洪伟(1979-), 男, 安徽亳州人, 博士研究生, 主要研究方向: 图像处理、模式识别; 汪仁煌(1945-), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 智能测控、信息处理、智能仪器、机器视觉; 何最红(1976-), 女, 湖南邵阳人, 博士研究生, 主要研究方向: 图像处理、模式识别。

则求解  $Ncut(A, B)$  最小值的问题可以转换为:

$$\min_X Ncut(X) = \min_Y \frac{Y^T(D-W)Y}{Y^T D Y} \quad (3)$$

其中:  $Y = (1 + X) - b(1 - X)$ ,  $b = \frac{k}{1+k} = \frac{\sum_{x_u > 0} d_u}{\sum_{x_u < 0} d_u}$ , 且

$Y(u) \in \{2, -2b\}$ ,  $Y^T D \vec{1} = 0$ 。此  $Ncut$  的最小取值对应着最优分割结果;由于  $Ncut$  的最小值的求解是个 NP 问题。归一化割准则将最小取值问题转换到特征值和特征向量的求解取值。式(3)是 Rayleigh 商数,如果  $y$  的取值为实数,  $Ncut(A, B)$  最小值的问题又可以转化为如下的标准特征系统:

$$D^{-\frac{1}{2}}(D-W)D^{-\frac{1}{2}}z = \lambda z \quad (4)$$

其中  $\lambda$  和  $z$  分别为相应的特征值和特征矢量。采用近似求解方法获得特征系统(4)的第二个最小特征值对应的特征矢量完成图像划分。递归调用该算法可以对分割得到的子图进一步划分。

## 2 基于纹理信息的权值构建

本文考虑到虽然羽毛杆和羽毛对比度低,但是羽毛片图像形状固定,具有特定的纹理特征,因此定义权值  $w(u, v)$  如式(5)所示:

$$w(u, v) = e^{\frac{-\|F(u)-F(v)\|_2^2}{\sigma_I}} * e^{\frac{-\|X(u)-X(v)\|_2^2}{\sigma_X}}, \quad \|X(u) - X(v)\|_2 < r \quad (5)$$

其他

权值大小反映了节点  $u, v$  之间的相似度,权值越大表明节点之间的相似度越大。这些权值(weight)构成图的关联矩阵。 $X(\cdot)$ ,  $F(\cdot)$  分别表征着该点的空间位置和纹理特征。式(5)中  $\sigma_I, \sigma_X$  对应调整  $w(u, v)$  对纹理及空间位置的敏感程度,  $r$  调节计算  $w$  的点数量。其中:

$$F(u) = ((I * f_1)^2 + (I * f_2)^2)(u) \quad (6)$$

考虑到羽毛图像纹理特性,本文设计滤波器组  $f_1, f_2$  完成纹理信息的提取,其空间分布如图1所示,通过调整  $\sigma, \theta$  取值可以得到多方向多尺度滤波器组。

$$f_1 = -\frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) - \frac{y}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

$$f_2 = \cos^2(\theta) G_{xx}(x, y, \sigma) - \sin(2\theta) G_{xy}(x, y, \sigma) + \sin^2(\theta) G_{yy}(x, y, \sigma) \quad (8)$$

其中:

$$G_{xx}(x, y, \sigma) = \left(\frac{x^2}{\sigma^2} - 1\right) \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

$$G_{xy}(x, y, \sigma) = \frac{xy}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

$$G_{yy}(x, y, \sigma) = \left(\frac{y^2}{\sigma^2} - 1\right) \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

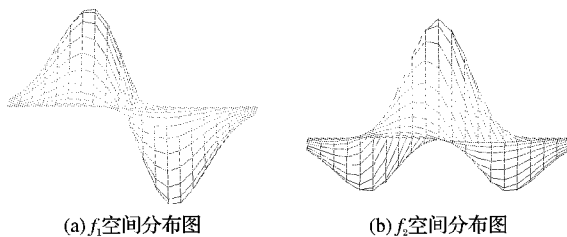


图1 滤波器空间分布

## 3 实验结果与分析

图2(a)是原始图像;由于羽毛片具有特定的形状,本文采用  $Ncut$  算法时将图像划分  $Nc = 5$  块。图2(b)是  $\sigma_I = 3.5$ ,  $\sigma_X = 0.1, r = 8$  时提取羽毛杆结果。从图2(b)可以看出虽然羽毛杆和两侧羽毛有着很大的灰度重叠,依然获得较好的分割效果,特别是羽毛杆上的绒毛大部分被分离。图2(c)是采用 Otsu 方法的分割结果,在门限  $t$  取值为 121 时目标与背景的类型方差取得最大。图2(d)为采用二维最大熵阈值分割结果,当阈值矢量对  $(s, t)$  为 (168, 166) 时其目标与背景的熵值达到最大。从实验结果可以看出采用本文方法分割羽毛杆性能优于 Otsu 方法和二维最大熵方法。

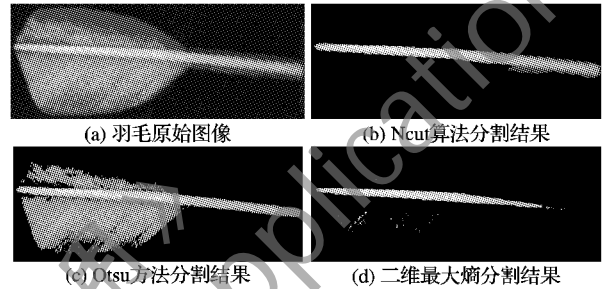


图2 分割结果

## 4 边缘局部调整

由于图像本身质量等问题往往会影响到羽毛杆边缘的精确提取,如图2(d)中的羽毛杆就出现了伪边缘,这就需要进行局部调整,本文利用  $Ncut$  分割得到的羽毛杆边缘作为初始轮廓线,如图3(a)所示。采用局部最优化的基于主动轮廓图割算法<sup>[4-5]</sup>可以用来边缘调整,但是由于羽毛杆的细小端只有5像素宽,直接使用该算法会出现轮廓线膨胀域重叠问题,从而导致分割错误,其分割结果如图3(b)所示。

本文在此基础上提出一种窄带单向膨胀算法如下:

- 1) 通过先验知识获取  $Ncut$  分割的羽毛杆初始轮廓线;
- 2) 轮廓线向外膨胀  $n$  个像素,外部轮廓线像素点作为源点,原轮廓线相邻内侧像素作为汇点;
- 3) 运用 Multi-source Multi-sink min-cut 定理把多源多汇最小割问题转化为单源单汇最小割问题,以减少顶点、边的数量<sup>[11-13]</sup>;
- 4) 运用  $s-t$  最小割算法获得该邻域内的最优切割,完成一次切割,之后返回第2)步,直至算法终止,便可得到目标的分割轮廓。

本文算法避免了膨胀域重叠问题,而且减少了羽毛杆根部绒毛干扰,图3(c)给出了使用本文算法所得到的调整结果。从中可以看出轮廓线在毛杆边缘停止,而且在弱边界处没有发生泄露现象,取得较好收敛。

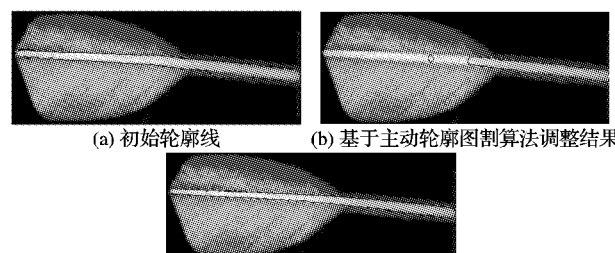


图3 边缘局部调整结果

## 5 结语

本文重点研究了基于 Ncut 的羽毛杆图像分割方法,根据羽毛图像的纹理特征设计了滤波器组完成羽毛图像的分类提取,提出一种窄带单向膨胀图割算法避免相邻轮廓线邻域重叠问题,对 Ncut 得到的羽毛杆进行局部调整作为最终自动分割结果,避免了毛杆根部绒毛的强干扰。实验结果表明,本文方法能够对羽毛图像做出稳定的羽毛杆边缘自动提取,为下一步的特征测量和折痕提取打下基础。

### 参考文献:

- [1] 李小斌,田铮,刘密歌,等.基于加权割的图像分割[J].电子学报,2008,36(1):76-80.
- [2] NG A Y, JORDAN M I, WEISS Y. On spectral clustering: analysis and an algorithm [C]// Proceedings of the 2001 Neural Information Processing Systems (NIPS) Conference. Cambridge, MA: MIT Press, 2001: 849-856.
- [3] SHAWE-TAYLOR J, CRISTIANINI N, KANDOLA J. On the concentration of spectral properties [C]// Proceedings of the 2001 Neural Information Processing Systems (NIPS) Conference. Cambridge, MA: MIT Press, 2001: 511-517.
- [4] SONG WANG, SISKIND J M. Image segmentation with ratio cut [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(6): 675-690.
- [5] FOWLKES C, BLONGIE S, MALIK J. Efficient spatiotemporal grouping using the Nystrom method [C]// CVPR 2001: Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001: 231-238.

(上接第1881页)

## 4 结语

本文针对图像去除乘性噪声的变分模型中保真项的病态情形进行研究,对保真项进行对数变换,提出了一种新的去除图像乘性噪声的变分模型。本文模型避免了以往图像去除乘性噪声的变分模型中存在的病态情形。从去噪效果上看,本文模型不仅能取得更好的去噪效果,明显缓解了图像模糊,很好地保留了图像的边缘细节,大大地改善了去噪图像的视觉质量和客观效果。

### 参考文献:

- [1] RUDIN L, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms [J]. Physica D: Nonlinear Phenomena, 1992, 60(1-4): 259-268.
- [2] AUBERT G, VESE L. A variational method in image recovery [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1997, 34(5): 1948-1979.
- [3] OSHER S, BURGER M, GOLDFARM D, et al. An iterative regularization method for total variation-based image restoration [J]. SIAM Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4(2): 460-489.
- [4] YANG JUN-FENG, YIN WOTAO, ZHANG YIN, et al. A fast algorithm for edge-preserving variational multichannel image restoration [J]. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2009, 2(2): 569-592.
- [5] DONG YI-QIU, HINTERMILLER M, RINCON-CAMACHO M M. Automated regularization parameter selection in multi-scale total variation models for image restoration [J]. Journal of Mathematical Im-

- [6] TOLIVER D, COLLINS R T, BAKER S. Multilevel spectral partitioning for efficient image segmentation and tracking [C]// WACV/MOTION'05: Proceedings of the Seventh IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 414-420.
- [7] MARTÍNEZ A M, MITTRAPIYANURUK P, KAK A C. On combining graph-partitioning with non-parametric clustering for image segmentation [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(1): 72-85.
- [8] SHI JIANBO, MALIK J. Normalized cuts and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905.
- [9] 陶文兵,金海,田金文,等.一种新的基于图谱理论的图像阈值分割方法[J].计算机学报,2007,30(1):110-119.
- [10] WU ZHENYU, LEAHY R. An optimal graph theoretic approach to data clustering: theory and its application to image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(11): 1101-1113.
- [11] DING C, REN X F, ZHA H, et al. Spectral min-max cut for graph partitioning and data clustering [C]// Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001: 107-114.
- [12] XU NING, AHUJA N, BANSAL R. Object segmentation using graph cuts based active contours [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2007, 107(3): 210-224.
- [13] CHEN CHENG, LI HOUQIANG, ZHOU XIAOBO, et al. Constraint factor graph cut based active contour method for automated cellular image segmentation in RNAi screening [J]. Journal of Microscopy, 2008, 230(2): 177-191.

aging and Vision, 2011, 40(1): 82-104.

- [6] RUDIN L, LIONSP L, OSHER S. Multiplicative denoising and deblurring: theory and algorithms [M]// OSHER S, PARAGIOS N. Geometric Level Set Methods in Images, Vision, and Graphics. Berlin: Springer, 2003: 103-119.
- [7] AUBERT G, AUJOL J-F. A variational approach to removing multiplicative noise [J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2008, 68(4): 925-946.
- [8] JIN ZHENG-MENG, YANG XIAO-PING. A variational model to remove the multiplicative noise in ultrasound images [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2011, 39(1): 62-74.
- [9] HUANG YU-MEI, NG K M, WEN YOU-WEI. A new total variation method for multiplicative noise removal [J]. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2009, 2(1): 20-40.
- [10] JIN ZHENG-MENG, YANG XIAO-PING. Analysis of a new variational model for multiplicative noise removal [J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 2010, 262(2): 415-426.
- [11] AUBERT G, KORNPROBST P. Mathematical problems in image processing [M]. Berlin: Springer, 2002.
- [12] TUR M, CHIN C, GOODMAN J W. When is speckle noise multiplicative [J]. Applied Optics, 1982, 21(7): 1157-1159.
- [13] CHAN T F, SHEN JIAN-HONG. Mathematical models for local non-texture inpainting [J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2001, 62(3): 1019-1043.