

基于计算机视觉的原木高出材率的研究

钟平川¹ 王娜¹ 肖一荻² 郑泽忠¹

(电子科技大学资源与环境学院 成都 611731)¹ (电子科技大学格拉斯哥学院 成都 611731)²

摘要 计算机能模拟人眼视觉环境来甄别、测量视野中的事物,随着精度的不断提高,计算机视觉能代替人眼实现简单、重复的人工操作。计算机视觉结合原木剖料可以提高原木的出材率,减少木材损耗。凭借计算机的高效性、准确性,计算机视觉实现原木的最大利用,最大程度减少生成方木浪费的原料,提高原木出材率。将所提算法应用于自动化带锯原木切割系统的基本流程是通过图像预处理来消除图像噪声,通过颜色分割去除背景,通过边缘检测给出感兴趣区域的轮廓,应用形态学运算连接和填补被误处理的轮廓边缘,计算最大面积的拟合椭圆。实验结果表明,该算法可以满足实际生产的需要,实验精度达到 95% 以上。

关键词 出材率,原木轮廓,拟合椭圆,图像处理,OpenCV

中图分类号 TP311 **文献标识码** A

Research on High Rate of Log's Output Based on Computer Vision

ZHONG Ping-chuan¹ WANG Na¹ XIAO Yi-di² ZHENG Ze-zhong¹

(School of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)¹

(Glasgow College, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)²

Abstract The computer can simulate the human visual environment to identify and measure things in the field of vision. With the increase of accuracy, computer vision can replace the function of human's eyes to achieve simple and repetitive manual operations. The introduction of computer vision into logs can increase the yield of logs, reduce wood loss, maximize the utilization rate of logs with high-efficiency and accurate performance of the computer, minimize the production of raw materials that generate square waste, and increase the output rate of logs. This algorithm is applied to automated band saw log cutting systems. The basic process includes eliminating image noise through image preprocessing, removing the background through color segmentation, giving the contour of the region of interest by edge detection, filling the misprocessed contour edges through morphological operations, and calculating the largest area of the fitted ellipse. The experimental results show that the arithmetic can meet the requests of actual production, and the accuracy reaches 95%.

Keywords Rate of output, Outline of Log, Fitting ellipse, Image processing, OpenCV

1 引言

计算机视觉(Computer Vision, CV)从 20 世纪下半叶逐渐发展壮大,在数字图像检索管理、医学影像分析、智能安检、人机交互方面有着重要的应用^[1],但应用于木材带锯方面的案例比较少。随着世界性木材资源的日益短缺,尤其是珍贵树种的逐渐枯竭,如何高效地利用木材资源变得至关重要^[2]。随着工业自动化的广泛应用,原木剖料行业未来的必然发展趋势是应用计算机进行自动化、智能化锯切^[3],通过计算机视觉来最大程度地减少木材的浪费,提高出材率。另外,通过对原木端面图像的识别、处理与测算,获得原木端面的长径、短径、圆心、纹理、色泽等参数,不仅在原木切割计算中有着重要的作用,而且在原木种类识别等应用中也有非常重要的地位^[4]。国内外学者已经提出多种图像分割算法,但都是针对具体问题,并没有适合所有图像的通用算法^[5-6]。目前,分割图像的方法主要是基于阈值的分割技术,而阈值分割算法大

部分是基于灰度图像^[7-8]。由于彩色图像提供了比灰度图像更为丰富的信息,基于彩色图像的处理算法越来越受到人们的关注^[9-12]。针对彩色图像的分割问题,本文根据原木端面图像的颜色特征,提出了一种基于 HSV 彩色空间的原木端面图像分割方法。

2 研究细节与实现方法

我们通过摄像机得到实际原木的影像图像,其分辨率为 640 × 480,如图 1 所示。



图 1 原木图像

本文受电子科技大学大学生创新创业训练计划项目(201810614525, 201810614536)资助。

钟平川 主要研究方向为图像处理, E-mail: 2015180201010@std.uestc.edu.cn; 王娜 硕士生, 主要研究方向为图像处理; 肖一荻 主要研究方向为图像处理; 郑泽忠 副教授, 主要研究方向为图像处理。

本文方法的流程图如图 2 所示。

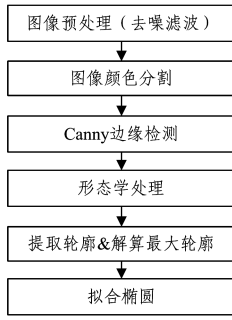


图 2

2.1 双边滤波

双边滤波是一种非线性、保边去噪的平滑滤波方法。双边滤波不仅考虑到高斯滤波的像素空间的关系,还考虑了像素之间相似度的特性。在预处理中,考虑到原木的边缘检测的精确性,在不破坏图像边缘特性的同时,对图像中不需要的部分作平滑处理。

2.1.1 原理

假设 x 为一个窗口的中心像素, y 为相邻窗口的中心像素, $R(x)$ 和 $R(y)$ 为相应的幅度值。

1) 空间核函数

通常把高斯模糊作为空间核函数,设关于 x 与 y 距离的标准差为 σ ,公式如式(1)所示:

$$F_s(x, y) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d(x, y)}{\sigma} \right)^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\|y - x\|}{\sigma} \right)^2} \quad (1)$$

其中, $\|y - x\|$ 代表 x 与 y 之间的欧氏距离。由于数字图像是栅格化的,因此对其求导并转换到差分形式。

2) 像素核函数

像素核函数的形式类似于高斯模糊的空间核函数,只是将空间距离替换为像素辐射值,其公式如式(2)所示:

$$F_r(x, y) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{F(R(x), R(y))}{\sigma} \right)^2} \quad (2)$$

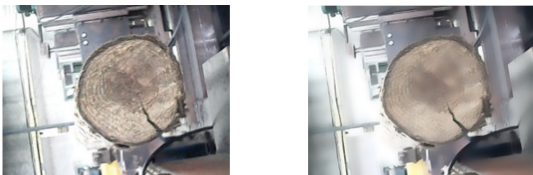
其中, $F(R(x), R(y))$ 代表 x 与 y 对应的灰度之差。

双边滤波的核函数是基于空间和基于像素核函数的结合,其公式如式(3)所示:

$$W(x, y) = F_s(x, y) \times F_r(x, y) \quad (3)$$

2.1.2 实现方法

利用 OpenCV(本文中使用的版本为 1.0)提供的双边滤波函数 `bilateralFilter()`,经过双边滤波预处理后的图像如图 3 所示。



(a) 原木原始图像

(b) 双边滤波效果

图 3

2.2 颜色分割

本文采用 HSV 颜色空间进行颜色分割。实际中最通用的面向硬件的模型是 RGB 模型,该模型用于彩色监视器和彩色视频摄像机,而 HSV 模型更符合人描述和解释颜色的方式。

当人观察一个彩色物体时,一般用色调、饱和度和亮度对

其描述。色调描述一种纯色的颜色属性;饱和度是一种纯色被白光稀释的程度的度量;亮度是一个主观的描述因子,其不可度量。故本文没有使用亮度信息,HSV 颜色模型如图 4 所示。

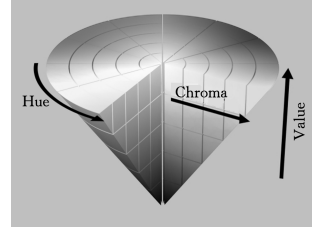


图 4 HSV 颜色模型^[15]

本文方法采用 HSV 颜色空间模型的原因是,在 RGB 模型中表示色调时需要 3 个参数的共同作用,而在 HSV 颜色空间模型中只需要一个参数 H 色调;在利用颜色差异来消除背景的方法下,单个参数的容错率是 3 个参数的容错率的 3 次方;而且 S 饱和度是一个非常利于消除白光影响的参数,考虑到实际应用的光照环境,利用 S 参数能大大消除背景的复杂性。

1) 从 RGB 到 HSV 的彩色转换

假设 R, G, B 分别代表像素点在 RGB 颜色空间的红绿蓝分量值; H, V, S 分别代表像素点在 HSV 颜色空间的三基本量。

$$V = \text{Max}(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \text{Min}(R, G, B)}{V}, & V \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \frac{60 \times (G - B)}{V - \text{Min}(R, G, B)}, & V = R \\ \frac{120 + 60 \times (B - R)}{V - \text{Min}(R, G, B)}, & V = G \\ \frac{240 + 60 \times (R - G)}{V - \text{Min}(R, G, B)}, & V = B \end{cases}$$

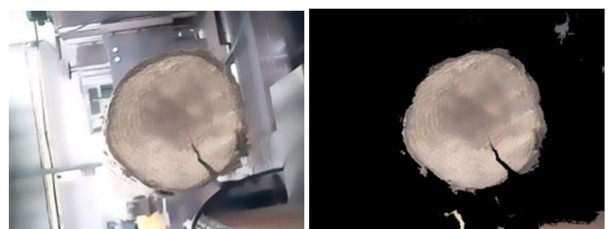
在 OpenCV 中,自定义函数涉及到的算法是对图像的像素进行的操作。

对于一幅 RGB 彩色图像,其像素通道有 3 个。按照 RGB 转换 HSV 的公式即可得到以 HSV 颜色模型储存的彩色图像。

2) 清除复杂背景

一般地,图像的中心区域是感兴趣区域,背景分布在图像周围。颜色分割的阈值与图像中心密切相关。为了最大程度地减少图像处理的容错率,选择图像中心的一定领域范围作为核函数,将核函数的平均值作为颜色分割的标准阈值。

利用颜色分割的图像如图 5 所示。



(a) 双边滤波的图像

(b) 颜色分割的图像

图 5

2.3 边缘检测

边缘特征是图像的一种重要特征,图像的边缘往往是灰度值变化剧烈的地方,而这些变化往往是由物体的形状结构、外部光照环境决定的。用于边缘检测的算子有 Roberts, Sobel, Prewitt, Kirsch, Laplacian 等,但这些算子对于噪声十分敏感,要求较高的信噪比,因此实际应用中往往受到很大限制。本文方法采用 Canny 边缘检测算法。

2.3.1 原理

Canny 算子是一种通过最优边缘检测器的数学特性,是对信噪比与定位乘积的最优化逼近算子。Canny 算子首先通过高斯卷积对图像进行高斯平滑,目的是抑制噪声;然后对平滑后的图像进行微分操作,目的是增强边缘;再通过非最大抑制算法寻找图像中可能的边缘点;最后通过双门限值递归寻找图像边缘点和连接目标边缘。

Canny 算子给出了 3 种性能标准:

1) 低错误率准则:所有的边缘都应被找到,并且应该没有伪响应,即检测到的边缘必须尽可能是真实的边缘。

2) 高边缘点定位精度准则:已定位边缘点必须尽可能接近真实边缘,即由检测器标记为边缘的点与真实边缘的中心之间的距离应该最小。

3) 单一边缘点响应准则:对于真实的边缘点,检测器仅返回一个点,即真实边缘周围的局部最大数应该是最小的,这意味着在仅存一个单一边缘点的位置,检测器不应指出多个边缘像素^[13]。

定义滤波器的冲击响应为 $f(x)$,要检测的边缘为 $G(x)$,假定边缘在 $M[i, j]$ 处。边缘点处滤波器的响应可由以下公式得到:

$$H_G(x) = \int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx$$

假定有限冲击响应在区间 $[-w, +w]$ 内,噪声为 $n(x)$,噪声的响应平方根如下:

$$H_n(x) = n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}$$

其中, n_0 为单位长度上噪声振幅的均方。边缘检测的输出信噪比为:

$$SNR = \frac{|\int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}}$$

定位精度准则:检测出的边缘位置离实际边缘最近。定位精度准则的定义如下:

$$Localization = \frac{|\int_{-w}^{+w} G'(-x)f'(x)dx|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f'^2(x)dx}}$$

其中, $G'(-x)$ 和 $f'(x)$ 分别表示 $G(-x)$ 和 $f(x)$ 的一阶微分。检测出的边缘离实际边缘位置越近, $Localization$ 越大^[14]。

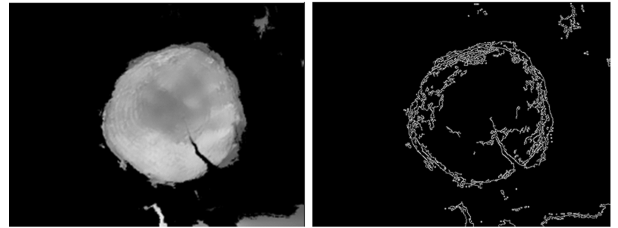
Canny 算子的边缘检测步骤如下:

- 1) 使用高斯滤波器对原图像进行滤波;
- 2) 对滤波后的图像求梯度幅值以及梯度向量;
- 3) 对梯度图像进行非最大值抑制操作,剔除非最大值的像素点;
- 4) 确定高、低阈值并结合连接分析方法确定图像最终的

边缘,高、低阈值大小的选择对检测得到的边缘质量有着关键性影响。

2.3.2 基于 OpenCV 的 Canny 函数

OpenCV 的 Canny 函数是 `cvCanny()`。利用 Canny 算子处理的图像如图 6 所示。



(a) 颜色分割图像

(b) 经过 Canny 边缘检测后的图像

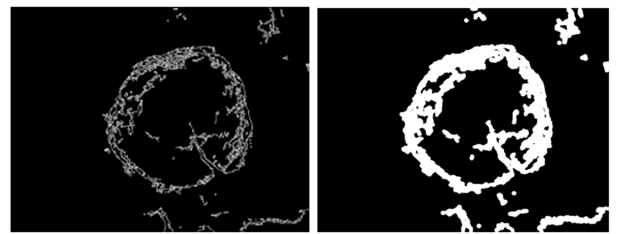
图 6

2.4 形态学处理

本文方法只采用了形态膨胀,目的是弥补原木中缺损的部分和增强边缘,以提高椭圆的拟合程度。

膨胀是将一些图像通过核函数进行卷积,核可以是任何的形状或大小,它拥有一个单独定义的参考点。多数情况下,核是一个小的中间带有参考点的实心正方形或圆盘。核可以视作模板或者掩码,膨胀即是求局部最大值。

使用膨胀算法后得到的图像如图 7 所示。



(a) Canny 边缘检测后的图像

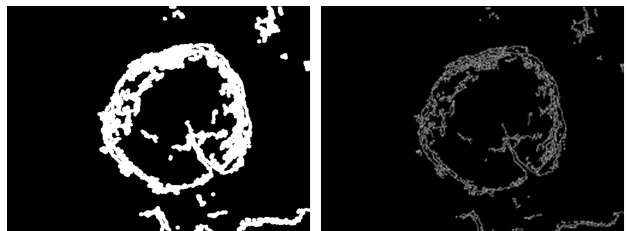
(b) 经过膨胀处理后的图像

图 7

2.5 提取轮廓 & 找到面积最大的轮廓

拟合椭圆是基于轮廓要素来形成的算法。在拟合椭圆之前,需要提取目标体的轮廓。因为图像自身的复杂性,提取的轮廓会有很多,结合圆木边缘检测的特征,最大面积的轮廓基本是与圆木边缘重合的。

基于 OpenCV 的提取轮廓函数,利用 `cvFindContours()`找到轮廓并储存在特定的序列变量中,再利用 `cvDrawContours()`将轮廓在图片中展现,经过轮廓提取后的图像如图 8 所示。



(a) 经过膨胀处理后的图像

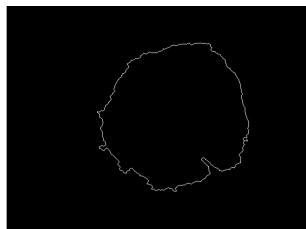
(b) 经过轮廓提取的图像

图 8

利用轮廓序列的线性表数据结构找到最大轮廓序列。基于 OpenCV 的 `cvContourArea()` 函数获取各个序列围成的面积并取出最大面积所代表的序列,经过面积筛选后的图像如图 9 所示。



(a) 经过轮廓提取的图像



(b) 经过最大面积筛选后的图像

图 9

2.6 拟合椭圆

基于 OpenCV 的 `cvFitEllipse()` 函数和 `cvEllipse()` 函数对序列轮廓进行椭圆拟合,拟合后的图像如图 10 所示。

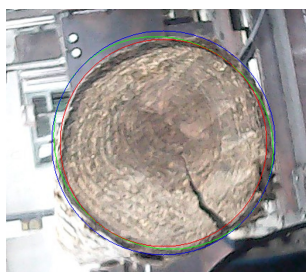


图 10 经过椭圆拟合后的图像

灰色的椭圆是最终拟合后的几何图形,即需要提取的轮廓。白色的圆是以灰色椭圆的短半轴为半径形成的;黑色的圆是以灰色椭圆的长半轴为半径形成的。

3 实验验证

本实验样本通过野外采集和工厂采集两种方式获得,因原木的不规则性,通过目视分析法来评估算法的准确性和有效性。

图 11—图 13 是在工厂采集的图像。

人为地小幅度抖动摄像头,实现一种抖动状态下的算法分析。从图 11 可以看出,即使在图像略微模糊的情况下,该算法依然能较好地提取出原木的边缘轮廓。该图像的背景不同于正文中的采样图像的背景,更好地验证了在不同环境的复杂背景情况下,该算法的稳健性较好。



图 11 抖动状态下的样本

图 12 的像素是 2340×4160 ,在高分辨率的图像下,该算法能较好地提取原木边缘轮廓,体现了该算法在不同分辨率下的稳健性。



图 12 具有高分辨率的原木样本

图 13 的像素为 640×480 ,在低分辨率的图像下,该算法同样能较好地提取原木边缘轮廓,体现了该算法在不同分辨率下的稳健性。

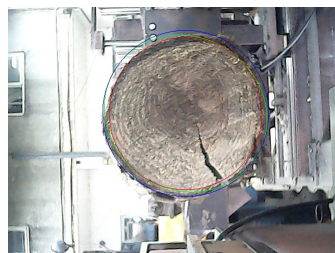


图 13 具有低分辨率的原木样本

表 1 原木径级人工实测值与拟合值对照表

	(单位:像素)			
	长径拟合值	长径人工值	短径拟合值	短径人工值
图 1	159	156	147	142
图 11	257	253	237	226
图 12	247	241	234	225
图 13	160	159	147	158

图 14 给出基于数据的相关验证统计图。

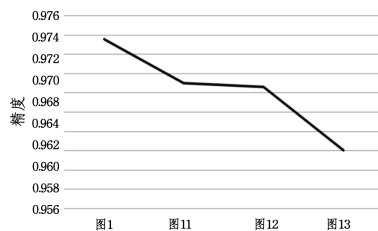


图 14 原木径级人工实测值与拟合值精度对比图

基于统计图的分析,工厂采样的精度基本在 98% 左右,具有很高的精度和容错率。

结束语 该算法在工厂及实验室等背景颜色与原木颜色差异较大的地方适用。其基本思想是对原木图像进行图像预处理、颜色分割、边缘检测、形态学运算、寻找轮廓和拟合椭圆。颜色分割在其中占主要作用。在背景颜色与原木局部颜色相差不大的情况下,即人眼都需要一定时间分辨的情况下,该算法的误差比较大,不适用于这种场景,尤其在背景是其他木头的情况下。如果要达到最理想的效果,可以在原木上涂上纯色比如黑色的油漆,轮廓提取的效果将更加显著。

(下转第 202 页)

- using convolutional neural network[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, MA, USA; IEEE Press, 2015; 1875-1883.
- [6] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]// 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA; IEEE Press, 2005, 1: 886-893.
- [7] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [8] YU Q, YANG Y, SONG Y Z, et al. Sketch-a-net that beats humans[C]// British Machine Vision Conference, BMVC 2015. Swansea, UK; BMVA Press, 2015; 1-12.
- [9] LI Y, HOSPEDALES T M, SONG Y Z, et al. Free-hand sketch recognition by multi-kernel feature learning[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2015, 137: 1-11.
- [10] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. Image net classification with deep convolutional neural networks[C]// Advances in Neural Information Processing Systems. Lake Tahoe, Nevada, USA; IEEE Press, 2012; 1097-1105.
- [11] 王卫, 尹建峰, 孙正兴. 一种手绘草图的快速参数化方法[J]. 计算机学报, 2006, 33(1): 264-268.
- [12] 袁贞明, 金贵朝, 张佳. 基于贝叶斯网络的在线草图识别算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 32-34.
- [13] 尹建峰, 孙正兴. 基于时序的多笔划草图识别[J/OL]. 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn/search/simple?searchType=&searchContent=%25E5%259F%25BA%25E4%25BA%258E%25E6%2597%25B6%25E5%25BA%258F%25E7%259A%2584%25E5%25A4%259A%25E7%25AC%2594%25E5%2588%2592%25E8%258D%2589%25E5%259B%25BE%25E8%25AF%2586%25E5%2588%25AB&searchDate=2003-2018&searchPage=1&searchSubject=%25E5%2585%25A8%25E9%2583%25A8&searchSort=relevant>.
- [14] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[J]. arXivpreprint arXiv: 1409.1556, 2014.
- [15] LECUN Y, BOSER B E, DENKER J S, et al. Handwritten digit recognition with a back-propagation network[C]// Advances in Neural Information Processing Systems. Denver, Colorado, USA; Morgan Kaufmann, 1990; 396-404.
- [16] WANG F, KANG L, LI Y. Sketch-based 3d shape retrieval using convolutional neural networks[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, MA, USA; IEEE Computer Society, 2015; 1875-1883.
- [17] VINYALS O, RAVURI S V, POVEY D. Revisiting recurrent neural networks for robust ASR[C]// 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Kyoto, Japan; IEEE Press, 2012; 4085-4088.
- [18] SUTSKEVER I, MARTENS J, HINTON G E. Generating text with recurrent neural networks[C]// Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning. Bellevue, Washington, USA; MLR. org, 2011; 1017-1024.
- [19] HOCHREITER S, SCHMIDHUBER J. Long short-term memory[J]. Neural Computation, 1997, 9(8): 1735-1780.
- [20] CHO K, VAN MERRIËNBOER B, GULCEHRE C, et al. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation[C]// Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2014. Doha, Qatar; Association for Computational Linguistics, 2014; 1724-1734.
- [21] CHUNG J, GULCEHRE C, CHO K, et al. Gated feedback recurrent neural networks[C]// International Conference on Machine Learning. Lille, France; MLR. org, 2015; 2067-2075.
- [22] CHEN D, CAO X, WANG L, et al. Bayesian face revisited: A joint formulation[C]// 12th European Conference on Computer Vision. Florence, Italy; Springer, 2012; 566-579.
- [23] COLLOBERT R, BENGIO S, MARIËTHOZ J. Torch; a modular machine learning software library[R]. Idiap Research Report, 2002.
- [24] LI Y, SONG Y Z, GONG S. Sketch Recognition by Ensemble Matching of Structured Features[C]// British Machine Vision Conference, BMVC 2013. Bristol, UK; BMVA Press, 2013; 2.
- [25] YU Q, YANG Y, LIU F, et al. Sketch-a-net: A deep neural network that beats humans[J]. International Journal of Computer Vision, 2017, 122(3): 411-425.

(上接第 179 页)

参考文献

- [1] XU Z, WANG J, LIU Y, et al. A review of computer vision development and trends[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2013, 17(6): 1-8.
- [2] 丁建文, 业宁, 王厚立, 等. 运用信息技术提高木材利用率和使用价值[J]. 木材加工机械, 2007, 18(1): 44-46.
- [3] ASILTURK I, UNUVAR A. Intelligent adaptive control and monitoring of band sawing using a neural-fuzzy system[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(5): 2302-2313.
- [4] 梅振荣, 任洪娥, 朱蒙. 基于非线性最小二乘原理的原木端面识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2012(2): 177-178.
- [5] 刘明媚. 基于区域显著性的彩色图像分割[J]. 电子设计工程, 2013, 21(18): 133-135.
- [6] 刘越, 彭宏京, 钱素静. 基于核空间 LLE 的彩色图像分割方法[J]. 计算机学报, 2013, 40(S1): 180-183.
- [7] 梅振荣. 基于端面图像处理的原木径级识别算法研究与实现[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [8] 赵亚凤, 任洪娥. 遗传算法和同态滤波在原木端面图像处理中的应用[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(2): 129-132.
- [9] CHENG H D, JIANG X H, SUN Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12): 2259-2281.
- [10] 景林, 林耀海, 温永仙, 等. 结合色彩特征和空域特征的成捆原木轮廓识别[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(7): 196-199.
- [11] 杨璟, 朱雷. 基于 RGB 颜色空间的彩色图像分割方法[J]. 计算机与现代化, 2010(8): 147-149.
- [12] 刘明媚. 基于区域显著性的彩色图像分割[J]. 电子设计工程, 2013, 21(18): 133-135.
- [13] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(6): 679-698.
- [14] 曾俊. 图像边缘检测技术及其应用研究[D]. 武汉: 华中科技大学图书馆, 2011.
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV#/media/File:HSV_color_solid_cone_chroma_gray.png.