

文章编号 1004-924X(2019)08-1894-07

## 面向线束端子显微图像分割的变指数色度滤波

芦碧波<sup>1,2\*</sup>, 扈天卿<sup>1</sup>, 刘甜甜<sup>1</sup>

(1. 河南理工大学 计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454000;  
2. 广东省数据科学工程技术研究中心, 广东 广州 510631)

**摘要:**为准确检测线束端子显微图像的内径轮廓以进行后续的数据分析,在色度亮度空间中提出一种基于变指数滤波的显微图像分割算法。首先,根据彩色线束端子显微图像颜色分布的特点,将红绿蓝颜色空间中的彩色图像转换到色度亮度空间中,消除光照影响并分离亮度和色度信息,并将色度信息转换到色度球体上;然后在全变分模型的基础上,构造了一种色度球体上的变指数变分模型对色度信息进行滤波,其中变指数函数具有结构自适应性质;接着通过分析单色通道的边缘检测结果,选择在图像的红色通道中使用 Canny 算法进行边缘检测;去除虚假的不连续边界曲线后,得到最终的内径轮廓。实验结果显示,本方法所得端子内径轮廓周长与手工测量相比,偏差小于 0.5%。本文算法得到的线束端子内径轮廓、周长等数据准确。

**关键词:**图像分割;颜色空间;色度变换;线束端子;变指数色度滤波

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20192708.1894

## Variable exponential chromaticity filtering for microscopic image segmentation of wire harness terminals

LU Bi-bo<sup>1,2\*</sup>, HU Tian-qing<sup>1</sup>, LIU Tian-tian<sup>1</sup>

(1. College of Computer Science and Technology of  
Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. Guangdong Engineering Research Center for Data Science, Guangzhou 510631, China)

\* Corresponding author, E-mail: lubibojz@gmail.com

**Abstract:** To accurately determine the inner diameter contour of a microscopic image of a harness terminal for subsequent data analysis, a microscopic image segmentation algorithm based on variable exponential filtering is proposed in a chromaticity-brightness space. First, based on the color distribution characteristics of the microscopic image of a color wire harness terminal, color images in the red, green, and blue color space are converted to the chroma brightness space. In addition, lighting effects and separate luminance and chrominance information are eliminated, and chrominance information is converted to chroma spheres. Next, based on the total variation model, a variable exponential variational model on a chromaticity sphere is constructed to filter the chrominance information, where the variable exponential function is shown to have structural adaptive properties.

**收稿日期:**2018-12-18; **修订日期:**2019-02-02.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(No. U1404103); 2016 年度河南省高等学校重点科研项目资助计划(No. 16A520053); 河南理工大学博士基金项目(No. B2016-40)

Then, following analysis of the edge detection result of the monochrome channel, the Canny algorithm is used to perform edge detection in the red channel of the image. After the false discontinuous boundary curve is removed, the final inner diameter contour is obtained. Experimental results show that the circumference of the inner diameter of the terminal obtained by this method is compared with the manual measurement, and the deviation is less than 0.5%. The data regarding the inner diameter contour and circumference of the terminal obtained by the algorithm are also shown to be accurate.

**Key words:** image segmentation; color space; chromaticity transformation; harness terminal; variable exponential chroma filter

## 1 引 言

线束广泛应用于汽车、家用电器、计算机和通讯设备、各种电子仪器仪表等多个产业和领域<sup>[1]</sup>。线束之间连接端子的质量是整个电子系统正常运行重要保障,为此需要对线束端子进行严格的质量检测。利用线束端子彩色显微图像提取线束特征并进行测量是质量监控的一个重要方面。为得到完整清晰的线束端子横截面显微图像,首先对其截面进行抛光、腐蚀、清洗等一系列操作,然后利用显微镜得到彩色图像,再通过数字图像处理技术提取目标的周长、面积等相关数据。经上述过程得到的线束端子显微图像,受到工艺水平、光照等不良因素的影响,端子部分与背景部分、线束外径与内径部分在视觉上的区别不明显,影响了后续的边缘提取。

为了研发线束端子在线监测设备,李秀娟等人结合机器视觉采集目标图像,并利用了HALCON中的相关算子<sup>[2]</sup>;胡建化等人通过对端子进行拉力检测、压接类别归纳等物理实验,制定了一套完整的端子压接质量检测标准<sup>[3]</sup>;芦碧波等人用水平集方法并将图像转换至Lab空间处理,由此提出了利用水平集分割线束端子显微图像的内外径轮廓<sup>[4]</sup>。

合理选择颜色空间是彩色图像处理的一个基本问题。近年来,根据问题需要和场景特点,研究人员在不同的颜色空间中考虑分割问题。张辰等人选择将彩色原始图像由RGB转换至HSV空间,研究彩色图像分割方法<sup>[5]</sup>;邢致恺等人考虑将获得的原始油污彩色图像分别转换到Lab颜色空间和YUV颜色空间后,再进行分割操作<sup>[6]</sup>。王志豪等人 and 周千等人则都考虑在CB空间(Chromaticity-Brightness space)中消除图像噪声<sup>[7-8]</sup>。

重点分析线束显微图像颜色的分布特征,本文考虑在亮度色度空间中考虑线束端子图像的分割问题。首先将目标显微图像从彩色RGB空间转换至色度亮度空间中,然后构造出一种变指数色度滤波模型对图像进行滤波,达到消除色度不均匀的目的,最后进行边缘检测,得到较为完整的线束端子边界。

## 2 色度亮度颜色空间

彩色图像在RGB颜色空间展示时受到光照等外界影响较大,会影响后续的图像分析和识别。本文考虑使用色度亮度空间来表示分离色度和亮度的信息,其中C表示颜色的色度,B表示颜色的亮度,具体定义如下:

$$Br = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2},$$

$$C = \{R/Br, G/Br, B/Br\} = \{r, g, b\},$$

式中:R,G,B分布代表彩色图像红绿蓝3个单色通道的亮度值,亮度信息Br为标量图像;色度C为三维矢量图像,注意到 $\sqrt{r^2 + g^2 + b^2} = 1$ ,因此色度长度为1。RGB颜色空间中的向量都在颜色立方体内部,而色度亮度空间中色度向量的终点均在色度单位球的表面。

选择合适的颜色模型可以将图像中的色度与亮度进行分离,消除光照对感知的干扰,帮助研究人员更好的理解场景中的信息。图1给出彩色条纹裙子图像及其对应的色度图像。由于光照和其他生物学因素的影响,部分观察者认为图1(a)中裙子颜色为蓝黑相间,部分观察者认为裙子的颜色为白金相间。当把RGB空间中的彩色图像转换到CB空间后,图1(b)图色度空间中裙子的颜色为金色和蓝色相间,观察者对这一说法不再存

在分歧。由此可见,色度空间可以有效消除其他因素对颜色的干扰和颜色之间的歧义<sup>[9]</sup>。



(a)RGB 空间中的彩色图像 (b)CB 空间中的色度图像  
(a)Color image in RGB space (b)Color image in CB space

图 1 不同颜色空间中的条纹裙子

Fig.1 Striped skirt in different color spacement

### 3 线束端子显微图像分割

#### 3.1 目标区域分割流程

观察大量彩色线束端子显微图像可以发现,目标区域和绝缘区域的颜色差别在视觉上较为明显,但颜色数值较为接近,并且容易受到因拍摄过程中亮度明暗不一致的干扰,给边缘检测和图像分割带来一定的困难。为此,将输入图像由 RGB 颜色空间转换至 CB 空间中,然后构造变指数色度滤波模型,得到颜色均匀的色度向量图像,最后选择单色通道并进行边缘检测,去除不连续的边界曲线后,得到出线束端子的最终分割结果,具体流程图如图 2 所示。

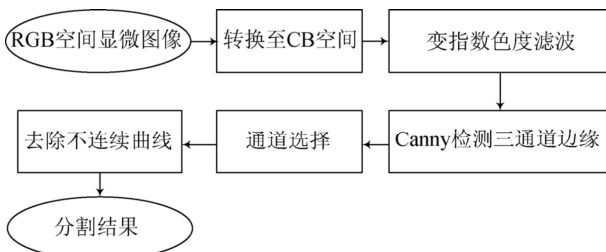


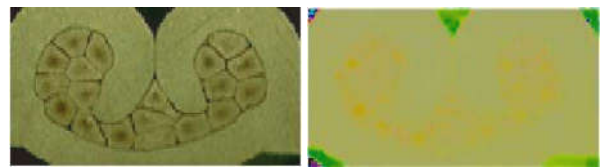
图 2 分割算法流程图

Fig.2 Flowchart of segmentation algorithm

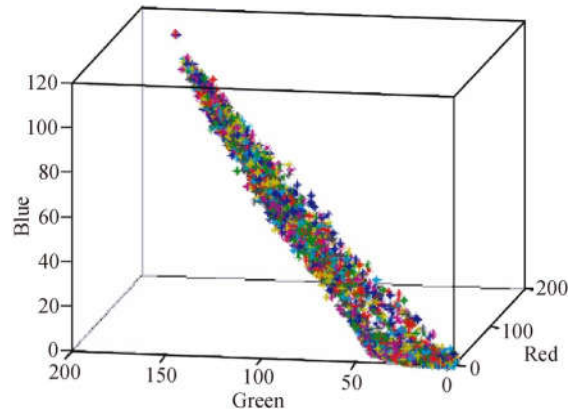
#### 3.2 色度亮度空间转换

图 3 给出一幅线束端子彩色显微图像及其对应的色度图像及对应的颜色信息分布情况。从图 3(a)中可以看出,外径颜色较为均匀,内径内部颜

色整体上与外径内部非常接近,导致在对应的色度分布图 3(c)中,大部分颜色都在一条直线附近,给分割带来较大难度。内部颜色变化较大。将彩色图像转换到 CB 空间中后的色度图像如图 3(b)所示,外径和外径的颜色对比度增大,且内径内部相对均匀,但存在相对轻微的颜色扰动。整幅图像的边角等区域呈现出了与内径外径差异较大的颜色。图 3(c)和图 3(d)分布给出彩色图像在 RGB 空间颜色立方体和色度图像在色度球上的分布情况。可以看出,与 RGB 空间中的颜色分布相比,色度空间中的颜色分布较为分散,降低了图像分割的难度。

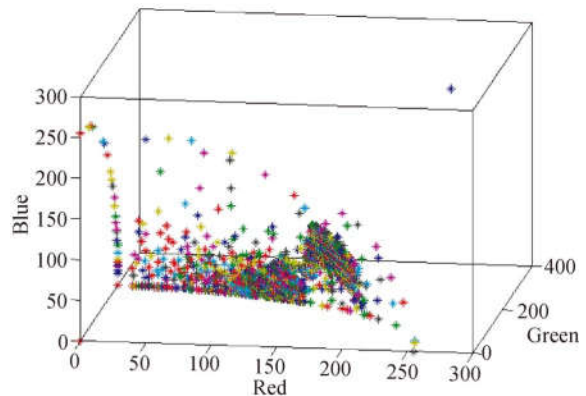


(a)RGB 空间中的彩色图像 (b)CB 空间中的色度图像  
(a)Color image in RGB space (b)Color image in CB space



(c)RGB 彩色立方体

(c)RGB color cube



(d)CB 色度球体

(d)CB color sphere

图 3 不同颜色空间中的颜色分布

Fig.3 Color distribution in different color spaces

### 3.3 变指数色度滤波模型

滤波是数字图像处理涉及到的最为重要的一种算子,衡量算子优劣的准则是边缘平滑清晰并能保持细节信息<sup>[10]</sup>。

由于色度亮度空间转换后目标区域和背景区域以及目标区域的内部都存在着不同程度的噪声。为了提高后续的分割精度,对色度图像进行滤波处理。

本文构造的变指数色度滤波模型如下:

$$\min_c \int_{\Omega} e(C) d\Omega + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} \|C - C^0\|^2 d\Omega, \quad (1)$$

其中  $C = (C_1, C_2, C_3)$  代表该点的色度值。

$$e(C) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \| \cdot C_i \|^p(x,y)}, \quad (2)$$

其中:  $1 \leq p(x, y) \leq 2$ ;  $C^0$  是色度初始值,参数  $\lambda$  调整拟合项和光滑项之间的权重。注意到,当  $p(x, y) \equiv 1$  时,式(2)就是对应的色度全变分模型<sup>[4]</sup>。

使用梯度下降法求解对应欧拉-拉格朗日方程,能够得到如式(3)所示:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \partial_x^* \left[ \frac{C_x}{e(C)} \right] + \partial_y^* \left[ \frac{C_y}{e(C)} \right] + \lambda(C^0 - C), \quad (3)$$

其中  $\partial_x^*$  与  $\partial_y^*$  是单位球上的协变导数。由于  $C$  是嵌入在  $R^3$  空间中的单位球面,只需将  $\frac{\partial}{\partial x}$

$\left[ \frac{C_x}{e(C)} \right]$  投影回  $C$  上的切平面即可求得协变导数:

$$\partial_x^* X = \Pi_C \frac{\partial X}{\partial x}, \quad (4)$$

其中:  $X$  表示  $C$  上的矢量场;  $\Pi_C$  是投影算子。

$$\Pi_C v = v - \langle v, C \rangle C, \quad (5)$$

则由式(3)得:

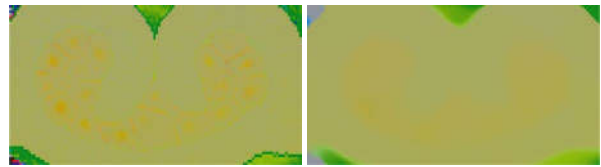
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \cdot \left[ \frac{\cdot C}{e(C)} \right] + e(C)C + \lambda(C^0 - C). \quad (6)$$

为了提高模型的自适应性质,按照图像中像素的局部结构自动调整参数,以决定边缘平滑强弱程度,构造如下自适应变指数函数:

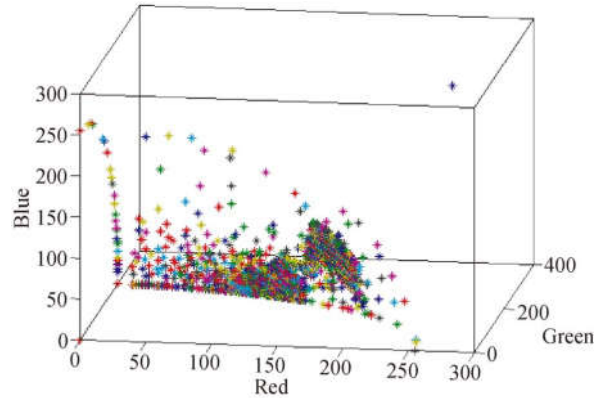
$$p(x, y) = 2 - | \cdot f(x, y) | / \max(| \cdot f(x, y) |). \quad (7)$$

利用有限差分法求解方程(6),对色度图像4(a)进行滤波,滤波后的图像如图4(b)所示,对应的颜色分布情况见图4(c)和4(d)。可以看出,变指数色度模型能够使图像整体更加平滑,并较好保持了内径的边缘信息。由于减少了噪声扰

动,色度向量分布相对集中,颜色分布范围缩小。

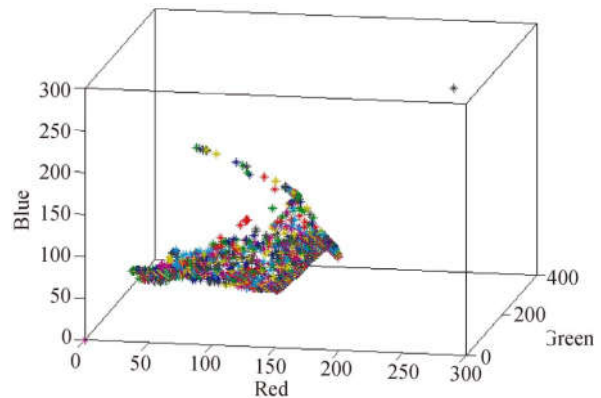


(a)原始色度图像 (b)滤波后色度图像  
(a)Original chromatic image (b)Filtered chromatic image



(c)原色度球体

(c)Original chromatic sphere



(d)滤波后色度球体

(d)Filtered chromatic sphere

图4 原色度图像和变指数色度滤波后图像的比较

Fig. 4 Comparison of primary chroma image and variable exponential chroma filtered image

### 3.4 线束端子边缘检测

本文选用基于最优化算法的边缘检测算子canny进行边缘检测,不同于传统的边缘检测算法抗干扰能力差、边缘划分不够精细等不足,比如Roberts算子、Prewitt算子以及Laplacian算子、LOG算子等,canny算法有较好的检测结果<sup>[11]</sup>。简单来说符合3个准则:信噪比准则、定位精确准则和最小响应准则。

图 5 给出原图 3(a) 的红、绿、蓝 3 个通道中使用 Canny 算子进行边缘检测的结果<sup>[12]</sup>。在图 5(a) 的边缘检测中,绿色通道边缘图 5(c) 根本没有检测到内径轮廓,蓝色通道图 5(d) 的内径曲线存在缺口,红色通道图 5(b) 较为完整连续,更加理想。

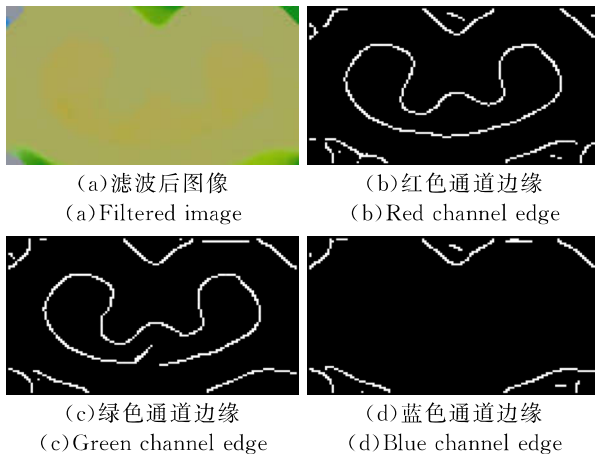


图 5 不同单色通道中的 Canny 边缘检测结果比较  
Fig. 5 Comparison of Canny edge detection results in different monochrome channels

通过实验对比发现,其红色通道易得到最有益于实验进行的完整连续的内部线束端子图像,但是由于虚假边缘的存在,分割结果中包含一些不连续曲线和多余曲线。考虑到线束端子轮廓的特点以及图像已经经过滤波等操作,利用圆度、长度、面积等形状描述子,去掉不连续曲线和多余曲线后,即得到内径轮廓,结果如图 6 所示。



图 6 线束端子轮廓  
Fig. 6 Wire harness terminal contour

#### 4 实验对比及结果分析

本实验结果与 C-V 算法<sup>[4]</sup> 和多水平集算法<sup>[13]</sup> 进行对比,以验证算法结果。实验平台为 Intel Core i5 CPU 处理器、8 GB 内存的计算机,实验在 MATLAB2014a 平台中完成。在用本算法处理了 97 张线束端子显微图像后,给出较为典

型的 3 幅图像的分割对比结果图,如图 7~图 9。

图像 1 对比实验中,图 7(a) 为待分割的线束端子显微图像;图 7(b) 给出 C-V 算法分割结果,由于在拍照时外界因素的不确定性,使得图像色度亮度不均匀,导致大部分目标区域根本没有分割完整,误差极大;图 7(c) 是多水平集的分割结果,可以看出利用多水平集方法分割出了部分区域且线条并不连续,也更加不会完整。图 7(d) 为本文方法处理结果图,不仅分割出了内径轮廓,并且轮廓边沿连续清晰、分割区域完整准确,优势明显。

图像 2 对比实验中,图 8(a) 为待分割的线束端子显微图像;图 8(b) 是使用 C-V 算法的分割结果,可以看到内径轮廓左上角部分被遗漏在外,导致分割目标区域不完整;图 8(c) 是多水平集的分割结果,受光照影响强烈,仅仅只检测到了左下角外轮廓的一小部分,所以既不准确也不完整。图 8(d) 是使用本文方法处理后的实验结果,分割区域连续准确完整,效果理想。

同样在图像 3 对比实验中,图 9(b) 忽略目标区域左半部分导致不完整;图 9(c) 只检测到部分目标区域,不完整。对比发现使用本文方法处理后的图 9(d),优势明显,实验结果理想。

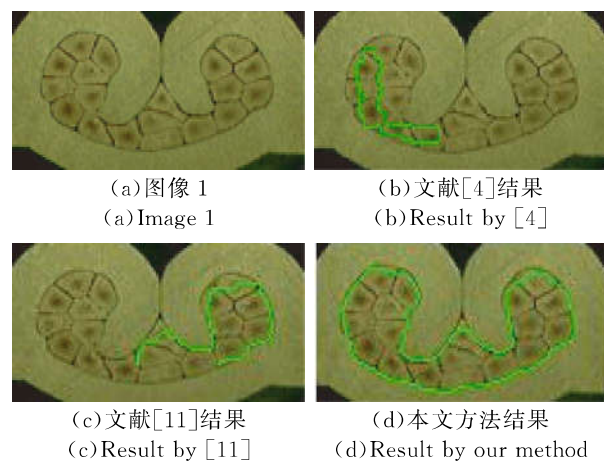
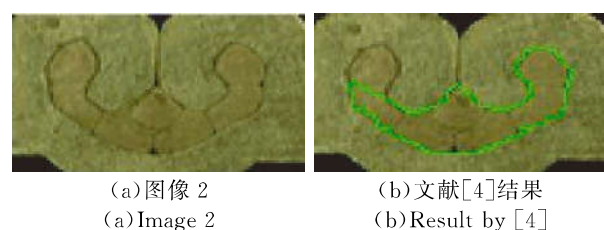


图 7 图像 1 对比实验

Fig. 7 Image 1 comparison experiment



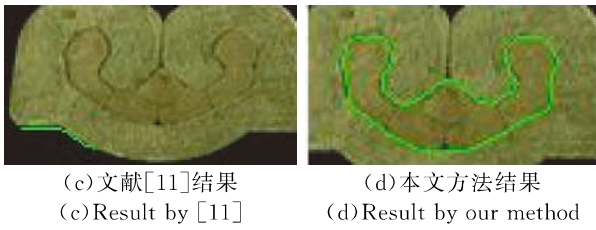


图 8 图像 2 对比实验

Fig. 8 Image 2 comparison experiment

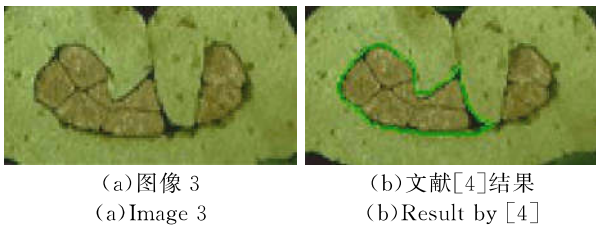


图 9 图像 3 对比实验

Fig. 9 Image 3 comparison experiment

表 1 为本文方法分割出的轮廓周长与利用 Photoshop 手工测绘所得轮廓周长的数据对比。表 1 以图像 1~3 为例计算偏差比,表中的轮廓长度以像素个数作为参考。由表 1 可见,内径轮廓的偏差都能控制在 1% 以内,达到满意的效果。

参考文献:

[1] 刘振超,谷孝卫,周锋,等. 浅析汽车线束布置设计及原则 [J]. 汽车电器,2016(2):12-13.  
LIU ZH CH, GU X W, ZHOU F, *et al.*. Design and the principle of automotive wiring harness layout [J]. *Auto Electric Parts*, 2016(2):12-13. (in Chinese)

[2] 李秀娟,李贝贝,于心俊. 线束端子在线检测系统 [J]. 自动化仪表, 2015, 36(6):65-68.  
LI X J, LI B B, YU X J. Online detection system of wire harness terminal [J]. *Process Automation Instrumentation*, 2015, 36(6):65-68. (in Chinese)

[3] 胡建华,王莹. 车用线束端子压接工艺研究 [J]. 汽车零部件, 2010(10):64-67.  
HU J H, WANG Y. Research on crimping process of automotive wire harness terminals [J]. *Auto Parts*, 2010(10): 64-67. (in Chinese)

下式计算本文算法的偏差比:

$$\delta_{\text{devi}} = \frac{\alpha - \beta}{\beta} \times 100\%, \quad (12)$$

式中: $\alpha$ 是本文算法分割出的内径轮廓周长; $\beta$ 是人工检测出的内径轮廓周长; $\delta_{\text{devi}}$ 为本文算法偏差比。

表 1 内径轮廓实验偏差

Tab. 1 Deviation of the inner contour

名目	图 7(a)	图 8(a)	图 9(a)
人工周长/px	267	171	165
本方法周长/px	276	174	173
偏差/%	0.033	0.018	0.048

5 结 论

本文从线束端子显微图像的颜色分布特点入手,分析其内径轮廓的边缘检测及分割面临的挑战和难度,然后引入色度亮度空间分离亮度和色度信息。为了提高分割的准确率,对球面上的 TV 模型进行改进,提出自适应的变指数色度滤波模型,最后利用 Canny 算子分割红色通道,并结合数学形态学的相关算法,实现了对线束端子显微图像的自动分割。最后将本文结果相关算法进行比较,结果表明,在 CB 空间中利用变指数色度滤波技术,可以准确完整的分割出线束的内部轮廓,且长度误差控制在 0.5% 以内。

[4] 芦碧波,刘利群,郑艳梅,等. 一种线束端子显微图像全自动分割方法 [J]. 光学工程,2016, 43(10): 49-55.  
LU B B, LIU L Q, ZHENG Y M, *et al.*. A automatic segmentation method of wire terminals microscopic image [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, 43(10):49-55. (in Chinese)

[5] 张辰,杨文柱,刘召海. 基于 HSV 综合显著性的彩色图像分割方法 [J]. 计算机工程与设计,2013,34 (11):3944-3947.  
ZHANG CH, YANG W ZH, LIU ZH H. Color image segmentation method based on HSV comprehensive saliency [J]. *Computer Engineering and Design*, 2013, 34(11):3944-3947. (in Chinese)

[6] 邢致恺,贾鹤鸣,邢国军,等. 基于 Lab 和 YUV 颜色空间的油污图像分割研究 [J]. 中国新技术新产品,2017(23):4-5.

- XING ZH K, JIA H M, XING G J, *et al.*. Research on image segmentation of dirty oil based on Lab and YUV color space [J]. *China's new technology and new products*, 2017 (23): 4-5. (in Chinese)
- [7] 王志豪, 汪继文. 一种基于 CB 模型的彩色图像分割方法 [J]. *计算机技术与发展*, 2008(5): 44-46.  
WANG ZH H, WANG J W. A color image segmentation method based on CB model [J]. *Computer technology and development*, 2008 (5): 44-46. (in Chinese)
- [8] 周千, 李文胜. 基于 CB 模型的彩色图像混合噪声去除方法 [J]. *河南科学*, 2016, 34(7): 1037-1043.  
ZHOU Q, LI W SH. Color image mixing noise removal method based on CB model [J]. *Henan Science*, 2016, 34(7): 1037-1043. (in Chinese)
- [9] NICOLAS B, BALAZS K, SYLVAIN P, *et al.*. Intrinsic decompositions for image editing [J]. *Computer Graphics Forum*, 2017, 36(2).
- [10] 王健博, 杨航, 吴笑天. 结合图像分割的改进引导滤波 [J]. *液晶与显示*, 2017, 32(5): 380-386.  
WANG J B, YANG H, WU X T. Improved guided filtering combined with image segmentation [J]. *Liquid Crystal & Display*, 2017, 32(5): 380-386. (in Chinese)
- [11] 邓仕超, 刘铁根, 萧泽新. 应用 Canny 算法和灰度等高线的金相组织封闭边缘提取 [J]. *光学精密工程*, 2010, 18(10): 2314-2323.  
DENG SH CH, LIU T G, XIAO Z X. The closed edge extraction of metallographic structure using Canny algorithm and gray contour [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(10): 2314-2323. (in Chinese)
- [12] 侯守明, 王阳, 唐琪博, 等. 一种基于偏微分方程和 Canny 算子的图像分割方法 [J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2017, 40(4): 676-682.  
HOU SH M, WANG Y, TANG Q B, *et al.*. An image segmentation method based on partial differential equations and Canny operator [J]. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2017, 40(4): 676-682. (in Chinese)
- [13] LI CH M, RUI H, DING ZH H, *et al.*. A level set method for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities with application to MRI [J]. *IEEE Transactions on Image Processing* (S1057-7149), 2011, 20(7): 2007-2016.
- [14] 侯守明, 唐琪博, 谷孝卫. 基于 C-V 模型的线束端子断面测量系统设计 [J]. *测控技术*, 2015, 34(10): 42-45+49.  
HOU SH M, TANG Q B, GU X W. Design of wire harness terminal section measurement system based on C-V model [J]. *Measurement & Control Technology*, 2015, 34(10): 42-45+49. (in Chinese)
- [15] ZHANG Y Q, CHEN H, WANG L, *et al.*. Color image segmentation using level set method with initialization mask in multiple color spaces [J]. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 2011, 1(4): 70-76.

#### 作者简介:



芦碧波(1978—),男,河南焦作人,博士研究生,副教授,2005年、2008年于吉林大学分别获得硕士、博士学位,主要从事色调映射、图像去噪、图像分割、图像融合方面的研究。E-mail: lubibojz@gmail.com



扈天卿(1995—),女,河南焦作人,硕士研究生,2018年于河南师范大学获得学士学位,主要从事图像分割方面的研究。E-mail: hutianqing1995@126.com