

# 面向视觉假体的复杂图像处理技术

贺瑞芳

(西安工程大学 电子信息学院 西安 710048)

**摘要:** 为了更准确地提取视觉假体采集的复杂图像中的信息,提出了一种基于视觉显著性的复杂图像视觉焦点检测和基于多尺度信息融合的图像边缘特征提取算法。算法首先利用 GB 算法计算复杂图像显著性图,然后利用双阈值分割和形态学方法提取出复杂图像中的视觉焦点区域。其次,针对传统边缘检测中单尺度微分算子的不足,提出了融合多尺度 Sobel 的边缘检测方法。提出的复杂图像处理策略既简化了图像信息编码的复杂度,又提高了边缘提取算法的噪声稳健性。

**关键词:** 视觉假体; 图像处理; 显著性; 多尺度; 边缘检测

**中图分类号:** TP391.4    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Complex image processing techniques for visual prosthesis

He Ruifang

(School of Electronic Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In order to extract the information in the complex image of the visual prosthesis more accurate, a new focus sub-image extraction method based the visual saliency and new edge detection algorithm fusing multi-scale information of image edge strength are proposed. Firstly, it uses the GB method to calculate the image saliency map, and applying the double thresholding on the saliency map, the initial segmentation is modified by the morphology processing and the focus sub-image is obtained finally. Secondly, considering the deficiencies of traditional single scale edge detection, the edge detection based on the fusion information of the muti-scale Sobel operators is proposed. The proposed complex image processing strategy not only simplifies the complexity of the encoding image information, but also improves the noise robustness of edge extraction algorithm.

**Keywords:** visual prosthesis; image processing; significant; multi-scale; edge detection

## 1 引言

人类获得外部信息的 70% 以上来自视觉,视觉缺陷会人的生活带来极大的影响。人们已经通过各种方式来改善甚至恢复失明或视力低下患者的视觉感知能力,比如药物治疗、干细胞移植等。视觉缺陷的本质原因是视觉系统通路被阻断,外部视觉信息无法传入视觉神经<sup>[1]</sup>。随着电子科技、仿生学和基础物理学等领域的发展,类似人工耳蜗的视觉假体系统的研究和开发已经成为了视觉修复技术一个新的研究热点。视觉假体技术<sup>[2]</sup>属于功能电刺激的一种,它通过在视觉通路中完好部位施加特定的人工刺激,使人产生光幻视。完整的视觉假体技术包含外部摄像机、图像处理模块和编码模块以及多电极阵列<sup>[3]</sup>。其中图像处理模块的作用是将外部摄像机捕捉的场景图像进行处理,传输给图像编码模块。由于电极制造工艺、植入体等封装

等方面技术的限制,目前电极阵列中电极数目仍然有限,这使得假体中电极阵列只能刺激产生有限数量的光幻视。那么图像处理模块的输出结果要在简化图像的同时提取出适合后期编码传输及适合识别的图像特征信息。实际中的图像场景复杂程度不同,传统的处理算法中,对于简单图像和相对复杂的图像可以处理得到较满意的结果。对于包含纹理或者多个景物的场景,传统方法提取的特征冗余信息过多,给后期编码和最终识别带来困难。

目前,针对复杂图像处理的一个有效策略就是确认图像的视觉焦点<sup>[4]</sup>,并提取以焦点为区域的子图。此时,子图的复杂程度近似简单图像,就可以使用简单图像处理策略进行后期特征提取。由于图像边缘特征可以很好地描述图像的场景轮廓,并且大大简化了图像编码的复杂度。因此,特征提取时会使用边缘检测算子,如 canny<sup>[5]</sup>和 Sobel<sup>[6]</sup>,来提取图像的边缘信息。考虑到系统实时性能,视觉假体中

边缘算子一般使用 Sobel 算子。Li<sup>[7]</sup>提出了基于视觉注意机制的低像素化处理策略。Boyle 等提出了基于 ROI 的图像处理策略,算法将图像场景分为不同类,并采用不同的 ROI 窗口策略处理图像。在比较几种显著性算法的基础上,本文使用性能最好的基于图论的视觉显著性(graph-based visual saliency, GBVS)的显著图<sup>[8]</sup>,结合阈值分割和形态学方法,可以很好地提取出复杂图像中的焦点子图。在边缘提取中,提出了融合多尺度 Sobel 梯度强度的边缘检测方法。该方法避免了单尺度边缘算子的不足,具有更好的噪声鲁棒性和边缘检测准确度。

## 2 视觉假体图像处理流程

视觉假体图像处理模块主要包括以下几个步骤,如图1:预滤波和增强、图像降采样、边缘提取及图像形态学修正。

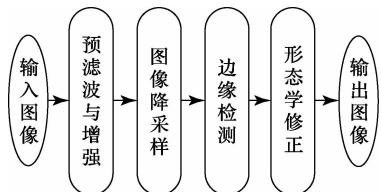


图1 视觉假体图像处理的一般流程

受到外摄像机本身噪声和传输电路噪声的影响,获取的场景图像会含有噪声。如果受到场景光照或物体表面反射的影响,也会得到对比度不均匀的图像。图像预处理目的就是降低这些因素的影响。它包括图像预滤波和增强。图像预滤波可以通过滤波器卷积图像消除噪声影响,最常用的是高斯空域滤波。而图像增强目的是突出图像中某些信息,而削弱甚至剔除不需要的信息,本文中使用的最常用的图像直方图均衡化。

在视觉假体图像处理中,为了保持图像处理的实时性,通常会图像降采样到一定分辨率。Ying 等<sup>[9]</sup>通过实验验证了当分辨率降低到  $4 \times 4$  时,可以识别简单的符号;当分辨率降低到  $32 \times 32$  时,已经可以识别大多数简单图像中的物体。在实际中,考虑到物体识别率和电极数目,通常会将原始图像降采样到分辨率为  $32 \times 32$  大小。

为了进一步降低最终编码的复杂度,对低分辨率图像使用边缘检测算子提取图像的边缘特征,边缘既包含丰富的图像信息,又容易编码。通常使用的是单尺度的 Sobel 算子。相比 Roberts、Prewitt 算子而言,Sobel 具有很好的检测性能和抑制噪声能力,同时比经典的 Canny<sup>[5]</sup>算子的运算复杂度低很多。

提取出来边缘像通常会比较细,也会存在一些断裂的边缘。此时,形态学算法可以很好的修正上述情况。常用的形态学算子有膨胀、腐蚀、开运算和闭运算<sup>[6]</sup>。

一般情况下的简单图像经过上述处理后,就可以实现视觉假体图像处理模块的提取特征的目的。经过后面编码模块将提取的特征进行编码,然后通过无线通信传递给患者的植入体中的微电极模块。然后驱动电极阵列对中的微电极对神经细胞进行电刺激,使患者产生光幻视,达到识别场景的目的。然而,实际的场景一般都比较复杂。主要包括两个方面,首先场景中常会包含一些纹理背景或者其他干扰目标,干扰了后期边缘特征的提取,为识别场景带来很大困难。其次当场景中物体比较小时,比如较远处的物体,物体的边缘轮廓会在整体图像中变小,这也给检测特征和识别带来难度。一种有效地处理方法就是:首先检测出复杂图像中的视觉焦点,这些视觉焦点往往就是人视觉关注的物体。再以此焦点为中心提取复杂图像中一定区域的子图,这个子图包含局部物体,它往往是简单图像。这样就可以使用图1中简单图像处理流程进行处理。这样一方面可以减少背景对检测结果的影响,一方面从子图中直接提取的信息比原始复杂图像更多。

## 3 结合图像显著图和阈值决策的焦点子图

视觉假体复杂图像的处理关键就是图像焦点子图的提取。而图像显著性图就可以用来进行视觉焦点的确认。图像显著性是在研究人的视觉注意机制基础上,对图像进行一定的操作,使得图像中被视觉注意的区域突出显示,而其他区域则被模糊或忽视。从图像显著性被提出以来,已经出现了多种显著性用于提取图像中显著特征的算法。在众多算法中选择一种合适的显著性算法十分重要。比较典型的算法有 ITTI<sup>[10]</sup>、GB(grap-based)<sup>[8]</sup>、AC<sup>[11]</sup>和 SR<sup>[12]</sup>等。其中 GB 显著性检测算法是 ITTI 算法的改进,检测出来的显著性区域更一致,区分度较高,方便后期的焦点区域的分割。

基于图像的 GB 显著性分析算法是一种自底向上的视觉显著性模型。GB 是根据马尔科夫链来计算显著性的。在 GB 的最后一步根据特征图中的所有点形成新的图,并在该图上定义马尔科夫链,利用节点的两两对比计算得到显著值从而得到显著图。设特征图中的两个点为  $A:(i,j)$ ,  $B:(p,q)$ , 则两点形成的边的权重定义为公式(1):

$$\omega(A,B) = d(A \parallel B) \times F(i-p, j-q) \quad (1)$$

式中:  $d(A \parallel B) = \left| \log \frac{M(i,j)}{M(p,q)} \right|$ ,  $F(a,b) = e^{-\frac{|a-b|}{\sigma}}$ ,  $M(a,b)$

表示特征图中坐标  $(a,b)$  处的像素值,  $\sigma$  取值为  $\frac{1}{10}$  到  $\frac{1}{5}$ 。

图2是4种经典的显著性检测算法的对于实际图像的检测对比,可以看出 GB 显著性算法能够更加准确地刻画出图像的显著性区域,并且提取的显著性图可以很好地刻画背景与目标。因此,本文基于 GB 显著性算法来提取图像的显著图。

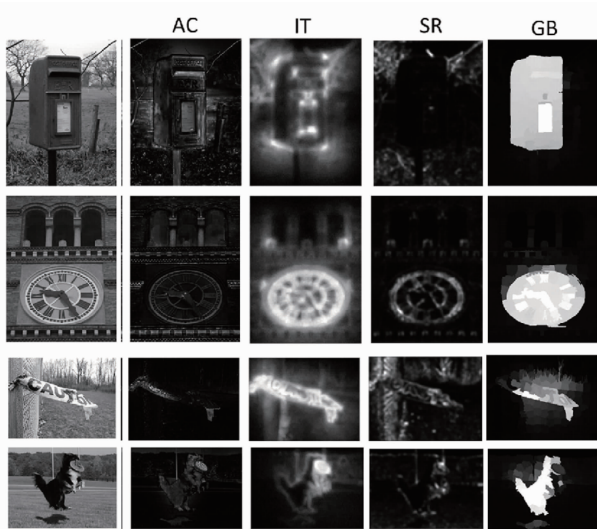


图 2 4 种显著性算法比较

在提取的显著性图的基础上,使用分割算法提焦点区域。由于显著性图的背景和角点区域区分比较明显,可以使用经典的阈值分割方法进行分割。单阈值分割容易导致严重的过分割或欠分割。比如,在图 2 中的第三幅图的显著性图中,角点区域的显著性值虽然比背景大,但在焦点区域内部存在一定差异。为了更好的处理这种情况,本文采用基于双阈值的显著图分割<sup>[5]</sup>,基本思想是:根据显著图中所有值的统计特性,对其进行统计排序,设置初始分割的高阈值为排序后 70% 处的像素的显著性值,而低阈值是高阈值的 40%。然后,将图像中显著性数值大于高阈值的像素设为强目标,将图像中显著性数值大于低阈值但小于高阈值的像素设为弱目标。当弱目标像素和强目标像素之间连通时,将该弱目标像素加入到强目标像素集合中。直到遍历完所有弱目标,此时的强目标像素集合就是初始分割结果。图 3 是一幅显著图使用该分割方法后的初始分割,可以看出分割后的焦点区域基本包含焦点目标。但是由于图像中像素间的相关性影响,在区域边界附近存在毛刺,有时还会有伪目标。



图 3 双阈值初始分割

利用形态学方法<sup>[13]</sup>对初始分割进行修正排除伪目标的影响。形态学闭运算可以填充区域中间的空洞,开运算可以去除区域边界附近的细小毛刺。经过形态学开闭运算后的区域图可能包含一些未被消除的小区域。为了排除这些小区域的影响,通过统计各个区域的像素数目,像素数目

最多的区域就是焦点区域,其他的区域予以剔除,如图 4。



图 4 形态学开运算处理和伪目标区域去除结果

最后,通过计算分割后目标区域的外接矩形,将原始复杂图像中对应于矩形区域的部分提取出到焦点子图。图 5 显示的是图 2 中所有图像经过处理后提取的最终子图。

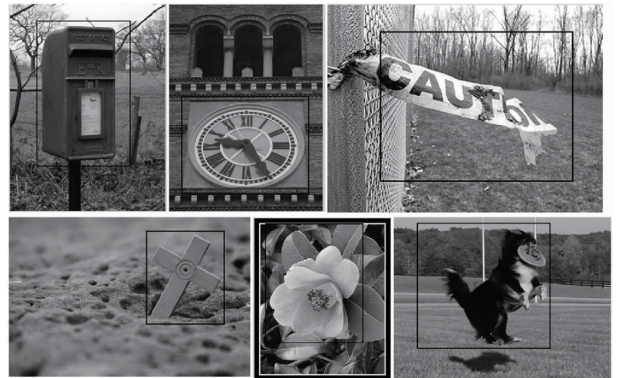


图 5 实际复杂图像的焦点子图检测

#### 4 多尺度边缘检测

在对子图进行提取后,可以获得简单图像进行边缘特征的提取。边缘作为重要的图像特征,一直都有新的算法被提出。边缘检测算法大体上可以分为基于微分的边缘检测、基于小波的边缘检测、基于形态学的边缘检测<sup>[14]</sup>和新兴的边缘检测<sup>[15]</sup>。

基于微分的边缘检测的基本步骤是滤波、增强、检测和定位。其中增强是使图像中的边缘突出,便于接下来的检测和定位。而基于微分的边缘检测算法就是利用微分算子来增强边缘的。考虑到图像处理的实时性,视觉假体图像处理中使用到的微分算子是 Sobel 算子。边缘检测模板大小就是检测算子的尺度,尺度越小,相对应的算子的模板越小。视觉假体图像处理中一般使用的是基于单尺度的微分算子来检测边缘。但是,小尺度算子检测的边缘像素定位精度较高,但对噪声很敏感;大尺度的算子的噪声鲁棒性较好,但是其边缘定位精度就比较低。而多尺度方法可以避免这个问题。边缘检测算法能够在不同尺度因子下对图像边缘检测,对各个尺度下的边缘检测结果进行一系列处理,根据不同的需要,综合各尺度因子的处理结果。多尺度边缘检测是基于图像的多尺度空间描述理论的。Lindeberg<sup>[16]</sup>在图像尺度空间基础上,分析了不同尺度下边

缘的特性和联系。

假设原始图像为  $f(x, y)$ , 使用尺度为  $\sigma$  一阶微分算子提取图像的梯度  $\nabla f$ 。那么图像的梯度定义为式(2):

$$\nabla f = \begin{bmatrix} -G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中图像水平梯度分量  $G_x$  和垂直梯度分量  $G_y$ , 梯度的幅值和梯度方向为式(3):

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} = [(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2]^{1/2} \quad (3)$$

对于梯度幅值的阈值化, 就可以得到图像的边缘。图6是在不同尺度的 sobel 算子下提取的含噪声方差为  $\epsilon^2 = 100$  的噪声图像的边缘。

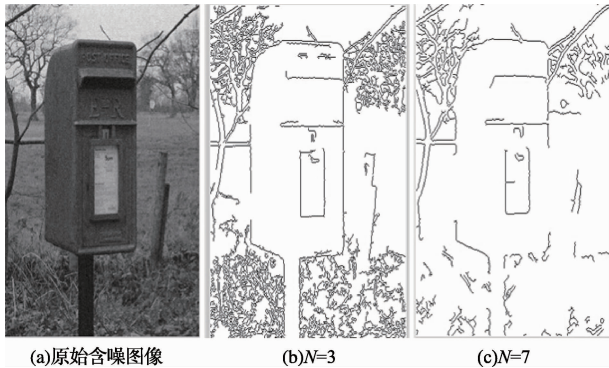


图6 不同尺度 Sobel 算子的边缘检测结果

从图6(b)中可以看出, 小尺度下 Sobel 算子检测的边缘可以检测出大部分边缘, 但由于噪声的影响, 也检测出来许多伪边缘。同时, 由于图像背景包含大量纹理, 在小尺度算子下也被检测出来。由图6(c)可以看出, 大尺度 Sobel 算子, 受噪声影响较小, 纹理和伪边缘相比小尺度下减少了很多, 但是许多真实的边缘也丢失了。这说明, 仅利用单一尺度进行边缘检测结果不理想, 要结合边缘在多尺度下的特点, 采用一种融合方法融合多尺度边缘特征, 从而得到比单一尺度更优的检测结果。

Wu<sup>[17]</sup> 等人指出, 不同尺度微分下的边缘强度乘积具有更好的信噪比和比较满意的边缘检测准确度。因此, 本文提出了融合多尺度 Sobel 边缘强度乘积的新算法。该算法首先计算不同尺度下的 Sobel 算子的边缘强度映射, 最终的边缘强度映射是多个强度映射的几何平均。假设  $k$  个尺度的 Sobel 算子(分别是  $N_k = 3, 5, 7$ ), 其对应的边缘强度映射是  $\nabla f_{N_k}$ , 那么提出的多尺度边缘强度映射可以表示为公式(4)

$$\nabla \tilde{f} = \left( \prod_k \nabla f_{N_k} \right)^{1/k} \quad (4)$$

提出的多尺度融合的边缘强度映射具有更好的噪声鲁棒性和边缘检测准确度。图7(a)是含噪声方差为  $\epsilon^2 = 100$  的零均值高斯白噪声的图像, 而图7(b)是 Sobel 模板大小  $N=3$  时的边缘检测结果, 图7(c)是尺度  $N=7$  时的边缘检

测结果, 图7(d)是利用本文提出的多尺度 Sobel 边缘强度融合后检测的边缘。并且3种测度下使用相同的判决阈值, 其中的高阈值  $H=0.3$ , 低阈值  $L=0.15$ 。

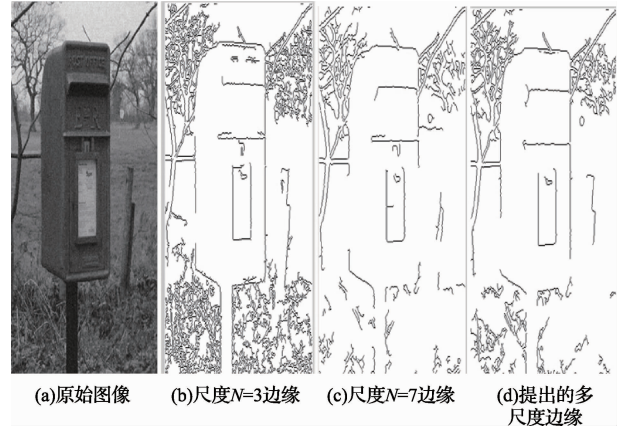


图7 单尺度和多尺度边缘检测比较( $H=0.3, L=0.15$ )

从图7(b)和(d)比较可以看出, 多尺度边缘检测的结果包含更少的伪边缘和纹理特征, 说明其具有很好的噪声鲁棒性, 而图(c)与图(d)相比, 多尺度边缘检测能够检测出更多准确的边缘, 其边缘检测准确度较好。综合而言, 提出的融合多尺度 Sobel 边缘强度乘积的边缘检测算法性能更优

## 5 结 论

本文在介绍视觉假体图像处理流程的基础上, 提出了一种新的对复杂图像处理策略。主要包括两点改进。第一, 在对复杂图像处理中, 提出了基于视觉显著性和形态学的复杂图像焦点子图提取方法。该方法可以快速地检测出复杂图像中的视觉焦点区域。第二, 在分析传统单一尺度边缘检测方法不足的基础上, 提出了融合多尺度 Sobel 梯度的边缘检测方法。相比传统的单一尺度边缘检测算法, 该算法具有更好的噪声稳健性和边缘检测准确度。实验证明, 提出的图像处理策略能获得很好的检测效果, 对视觉假体中复杂图像的处理提供了一种新的选择。

## 参考文献

- [1] WEILAND J D, HUMAYUN M S. Visual prosthesis[J]. Proceedings of the IEEE, 2008, 96 (7): 1076-1084.
- [2] DOBELLE W H. Artificial vision for the blind by connecting a television camera to the visual cortex[J]. ASAIJ Journal, 2000, 46(1): 3-9.
- [3] DELBEKE J, WANET - DEFALQUE M C, GÉRARD B, et al. The microsystems based visual prosthesis for optic nerve stimulation [J]. Artificial Organs, 2002, 26(3): 232-234.
- [4] WALTHER D, KOCH C. Modeling attention to salient proto-objects [J]. Neural Networks, 2006, 19 (9):

- 1395-1407.
- [5] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986 (6): 679-698.
- [6] GONZALEZ R C, WOODS R E. Instructor's Manual for Digital Image Processing [M]. Addison-Wesley, 1992.
- [7] CHAI X, LI L, WU K, et al. C-sight visual prostheses for the blind[J]. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE, 2008, 27(5): 20-28.
- [8] H Harel J, Koch C, Perona P. Graph-based visual saliency [C]. Advances in Neural Information Processing Systems. 2006: 545-552.
- [9] ZHAO Y, TIAN Y, LIU H, et al. Pixelized images recognition in simulated prosthetic vision [C]//7th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 492-496.
- [10] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1998 (11): 1254-1259.
- [11] ACHANTA R, ESTRADA F, WILSON P, et al. Salient region detection and segmentation [M]//Computer Vision Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 66-75.
- [12] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: A spectral residual approach[C]//CVPR'07. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. IEEE, 2007: 1-8.
- [13] 杨丽雯, 曾朝阳, 张永继. 一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测方法[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(2): 27-30.
- [14] QU G. Directional morphological gradient edge detector [D]. Santa Clara University, 2001.
- [15] LIANG L R, LOONEY C G. Competitive fuzzy edge detection[J]. Applied soft computing, 2003, 3(2): 123-137.
- [16] LINDEBERG T. Feature detection with automatic scale selection[J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 30(2): 79-116.
- [17] BAO P, ZHANG L, WU X. Canny edge detection enhancement by scale multiplication [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(9): 1485-1490.

### 作者简介

贺瑞芳, 在读工学硕士, 主要研究方向为视觉假体图像处理与识别。

E-mail: 101746276@QQ.com

(上接第 54 页)

- [4] DEBECKER I, MOHAMED A K, ROMANINI D. High-speed cavity ringdown spectroscopy with increased spectral resolution by simultaneous laser and cavity tuning[J]. Optics Express, 2005, 13(8): 2906-2915.
- [5] 于莎莎. 基于 TDLAS 气体检测系统中光源波长锁定的关键技术研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2012: 18-20.
- [6] 李江澜, 石云波, 赵鹏飞, 等. TEC 的高精度半导体激光器温控设计[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(6): 1745-1749.
- [7] 黄渐强, 翟冰, 何启欣, 等. 用于气体检测的近红外半导体激光器温控系统[J]. 光子学报, 2014, 43(6): 42-47.
- [8] 李海真, 孙运强. 基于 CS5522 高精度温度测量系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(5): 52-55.
- [9] 李聪, 代后兆, 张亚宁, 等. 一种新型低成本高精度测温模块的研制[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(6): 577-583.
- [10] 杜金祥, 杜宇轩. 基于 MATLAB 对数函数拟合的热敏电阻特性研究[J]. 山西电子技术, 2013, (1): 94-96.
- [11] 吕方瑶, 张池军, 闫勇, 等. 一类高精度温度测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8): 88-90.

### 作者简介

李云辉, 工学硕士, 研究实习员。主要研究方向为电子电路设计、光电仪器设备研发。

E-mail: liyunhui\_ciompi@126.com