

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.01.021

# 应用于水表检定的机器视觉技术研究

陈 硕 骆腾斌 刘 丰 唐旭晟

(福州大学 机械工程及自动化学院 福州 350116)

**摘要:**为解决目前水表检定存在效率低、人为因素影响大等诸多问题,提出了应用机器视觉技术的水表检定系统,并重点研究实现梅花针快速定位的模板匹配算法和消除湿式水表表盘气泡的图像形态学算法。使用 Harris 算法预先提取梅花针模板角点,并实时提取现场图像的角点。采用部分 Hausdorff 距离法,实现梅花针的快速定位;利用图像形态学算法实时消除气泡影响,并完成对梅花针转动齿数的计数。实验表明,该系统在保证检定准确性的同时,可缩短检定时间,提高水表检定效率,解决了湿式水表表盘气泡对检定的不良影响,适用于各类水表的检定。

**关键词:** 水表检定;模板匹配;图像形态学;气泡消除

中图分类号: TP391.4;TN06 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.4050

## Research on machine vision technology applied in water meter verification

Chen Shuo Luo Tengbin Liu Feng Tang Xusheng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

**Abstract:** In order to solve the low efficiency and the influence of manual factors and many other problems existed in current water meter verification, the water meter verification system using machine vision technology is proposed. And the research keynote is how to realize the template matching algorithm for rapid location of plum blossom needle and the image morphological algorithm for eliminating the bubble of wet water meter dial. Harris algorithm is used to extract the corner points of the plum blossom needle template beforehand, and the corner points of the on-site image are extracted in real time. Then, the fast localization of the plum blossom needle is realized by the partial Hausdorff distance method. Finally, the effect of bubbles is eliminated by using the image morphological algorithm, and the count value of the rotating teeth of the plum blossom needle is completed. The experimental results show that the proposed system can shorten the verification time and improve the verification efficiency while ensuring the verification accuracy. The system solves the adverse effect of the bubble on the dial of the wet water meter, and it's suitable for the verification of various types of water meters.

**Keywords:** water meter verification; template matching; image morphology; bubble elimination

## 1 引 言

在供水领域,水表是使用最广泛的计量仪表,我国目前大量使用机械式水表。在机械式水表生产时,水表的误差检定是保证水表质量的一个重要环节,目前多数水表生产厂家普遍采用人工检定方法,该方法不但检定效率低,而且结果易受人工因素影响。为提高水表的检定

效率和检定精度,许多企业都在尝试寻找新的检定方法,总体上大致可分为两类:1)对传统手工检定装置进行部分升级改造,实现检定操作的自动或半自动化<sup>[1-3]</sup>;2)使用激光传感器或机器视觉技术替代人工读数;读数有分为读码盘示数、读指针示数和读梅花针转动圈数<sup>[4-8]</sup>。机器视觉检定设备大多数只读到指针示数,精度较低,激光传感器可以直接统计水表转动时梅花针转动的圈数,但不能用于表盘存在气泡的湿式水表的误差检定。

本文提出采用机器视觉技术直接统计梅花针转动圈数的水表检定方法,研究基于模板匹配的梅花针定位算法,提高了水表检定的效率。针对湿式水表表盘可能存在气泡的问题,本文提出采用图像形态学消除气泡的方法,弥补了现有激光传感器无法检定有气泡的湿式水表的不足。

## 2 基于机器视觉技术的水表检定系统及检定方法

水表检定系统主要由工业计算机、图像采集模块、数据采集模块、编号获取模块等组成。系统一次检定 8 只水表,水表依次串联到检定台上,检定系统组成如图 1 所示。

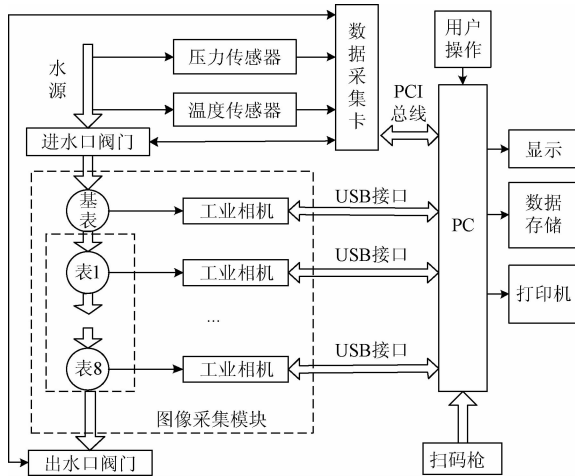


图 1 水表检定系统组成

Fig. 1 Block diagram of water meter verification system

水表检定系统通过在梅花针区域设置多个采样点,统计梅花针转动圈数达到间接测量流过水表的水体积,如图 2 所示。采用与基准表比较的检测原理计算水表误差,并与国家标准《冷水水表检定规程》规定的允许误差进行比较<sup>[9]</sup>,以判断待检表是否合格。系统总流程如图 3 所示。

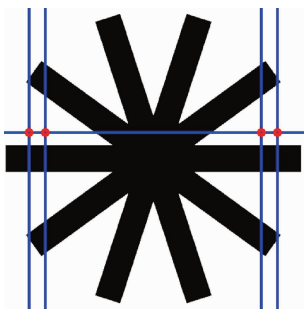


图 2 计数原理

Fig. 2 Counting principle

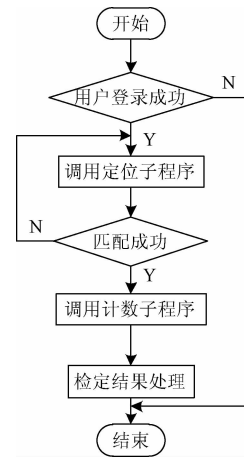


图 3 检定系统总流程

Fig. 3 General flow chart of verification system

## 3 基于模板匹配的梅花针定位算法

本文提出一种采用模板匹配<sup>[10]</sup>的方法定位梅花针,根据梅花针的位置确定采样点的位置。该方法使用 Harris 算法<sup>[11-13]</sup>预先提取梅花针模板角点并实时提取现场图像的角点,使用 Hausdorff 距离<sup>[14-15]</sup>度量现场图像中与梅花针模板最匹配的区域,完成梅花针的定位。

### 3.1 Harris 角点检测

Harris 角点检测算法是由 Harris 和 Stephens 于 1998 年提出的一种基于信号的点特征提取算子,其角点定义为当图像往任意方向移动微小距离,检测窗口内灰度均会产生剧烈变化,则该点为角点,其数学定义如下:

$$C(x, y) = \sum_w [I(x_i + \Delta x, y_i + \Delta y) - I(x_i, y_i)]^2 = [\Delta x \quad \Delta y] \mathbf{M}(x, y) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{M}(x, y) = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $C(x, y)$  为灰度变化量, $I(,)$  是图像灰度函数, $(x_i, y_i)$  表示落在  $W$  内点的坐标, $W$  为窗口函数。 $I_x, I_y$  为  $x, y$  的一阶偏导数。 $\mathbf{M}$  为图像自相关矩阵,定义角点响应函数。

$$R = \det(\mathbf{M}) - k \cdot \text{Tr}^2(\mathbf{M}) \quad (3)$$

当  $R$  高于设定阈值  $T$  时,该点为角点。 $k$  是一个经验常数,一般取 0.04 ~ 0.06。采用 Harris 角点检测算法检测模板与现场图像的角点后,利用 Hausdorff 距离度量两者的相似度,寻找最佳的匹配位置。

### 3.2 Hausdorff 距离

给定两个有限点集  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  和  $B =$

$\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ ,  $A$ 、 $B$  间的 Hausdorff 距离  $H(A, B)$  定义为:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (4)$$

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (5)$$

$\| \cdot \|$  表示某种距离范数, 通常是欧几里得空间下的  $L_2$  范数,  $h(B, A)$  同理。原始 Hausdorff 距离极易受噪声影响, 实际使用效果不佳, 1993 年, Huttenlocher 提出部分 Hausdorff 距离, 定义如下:

$$H(A, B) = \max(h_k(A, B), h_l(B, A)) \quad (6)$$

$$h_k(A, B) = K_{a \in A}^{\text{th}} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (7)$$

式中:  $K_{a \in A}^{\text{th}}$  表示对  $A$  中所有点到  $B$  的距离值排序, 取第  $K$  个值作为  $A \sim B$  的单向 Hausdorff 距离。部分 Hausdorff 距离可以很好的避免噪声及目标被遮掩或退化严重对匹配精度的影响, 由于水表表盘可能会存在气泡及其他噪声, 因此本系统选用部分 Hausdorff 距离度量模板与现场图像的相似度。

### 3.3 模板匹配策略

将模板在待匹配的现场图像上移动, 比较两者重合区域的部分与模板之间的差异, 取差异最小的区域为最佳匹配区域, 这是模板匹配的基本原理。移动步长通常为 1 个像素, 为了加快目标的搜索速度, 本文使用跳跃式搜索加局部精确搜索的搜索策略, 1) 以步长  $T (T > 1)$  按上述过程在待搜索图像上移动, 搜索整幅图像, 初步确定粗匹配位置  $P(x, y)$ ; 2) 以步长为 1、将模板在表盘图像上的以  $P(x, y)$  为中心, 长宽为  $(2T + 1) \times (2T + 1)$  的正方形区域内移动, 进行精匹配搜索, 并以第二次得到的结果作为此次模板匹配的最佳结果, 流程如图 4 所示。与传统匹配方法相比, 采用跳跃式搜索只需约原始方法  $1/T^2$  倍的时间, 粗匹配的步长  $T$  可以根据待搜索图像和模板的实际大小选择, 本文  $T = 4$ 。

模板相对现场图像存在旋转 ( $R$ )、缩放 ( $S$ ) 和平移 ( $T$ ), 当使用定焦镜头、相机与水表表盘距离固定时, 缩放因子近似为 1, 因此只需考虑模板的旋转和平移。由于梅花针的环形阵列结构, 使得模板相对于现场图像最大只有 0.5 齿对应的旋转角度, 具体到图 2 中梅花针, 即最大旋转角度为  $18^\circ$ 。本文采用二分查找法寻找模板的最佳旋转角度, 具体过程: 1) 以模板中心为旋转中心, 分别顺时针和逆时针旋转  $9^\circ$ , 比较旋转后模板与当前位置现场图像 Hausdorff 距离, 保留 Hausdorff 距离较小的旋转模板; 2) 以步骤 1) 留下模板分别顺时针和逆时针旋转新模板  $4.5^\circ$ , 重复第一步过程, 直至得到的 Hausdorff 距离小于要求阈值或旋转角度小于  $0.5^\circ$ , 则停止搜索。匹配结果如图 5 所示, 实际图像的大小为  $320 \times 240$  像素, 模板大小为  $100 \times 100$  像素, 耗时为 180 ms。

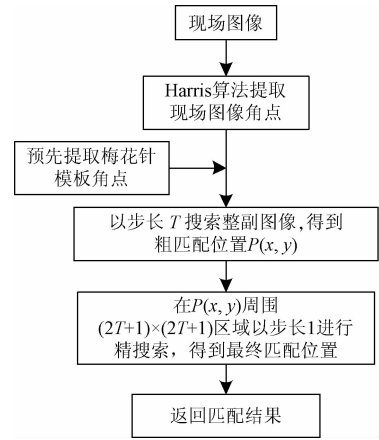


图 4 模板匹配流程

Fig. 4 Flow chart of template matching

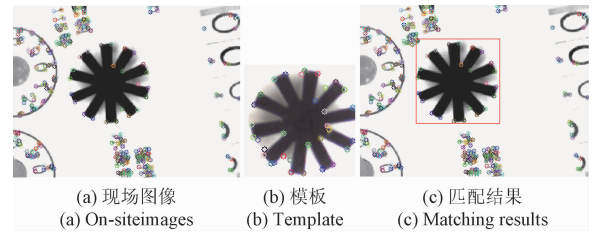


图 5 湿式水表的模板匹配

Fig. 5 Template matching of wet water meter

## 4 图像形态学消除气泡

如图 6 所示, 湿式水表表盘的梅花针处可能存在气泡。在对现场图像进行二值化时, 梅花针将因气泡的干扰而被错误分割, 若采样点的位置刚好落在该处, 则无法计数。本文通过对二值图像进行形态学 (Morphology) 操作以消除气泡。

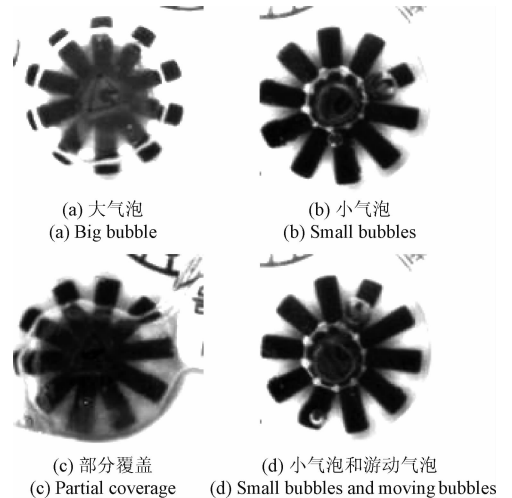


图 6 几种常见的气泡形式

Fig. 6 Some common forms of bubbles

去除大气泡的操作过程如图7所示。由于气泡的存在,原始图像在二值化后梅花针被断开,并且存在一些微小杂点,因此先使用 $2 \times 2$ 大小的矩形结构元素对二值图像进行一次开启操作,消除微小噪声,如图7(c)所示。为连接断开的梅花针,使用直径 $R=5$ 的圆形结构元素对图7(c)的图像进行连续3次膨胀操作,结果如图7(d)~(f)所示。执行上述操作后,梅花针已经完全连接起来,但边缘已经扩大许多,需通过腐蚀操作细化边缘。用同一个结构元素对其连续进行3次腐蚀操作,最终结果如图7(i)所示。通过对原始图像的二值图像进行1次开启、3次膨胀和3次腐蚀后,大气泡被消除,实现了对该种类型气泡的误差测量。

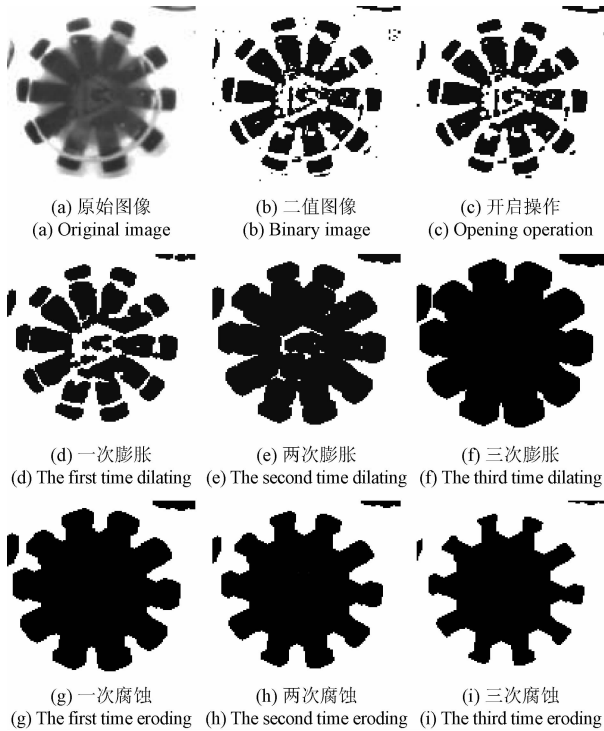


图7 形态学操作去除大气泡

Fig.7 Morphological operation to remove large bubbles

使用上述方法对处理其他类型的气泡,其结果如图8和9所示,从图中可以看出,上述形态学操作方法对小气泡和游动的消除效果也非常好,对部分覆盖在梅花针上的气泡类型处理的结果虽然不如前两种类型气泡的处理效果好,但断开的区域也连接起来了,只要采样点位置不要太靠近边缘,则同样能够产生黑白变换,实现对梅花针转动齿数的计数。

## 5 实验结果与分析

水表检定系统的现场实物图如图10所示,8只待检水表依次串联在检定台上,检定系统的主界面如图11所

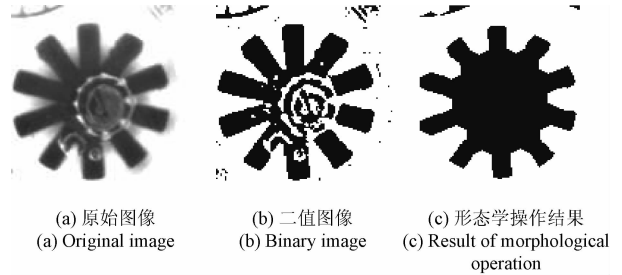


图8 形态学操作去除小气泡和游动气泡

Fig.8 Morphological operations to remove small bubbles and moving bubbles

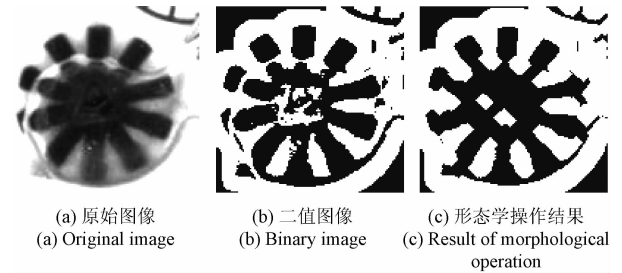


图9 形态学操作去除部分气泡

Fig.9 Morphological operations to remove part of the bubbles

示。视频窗口下的数字分别代表对应待检表采样值和检定误差,检定界面可以选择检定的流量点,每个流量点的参数都预先在“参数设置”设置界面输入。



图10 检定系统现场调试

Fig.10 On-site commissioning of verification system

为了验证本系统检定方法的有效性,将本方法与现有人工检定方法进行比较。验证前,先选取重复性较好的水表作为验证水表,在相同的测试条件下,对同一水表用不同方法进行多次测量。图12为3只DN15 mm旋翼式湿式水表在常用流量点上人工检定和本系统检定的误差值对照表。结果显示本系统检定结果在人工检定结果均值周围跳动,跳动幅度低于本检定台的精度值2%。

按国家检定规程要求<sup>[9]</sup>,水表的检定用水量不能少于最小检定分格值的200倍,本系统由于具有更小的分

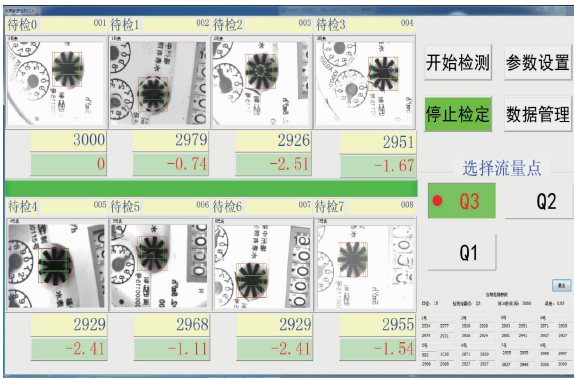


图 11 检定系统界面

Fig. 11 Verification system interface

格值,理论上可以较大幅度减少用水量而不影响检定结果的准确性。为了验证这一猜测,将同一批水表在不同用水量条件下连续检定 10 次,求其误差的极差值,据此分析假设是否成立。由图 13 可知,检定用水量会影响本系统自身的检定精度,用水量越多,本系统自身的检定误差越低,当基准表计数值在 4 000 以上时(用水量约为 16 L,国家检定标准要求 100 L),波动较平稳,极差值在

0.3% 以下,满足二级精度检定要求,因此,当设定基准表计数值在 4 000 以上时,本系统确实能够在减少水表检用水量的同时保证检定精度。

### 6 结 论

本文介绍了一种基于机器视觉技术的水表检定新方法,通过使用模板匹配方法定位梅花针,在梅花针区域选取多个采样点直接计算梅花针转动圈数,获得更高的精度,缩短检定时间和用水量。本文提出的湿式水表气泡的消除方法可以很好的去除气泡干扰,实现了采用视觉方法测量湿式水表的的目的,弥补了激光反射法无法检定有气泡的湿式水表的不足,现场实验表明,该水表检定系统具有较高的工程运用价值。

### 参考文献

[ 1 ] 周兵,张宏魁. 静态容积法水表自动检定装置[J]. 计量技术,2008(10):41-44.  
 ZHOU B, ZHANG H K. Automatic verification device for water meter by static volumetric method [ J ]. Measurement Technique, 2008 ( 10 ): 41-44.

[ 2 ] 李必果,秦帆. 水表检定的自动化改造及应用[J]. 电子测量与仪器学报,2012,26(S1):86-89.  
 LI B G, QIN F. Transformation and application of the water meter test automation [ J ]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2012,26 ( S1 ): 86-89.

[ 3 ] 吴明俊. 水表检定装置的改进[J]. 中国计量,2013(2):69-71.  
 WU M J. Improvement of water meter calibration device [ J ]. China Metrology, 2013 ( 2 ): 69-71.

[ 4 ] 张志佳,李媛,周纯冰,等. 基于图像识别的多指针仪表自动读数方法[J]. 沈阳工业大学学报,2011(5):550-555.  
 ZHANG ZH J, LI Y, ZHOU CH B, et al. Image recognition based automatic reading method for multi-pointer meter [ J ]. Journal of Shenyang University of Technology, 2011 ( 5 ): 550-555.

[ 5 ] 汤思孟,赵杰煜,陆晓峰. 基于机器视觉技术的水表新型检定方法[J]. 计量学报,2015,36(1):54-57.  
 TANG S M, ZHAO J Y, LU X F. A novel water meter calibration method based on machine vision technology [ J ]. Acta Metrologica Sinica, 2015, 36(1): 54-57.

[ 6 ] 李杰,吕丹,林军,等. 基于单指针识别的全自动水表检定装置[J]. 计量与测试技术,2014,41(2):7-8,10.  
 LI J, LV D, LIN J, et al. Automatic water meter calibration device based on single pointer

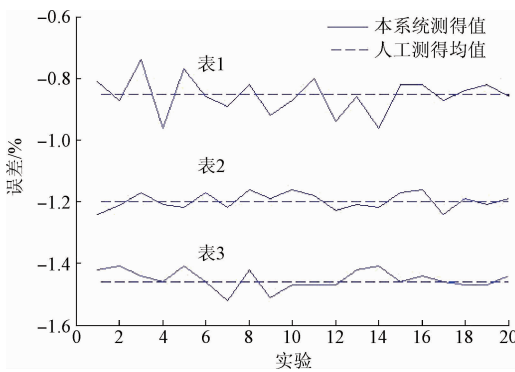


图 12 检定准确度对比

Fig. 12 Comparison chart of the verification accuracy

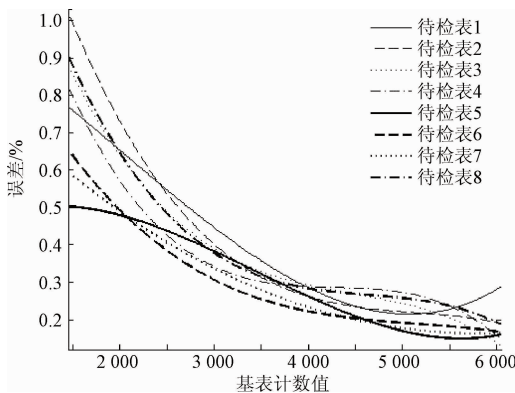


图 13 检定误差分布

Fig. 13 Distribution diagram of verification error

- identification[J]. Metrology and Measurement Technique, 2014, 41(2): 7-8, 10.
- [7] 祁建,张燕. 基于多特征信息的水表指针自动识别方法[J]. 计算机与数字工程, 2015, 43(4): 676-679.  
QI J, ZHANG Y. Automatic recognition method for water-meter pointer based on multi-characteristic information [J]. Computer and Digital Engineering, 2015, 43(4): 676-679.
- [8] 孔明,王欢,郭天太,等. 基于 ZigBee 的水表检定系统开发[J]. 机床与液压, 2015, 43(2): 148-151.  
KONG M, WANG H, GUO T T, et al. Development of water-meter detection system based on ZigBee [J]. Machine Tool and Hydraulics, 2015, 43(2): 148-151.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. JJG162-2009. 冷水水表检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2009.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. JJG162-2009. Verification Regulation of Cold Water Meter [S]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2009.
- [10] 李洋,张晓冬,鲍远律. 基于特征模板匹配识别地图中特殊图标的方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(7): 605-609.  
LI Y, ZHANG X D, BAO Y L. Method based on feature template matching to identify special icons in map[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2012, 26(7): 605-609.
- [11] 许佳佳,张叶,张赫. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 48-54.  
XU J J, ZHANG Y, ZHANG H. Fast image registration algorithm based on improved Harris-SIFT descriptor [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(1): 48-54.
- [12] 卢瑜,郝兴文,王永俊. MORavec 和 Harris 角点检测方法比较研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(6): 95-97.  
LU Y, HAO X W, WANG Y J. Research on MORavec and Harris corner algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2011, 26(6): 95-97.
- [13] 范敏,陈曦,王楷,等. 基于对比度与最小凸包的显著性区域检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10): 2328-2337.  
FAN M, CHEN X, WANG K, et al. Salient region detection algorithm based on contrast and minimum convex hull [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(10): 2328-2337.
- [14] 张培良,许录平. 基于 Hausdorff 距离的多分辨率目标跟踪方法[J]. 量子电子学报, 2005, 22(1): 25-29.

ZHANG P L, XU L P. Object tracking algorithm for Hausdorff distance based on multiresolution [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2005, 22(1): 25-29.

- [15] 陈玲芝,王保保,董建国. 一种改进的 Hausdorff 距离模板匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 82-85.

CHEN L ZH, WANG B B, DONG J G. A modified algorithm for model-based matching using hausdorff distance [J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(5): 82-85.

## 作者简介



陈硕, 1985 年于南京航空航天大学获得学士学位, 2000 年于日本长崎大学获得博士学位, 现为福州大学教授, 主要研究方向为测试技术、机电一体化技术。

E-mail: shuochen@fzu.edu.cn

**Chen Shuo** received B. Sc. from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 1985 and Ph. D. from Nagasaki University in 2000, respectively. And now, he is a professor of Fuzhou University. His main research direction is testing technique and mechatronics.



骆腾斌, 2015 年于福州大学获得学士学位, 现为福州大学在读研究生, 主要研究方向为数字图像处理、机电一体化技术。

E-mail: 605833418@qq.com

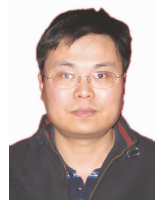
**Luo Tengbin** received B. Sc. from Fuzhou University in 2015. Now he is a M. Sc. candidate in Fuzhou University. His main research direction is digital image processing and mechatronics.



刘丰, 2013 年于青岛理工大学获得学士学位, 2016 年于福州大学获得硕士学位, 主要研究方向为机器人视觉。

Email: 651586163@qq.com

**Liu Feng** received B. Sc. from Qingdao Technological University in 2013 and M. Sc. from Fuzhou University in 2016, respectively. His main research direction is robot vision.



唐旭晟, 1996 年于东北大学获得学士学位, 2003 年于福州大学获得硕士学位, 2007 年于大连理工大学获得博士学位, 现为福州大学副研究员, 主要研究方向为机器人视觉。

Email: tribology@163.com

**Tang Xusheng** received B. Sc. from Northeastern University in 1996, M. Sc. from Fuzhou University in 2003 and Ph. D. from Dalian University of Technology in 2007, respectively. And now, he is an associate researcher of Fuzhou University. His main research direction is robot vision.