·医学工程·

玻璃体温计自动检定图像识别技术研究

王志远[1] 王语瑄[2]

（1.郑州市产品质量检验检测中心，郑州 450000；2.澳门科技大学，澳门 999078）

【摘要】 **目的** 法定计量技术机构需要依据计量检定规程《JJG111–2019 玻璃体温计》进行玻璃体温计的强检工作，工作量巨大，因此，急需对玻璃体温计自动化检定进行相关研究。**方法** 根据近年来人工智能在图像识别中相关研究，基于系统设计、图像采集及算法、现有图像识别技术优缺点构建玻璃体温计自动识别系统。**结果** 实现玻璃体温计快速准确的自动读数，模型识别准确率高达0.9640。**结论** 采用图像识别自动化检定，解决了体温计传统人工检定方式存在诸多问题，极大提高检定效率与精度。

【关键词】 玻璃体温计；自动检定；图像识别；算法优化；系统设计；图像特征提取

【中图分类号】 TH77 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202501004

Research on image recognition technology for automatic verification of glass thermometer

Wang Zhiyuan[1], Wang Yuxuan[2]

(1. Zhengzhou Product Quality Inspecting and Testing Center, Zhengzhou 450000, China;

2. Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China)

【Abstract】 **Objective** The legal metrological technical institutions need to carry out the inspection work of glass thermometer according to the metrological verification regulation 'JJG111–2019 Glass thermometer', and the workload is huge, so, it is urgent to study the automatic verification of glass thermometer. **Methods** According to the related researches of artificial intelligence in image recognition in recent years, the automatic recognition system of vitreous thermometer was constructed based on system design, image acquisition and algorithm, advantages and disadvantages of existing image recognition technology. **Results** The fast and accurate automatic reading of the glass thermometer is realized, and the model recognition accuracy was as high as 0.9640. **Conclusion** The automatic verification with image recognition solved many problems in the traditional manual verification of thermometers, and greatly improved the verification efficiency and accuracy.

【Key words】 Glass thermometer; Automatic verification; Image recognition; Algorithm optimization; System design; Feature extraction

玻璃体温计主要用于各级医疗机构、卫生疾控和居民测量人体温度，作为医疗诊断最重要的计量器具，也是列入《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》[1]的强制检定计量器具。其在各级诊疗机构使用量巨大，故检定工作量也极大。强制检定依据的是计量检定规程《JJG111–2019 玻璃体温计》[2]，需要在37℃和41℃两个检定温度点，将被检体温计与标准铂电阻温度计进行比较，判定被

基金项目：河南省市场监督管理局科技计划项目（HNSCJGK2024110）

第一作者：王志远，男，本科，高级工程师，研究方向：计量检测自动化

检体温计示值是否合格。检定过程中被检液体体温计读数要估读到分度值的 1/10，即 0.01℃，且还需同时读取标准温度计的读数。在传统的人工中读取其液体液柱读数存在诸多不便，如效率低下、容易出错、读取不便、需使用放大装置，存在安全隐患（如水银泄漏、玻璃碎裂等），难以适应大量玻璃体温计的强制检定需要[3,4]。

由于该检定规程于 2020 年 3 月才开始实施，国内目前相关的自动化研究极少，更没有成熟的检定装置产品。国内研究的体温计读数识别资料，大多采用改进的卷积神经网络，通过优化网络结构以减少参数量，提高运算效率，不过，目前仍存在一些亟待攻克的难题，如在强光、阴影等特殊光照条件下，体温计图像易出现反光、对比度不均等问题，导致分割误差增大，读数准确性降低；不同厂家生产的玻璃体温计外观、刻度样式存在差异，其模型的通用性和适应性还有待进一步提高[5,6]。本研究主要是基于计算机技术和图像处理技术的发展，尤其是人工智能在图像识别中的加成作用，利用迁移学习，将在通用图像数据集上预训练的模型迁移至体温计图像识别任务中，加快模型收敛速度。采用图像识别技术对被检玻璃体温计读数进行识别，可以实现玻璃液体体温计的自动化检定，并生成标准格式的检定原始记录和检定报告证书，其快速、准确的自动读数，能极大的提高工作效率和测量精度。

1 玻璃体温计图像识别系统设计

1.1 总体架构

玻璃体温计图像识别系统由硬件和软件两部分组成。硬件部分组成如图 1 所示，硬件部分包括工业相机、光源、控制机构和计算机。工业相机负责采集图像，其参数如分辨率和采集速度影响图像质量。光源确保拍摄图像的连续性、均匀性和重复性。控制机构与计算机协同控制工业相机拍摄时间和系统参数，计算机数据处理和存储，也可以采用自带电池的一体机，以满足在不同环境下的方便小型化、便携性的设计方案，以满足不同实际需求。软件部分涵盖图像预处理、特征提取与识别、读数计算、记录证书报告处理等模块。

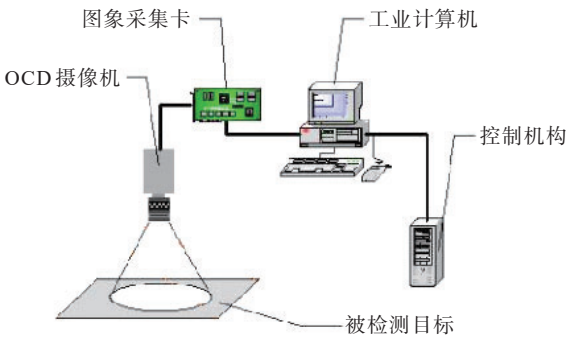


图 1 体温计图像识别系统硬件组成示意图

1.2 硬件设计

工业相机选型时，需综合考虑分辨率、采集速度、价格等多种因素，以海视康威 MV–CU120–10GC 型 CCD 工业相机为例，其 20 帧/s 的采集速度和 1600 × 1200 的分辨率可满足图像采集要求。在实际应用中，可实现直接在医疗机构进行现场快速检测，工作现场或存在强光、阴影等特殊光照条件，对检定速度有更快的要求，在这些不同场景和精度需求，还可选择更高分辨率或更快采集速度的相机。光源选择节能日光灯，其发出的光线均匀柔和，能有效避免因光线不均匀导致的图像阴影和亮度差异，从而提高图像质量。

1.3 软件设计

本研究的软件设计主要是包括图像预处理、特征提取与识别、读数计算、记录证书报告处理等模块，其中技术核心是体温计读数的图像采集识别。为了实现准确可靠的读数，图像识别系统自上而下进行设计。图像预处理模块负责将彩色图像灰度化，减少数据量并突出特征。采用自上而下逐行扫描和抽样离散化处理，可有效抽取图像灰度信息。双边滤波去除噪声并保留边缘，灰度变换和 Retinex（颜色恒常知觉的计算理论）增强提高图像辨识度[7,8]。阈值分割采用二值化分割和 Otsu 算法（亦被称为大津法或最大类间方差法，是由日本数学家大津展之（Nobuyuki Otsu）提出的一种图像二值化算法），能适应复杂光照和噪声条件，突出刻度线区域[9]。特征提取模块运用人工智能训练，通过模板二值化、霍夫变换（Hough）、投影等方法提取刻度线、水银液柱和数字字符。读数计算模块确定刻度坐标和数值，结合液柱位置计算最终读数。记录证书报告处理模块不在本文详细论述。

2 图像采集及算法

系统采用的图像采集模块软件设计流程如图2。

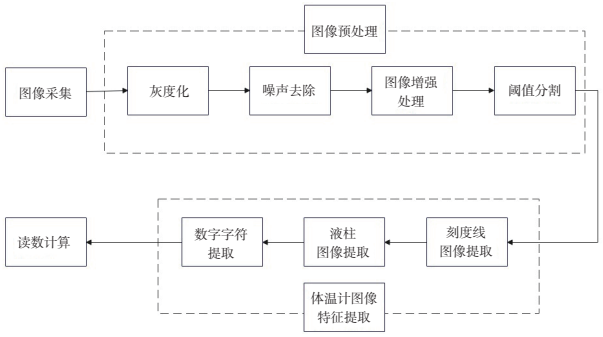


图2 图像采集处理流程图

2.1 图像采集

图像采集是整个识别过程的第一步，要确保采集到的图像能够准确反映玻璃体温计的刻度和液柱信息。为获取高质量图像，需精确调整相机角度，确保其与体温计垂直，以减少透视变形。合适的相机距离能保证体温计在图像中完整清晰呈现。环境光线应保持稳定均匀，避免强光直射或阴影干扰。例如，在实验室环境中，可设置遮光罩和均匀照明设备，模拟理想拍摄条件。

2.2 图像预处理

2.2.1 灰度化

灰度化是图像识别的基础步骤。通过特定算法将彩色图像转换为灰度图像，降低数据处理复杂度。例如，通过自上而下按照垂直一排一排地沿水平线扫描，抽取每行图像灰度值的一维信息，再进行抽样离散化处理。除了文中提到的扫描方法，还可采用加权平均法，根据人眼对不同颜色的敏感度赋予红、绿、蓝三个颜色通道不同权重，计算得到灰度值。这种方法能更准确地保留图像的亮度信息，提高后续处理的准确性。

2.2.2 噪声去除

双边滤波在去噪的同时保留边缘信息。其原理是在空域和灰度域同时考虑像素点的相似性，根据像素点的空间距离和灰度差异确定滤波权重。与传统滤波方法相比，双边滤波能更好地处理体温计图像中的细微结构和边缘，如刻度线和液柱边缘。

2.2.3 图像增强

灰度变换可采用对数变换、指数变换等方法，灰度变换可使图像灰度分布更合理，应根据图像特点调整灰度分布。对数变换适用于图像暗部细节较多的情况，能扩展暗部灰度范围，增强对比度；指数变换则对亮部细节增强效果较好。采用Retinex 增强技术，基于人眼视觉感知模型，通过估计光照分量并去除其影响，突出物体本身的反射特性，进一步有效提高刻度和液柱的辨识度。

2.2.4 阈值分割

阈值分割采用Otsu算法，二值化分割将图像像素值根据设定阈值分为两类——二值化分割和最大类间方差阈值算法（Otsu算法）。二值化分割简单快速但对阈值选择敏感。Otsu 算法自动计算最佳阈值，基于类间方差最大化原则，能有效分割目标和背景[10]。在处理体温计采集图像时，Otsu 算法能够更好地适应非均匀光照和噪声等复杂情况，突出刻度线区域与背景的区分性。但对于图像对比度极低的情况，可能需要结合其他方法进一步优化。

2.3 玻璃体温计图像的特征提取

刻度线提取需要运用人工智能对图像识别进行训练，利用温度计刻度线垂直的特点，采用模板二值化等方法处理图像。模板的设计需考虑刻度线的宽度、间距和形状等因素，通过与图像卷积实现局部二值化，去除边缘干扰。对其进行Hough变换。Hough变换是一个非常重要的检测间断点边界形状的方法。它通过将图像坐标空间变换到参数空间，来实现直线与曲线的拟合。对拍摄带来的倾斜角度进行校正，基于温度计的方向特性，进行水平投影，就可以得到体温计的边界，进而得到相对纯净的体温计图像。例如，通过特定模板对图像进行局部二值化处理，去除图像边缘影响，准确提取刻度线位置。还可结合垂直投影和多个刻度位置均匀分布的特性对刻度样式和位置进行二次校正。

水银液柱提取则根据液柱在图像中水平方向的特点，通过旋转模板、二值化处理以及腐蚀和水平膨胀处理等方法，结合水平Hough变换提取液柱头的位置。通过腐蚀操作去除小噪声和边缘突出部分，膨胀操作填充液柱内部小孔和断裂部分，使液柱区域更完整。水平 Hough 变换检测液柱直线，确定液柱长度和位置。

数字字符的提取首先对图像进行增强和二值化处理，如采用最大类间方差法二值化处理体温计图像，然后通过检测最大连通域等方法提取字符图像，可通过大数据的训练不断提高识别率。为提高识别率，可建立字符特征库，包括字符结构、笔画方向等信息。通过大数据训练，不断优化字符分类

模型，提高对不同字体和字号的兼容性。

玻璃体温计检定时的图像特征提取如图 3。图中，黄色柱体即为图像转换后的体温计标尺位置，绿色柱体为体温计水银液柱的实际位置。

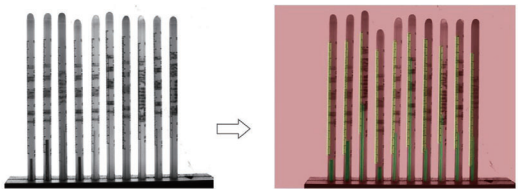


图 3 玻璃体温计图像的特征提取

2.4 读数计算

首先确定刻度坐标和对应数值，如图 3，黄色柱体即为图像转换后的体温计标尺位置，由此确定起始刻度线的位置。通过寻找两字符对应长刻度线位置，计算图像中每一个像素的分度值，然后以第一个字符作为参考点，计算体温计标尺的读数。图像 3 中绿色柱体即为液柱位置，根据水银液柱两端数字对应位置的刻度以及液柱头到选定长刻度的距离和单位像素代表的温度，计算出玻璃体温计的最终刻度读数。

3 应用成果与分析

为提高图像识别应用效果，通过对图像使用不同的阈值处理后结果进行分析，如采用 Otsu 分割操作对产品图像进行预处理，提高了刻度图像识别的准确性。

利用连通域筛选提取数字，并采用模版匹配思想，结合轮廓像素和投影进行数字特征匹配，根据不同字体分配权重，扩充数字识别兼容性，使数字识别效果更好。

当前人工智能技术的辅助，通过对玻璃体温计刻度识别算法的研究和改进，如采用 OpenCV 平台进行图像数据的编辑和调试、训练，OpenCV 是开源计算机视觉库（Open source computer vision library）的简称，可以免费使用，库函数的种类丰富，比起大多数的图像函数库，OpenCV 在图像处理和视觉检测技术方面完成了大部分的通用算法 [11,12]。对传统算法进行优化，可以进一步提高其运行速度和准确率，达到令人满意程度。

识别误差是指模型在图像分类、目标检测或分割等任务中，因算法缺陷、数据质量、环境干扰等因素导致的预测结果与真实标签之间的差异。我们取一支标尺标线清晰体温计的实际读数作为标准，由于体温计在脱离恒温浴一段时间后测得值可以近似固定。用高倍放大镜进行放大并多人多次读数，以算术平均值作为其基准值。而后采用人工识别、图像识别、人工智能模型图像识别三种形式依次对其多次采样读数，每次采样读数与基准值之差，作为识别误差的测得值。

以 1000 支玻璃体温计实际检定作为统计样本，每次 10 支玻璃体温计 1 组拍摄一张图进行图像识别。人工识别必须引入读数放大镜进行读数，否则基本无法估读至分度值的 1/10，即 0.01℃。由于估计值还要受刻度线粗度变化、模糊的影响；短期读数差错等影响，实际准确率也并不高。不同识别方式的指标数据见表 1。

表 1 不同识别方式的指标数据

识别方式	识别误差	识别时间	准确率
人工识别	<0.04℃	8min	0.8000
图像识别	<0.04℃	4ms	0.9500
人工智能模型图像识别	<0.04℃	5ms	0.9640

通过实验对比人工判读和图像识别结果，表明识别误差都较小，如识别一张刻度图像平均误差在 0.04℃以内，准确率较高。从表中数据可以直观地看出，从人工识别、图像识别、人工智能改进后的模型在识别时间、准确率和识别效率上均有显著提升。准确率从 0.8000、0.9500 提升至 0.9640，提升幅度约为 12%，这表明图像识别对体温计图像中各类像素的分类准确性得到了大幅提高，无论是刻度、汞柱还是背景像素，误判的情况明显减少。而从识别时间的数据来看，识别时间得到了巨大的提升。通过这些数据对比，有力地证明了针对玻璃体温计读数识别任务所提出的改进策略的有效性，模型性能得到了全方位的优化，完全能够满足快速实时性检测的需求，能够更好地满足实际需求。

4 讨论

通过研究表明，图像识别技术用于玻璃体温计检定有巨大优势：提高了读数的准确性，减少了人工读数的误差，大大减少了工作量，极大提高了效率。

玻璃体温计图像识别研究相对较少，但图像识别技术在近年来取得了显著的进展。在参考文献中，《基于深度学习的低光照图像增强研究综

述》[13]对本研究启发较大，其方法在实际图像处理中得到了有效应用和支持。本次研究中，在数据集构建方面，通过全方位、精细化的采集方案，涵盖多品牌、多型号体温计，广泛囊括强光、弱光、逆光及各种使用场景、拍摄角度与距离下的图像，构建起极具代表性的数据集；并运用严格规范的标注流程与审核机制，确保标注信息精准可靠，为模型训练提供高质量监督数据。实验验证环节，模型在识别误差、识别时间、准确率、识别效率等关键指标上均有显著提升，改进后的模型准确率高达0.9640，分割效果与读数准确性远超基础DeepLabV3P模型及FCN、U－Net等对比模型，且在计算效率、适应性等方面优势突出，有力证明了改进策略的有效性与先进性，切实满足了医疗及相关领域对玻璃体温计读数快速、准确识别的需求，为体温测量智能化发展提供了可靠技术支撑[14-16]。通过合理的系统设计和先进的算法原理，实现了较高的读数准确性和效率。

然而，仍然存在一些挑战和不足需要进一步研究和解决。未来，随着技术的不断发展，有望在算法优化、系统集成和应用拓展等方面取得更大的突破，为玻璃体温计的准确测量和广泛应用提供更有力的支持。

该技术仍有不足：算法对图像质量要求较高，在图像存在严重模糊、被检体温计刻度线不清晰、体温计刻度线晕染等情况下，识别准确率可能会受到影响；对于一些特殊设计的玻璃体温计，如刻度布局不规则、液柱形状特殊等，现有算法可能需要进一步改进和优化；复杂环境下的适应性还有待提高，例如在强光直射、反光严重等环境中，可能会出现误识别的情况。在实验室正常情况下可调整规避。

未来可以进一步研究更先进的图像处理算法，提高算法在复杂环境和低质量图像下的识别能力[13-16]。结合深度学习等人工智能技术，提高算法的自适应性和准确性。如深度学习算法中的卷积神经网络（Convolutional Neural Networks，CNN）和循环神经网络（Recurrent Neural Networks，RNN）。CNN可自动学习图像特征，对复杂图像有更强的表征能力；RNN处理序列数据，适用于识别体温计上的刻度和数字序列。结合注意力机制，使算法聚焦关键区域，以不断提高识别精度。

此技术也能适应一定程度的非均匀光照和复杂背景等情况，具有较好的适用性。基于图像处理的方法具有可扩展性，可进一步应用于其他类似仪器的读数识别。

从硬件方面，研发更高分辨率、更快采集速度的工业相机，提高图像质量和采集效率。采用新型光源技术，如LED阵列光源，实现更均匀、稳定的照明，降低环境光干扰。开发高性能计算设备，加速图像数据处理，满足实时性要求。

系统集成与应用拓展将玻璃体温计图像识别系统与其他测量设备或自动化系统集成，如利用通用接口实时测量标准水槽的温度，实现更高效的温度测量和监控。未来开发出体积更小、识别率更高的识别系统配合诊疗软件，可以直接应用于医疗机构集中批量读取病人体温。也可拓展应用领域，如在智能家居、环境监测等领域的应用。

[参 考 文 献]

[1] 国家市场监督管理总局计量司.《市场监管总局关于调整实施强制管理的计量器具目录的公告》[EB/OL].(2019-11-04). https://www.samr.gov.cn/jls/tzgg/art/2023/art_15c5a13b8fc344c88a9278ce74562822.html.

[2] 国家市场监督管理总局.JJG111-2019 玻璃体温计[S].北京:中国标准出版社,2020.

[3] 喻晓虎,孙世海,彭瑞军,等.玻璃液体温度计自动读数系统的研制[J].计量技术, 2012,56(12):62-64.

[4] 陈恪,胡爱萍.水银温度计视觉检定系统中的数字图像处理技术研究[J].计测技术,2010,30(5):11-14.

[5] 唐楠.浅谈玻璃液体温度计计量检定工作需注意的问题[J].黑龙江科技信息, 2019,23(18):182-183.

[6] 乔家广,邬昕,姜毅,等.对工作用玻璃液体温度计检定问题探讨[J].中国仪器仪表,2024,44(6):89-92.

[7] 户子睿,丁建伟,田博文.基于残差和多尺度注意力机制的Retinex低光图像增强算法[J].科学技术与工程,2024,24(35):15118-15126.

[8] Li X, Shang J, Song W, et al. Low-light image enhancement based on constraint low-rank approximation retinex model[J]. Sensors (Basel),2022,22(16):6126.

[9] Yu M, Ma X, Guan H, et al. A recognition method of soybean leaf diseases based on an improved deep learning model[J]. Front Plant Sci,2022, 31(13):878834.

[10] 王红霞,武甲礼,陈德山.分离复杂背景下的文档图像二值化方法[J].中国图象图形学报,2023,28(7):2011-2025.

[11] 黄佳.基于OpenCV的计算机视觉技术研究[D].上海:华东理工大学,2013.

[12] 牛柯,彭斌.基于Python-OpenCV的管柱图像快速识别与管径分类研究及优[J].科技通报,2024,40(11):50-56.

[13] 孙福艳,吕准,吕宗旺.基于深度学习的低光照图像增强研究综述[J/OL]. 计算机应用研究,https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2024.06.0176.

[14] 羊冰清,张周燕,朱小良.基于数字图像处理的液位测量系统的研究与实现[J].电力工程技术,2018,37(4):57-64.

[15] 李华基,程江华,刘通,等.基于U-net++网络的弱光图像增强方法[J].计算机科学,2021,48(z2):278-282.

[16] 陈清江,顾媛,李金阳.双分支金字塔网络的微光图像增强算法[J].液晶与显示,2022,37(3):395-404.