

基于 OpenCV 的复杂环境下图像二值化方法*

赵世峰¹ 何哲健²

(1. 西安工业大学 人工智能与仿真研究所 西安 710032; 2. 西北大学 城市与环境学院 西安 710127)

摘要: 机械式电表读数图像易受光照不均、反光等因素影响,导致传统二值化方法效果不佳。针对以上问题,基于 OpenCV 开源视觉库,提出一种结合改进的 Canny 边缘检测算法、全局阈值与局部自适应阈值的图像二值化方法。从图像自身特点出发选取 Canny 算子最佳全局双阈值,并进行局部动态阈值修正实现准确的边缘检测。综合图像边缘信息、全局阈值与局部自适应阈值实现图像二值化。实验表明在光照不均、反光等因素影响下,该方法取得了良好的二值化效果。

关键词: OpenCV; 二值化; 边缘检测; Canny 算子

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Binarization method for images acquired under complex environment based on OpenCV

Zhao Shifeng¹ He Xijian²

(1. Institute of Artificial Intelligence & Simulation, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: The mechanical meter numeral images often acquired under non-uniform illumination and reflection. The traditional methods can't binarize them correctly. To solve the problem, a binarization method based on OpenCV by combining Canny's edge detection with global threshold and local adaptive threshold is proposed. In order to improve the edge detection effect, the high and low threshold parameters for the Canny operator is determined according to the characteristics of the meter numeral images, and the local dynamic threshold is involved for correction. The binarization method is achieved by the fusion of the image edge, global threshold and local adaptive threshold. The test shows that the method can achieve good effect under non-uniform illumination and reflection.

Keywords: OpenCV; binarization; edge detection; Canny operator

0 引言

机械式仪表具有结构简单、维护方便、抗电磁干扰能力强、精度高等优势^[1],在特定环境中仍具有一定的应用价值,基于图像识别机械式仪表读数被广泛研究,图像二值化是其中的关键环节。近年来机械式电表正逐步被电子式电表及智能电表取代,但目前我国仍有大量用户使用机械式电表。考虑到安装位置光照环境、转盘材质及形状、面板及透明外壳遮挡等因素,机械式电表读数图像往往易受光照不均、反光等因素影响,传统的二值化方法无法取得理想的二值化效果。

针对光照不均等复杂环境下的图像二值化,郭佳等人^[2]提出了一种对图像按单列使用经典 Otsu 算法,并根据

光照强度的自适应微调阈值的二值化方法。吴佳鹏等人^[3]利用小波分解获得物体表面光照的近似分布进而消除光照不均的影响,并用 Otsu 算法进行二值化。陈强等人^[4]提出了一种结合 Canny 算子的图像二值化方法,综合考虑了边缘信息和灰度信息,通过边缘附近种子点在高阈值二值化图像中的填充和低阈值图像对其的修补实现二值化。上述方法针对光照不均、低对比度图像在特定的研究对象中取得了较之传统方法更好的效果,但仍无法适用于受光照、反光等因素叠加影响的电表图像二值化。

本文通过对大量电表读数图像的研究与分析,从图像自身特点出发,选取最佳 Canny 算子^[5]全局双阈值进行边缘检测,并使用局部动态阈值对检测结果进行修正,得到准确的电表读数图像边缘。结合电表图像边缘信息、全局阈

收稿日期:2017-11

* 基金项目:西安工业大学校长科研基金(XAGDXJJ14014)项目资助

值二值化与局部自适应阈值二值化实现电表读数图像的准确二值化。

1 机械式电表读数图像分析

电表读数图像二值化是基于图像识别读取机械式电表读数的关键步骤。电表读数图像具有前景与背景对比强烈、白色的数字读数前景像素占比较低、背景区域占比较高等特点,一般情况下具备上述特点的图像二值化问题较好解决。然而,受电表外壳、计数器字轮形状、光照条件等因素影响,经 ROI 提取后得到的电表读数图像往往不够理想。较为典型的电表读数图像如图 1 所示。



图 1 典型电表读数原始图像

在图 1 中,图 1(a)较为理想,但在边角处仍有阴影存在;图 1(b)受外壳遮挡和拍摄角度影响光照变化较大,同时计数器字轮边缘对图像有一定干扰;图 1(c)和(d)由于电表透明塑料外壳有一定的弧度,因此受光照不均及反光影像较大。传统的图像二值化方法包括**固定阈值法、统计分析法、局部自适应法、迭代法、动态阈值法等**^[6]。其中**固定阈值法**是根据图像灰度的直方图分布进行阈值选取,对**灰度直方图呈现较典型的双峰分布**的图像二值化效果较好。图 1 所示的典型电表读数原始图像对应的灰度直方图分布如图 2 所示。

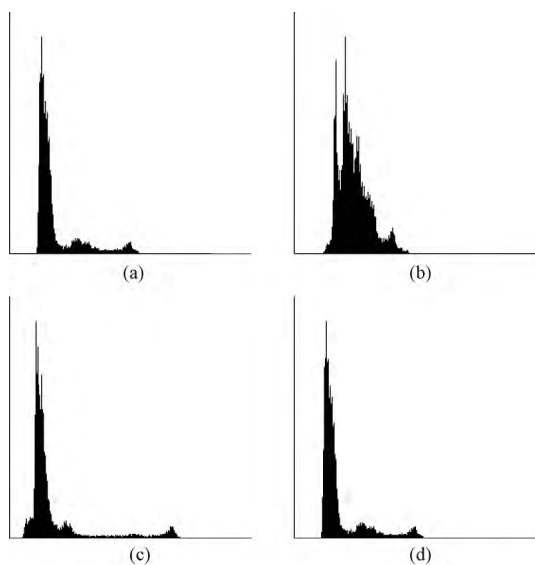


图 2 典型电表图像灰度直方图分布

图 1(a)、(c)、(d)的灰度直方图分布体现出电表读数图

像中背景像素占比较高,但受阴影及反光因素影响使其直方图除了背景像素对应的峰值区域外出现了多个峰值。图 1(b)受光照条件不佳、反光等因素影响,使其灰度直方图分布与典型的双峰分布差别更大。由此可见传统的固定阈值法无法对电表读数图像进行准确的二值化。而由于前景与背景对比强烈、前景像素占比较低、易受光照不均及反光因素影响等特点,局部阈值法、动态阈值法等方法在对电表读数图像进行二值化时容易产生虚假前景点,抗干扰能力较差。

因此,综合考虑电表读数图像特点,在电表读数图像二值化的过程中融入图像边缘信息,可有效的解决传统的图像二值化方法出现的问题,其前提是对电表读数图像进行**准确的边缘检测**。

2 局部阈值修正 Canny 边缘检测算法

2.1 全局双阈值的选取

Canny 边缘检测算法是一种基于图像梯度计算的边缘检测算法,现有的**Canny 边缘检测阈值选取**包括**全局阈值选取方法和局部动态阈值选取方法**^[7-9]。在全局阈值选取方法中,阈值选取不当易造成边缘丢失、出现假边缘等现象。董昱等人^[10]引入一种改进的遗传算法确定图像边缘连接的最佳阈值。赵岩等人^[11]将 3×3 模板进行半像素插值从而扩展为 5×5 模板,然后计算 8 个方向相邻像素的归一化自相关值进而判断边缘的方向。孙智鹏等人^[12]引入最大类间方差法自适应地确定高、低梯度阈值。上述方法针对特定的研究对象均取得了良好的效果,事实上全局双阈值的选取必须从图像本身的特点出发,具有较强的针对性。

传统的双阈值确定方法^[13]是将强边缘像素点的数量设定在图像总像素的 30%,以此梯度幅值为高阈值 T_h ,低阈值为 $T_l = 0.4T_h$ 。电表读数图像的强边缘像素点较少,远低于图像总像素的 30%,理论上选取的梯度幅值高阈值应相对较高。然而受外壳遮挡影响,电表读数图像往往有如图 1(a)和(c)所示的阴影区域,高阈值 T_h 选取过高,易丢失真实边缘。同时如图 1(b)、(d)所示,电表读数图像易受反光、计数器字轮形状等因素影响,高阈值 T_h 选取过低,易产生虚假边缘。

OpenCV(open source computer vision library) 是一个由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成的开源跨平台计算机视觉库,提供了丰富的图像处理及模式识别函数接口。OpenCV 的 Canny 函数实现了全局双阈值 Canny 边缘检测算法,其采用 Sobel 算子^[14-15]计算图像梯度,图像 $I(x, y)$ 的梯度幅值为:

$$M(x, y) = |dx(x, y)| + |dy(x, y)| \quad (1)$$

式中: $dx(x, y)$ 和 $dy(x, y)$ 分别是 x 方向和 y 方向的 Sobel 算子值。电表读数图像的真实边缘即为数字边缘,强边缘像素点占比较低,易受阴影及反光影像。全局阈值选取过高,易丢失真实边缘;选取过低,则易受反光、转盘轮廓等因

素影响而产生虚假边缘。图 1 中典型电表读数图像 Sobel 矩阵的直方图分布如图 3 所示。

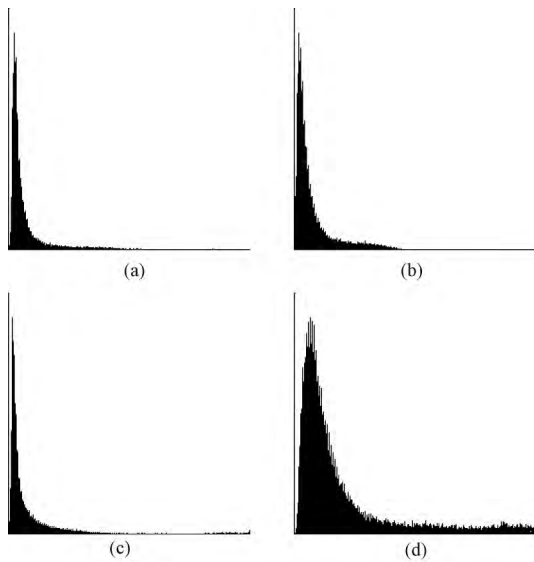


图 3 典型电表读数图像 Sobel 矩阵直方图分布

由图 3 可见,电表读数图像中占比较高的像素点是 Sobel 算子值较低的非边缘像素点,图 1(b)和(d)由于受反光因素影响较大,使 Sobel 算子值分布较为分散。考虑算法对全局双阈值 Canny 边缘检测的结果可进行进一步的修正,对全局阈值的选取首先应以不丢失真实边缘为准则。根据电表读数图像 Sobel 矩阵的直方图分布特点及均值、方差在概率统计中的意义及应用,可以由 Sobel 矩阵的均值 μ 与方差 σ^2 得到边缘区域与非边缘区域的大致分界。图 1 中典型电表读数图像 Sobel 矩阵的均值 μ 及方差 σ^2 如表 1 所示。

表 1 典型电表读数图像 Sobel 算子矩阵均值及方差

图像	μ	σ^2
图 1(a)	25.503 6	46.103 1
图 1(b)	20.666 2	25.299 5
图 1(c)	36.448 4	72.174 3
图 1(d)	57.624 8	75.161 7

由表 1 可见,电表读数图像 Sobel 矩阵的均值 μ 与方差 σ^2 受光照条件及反光等因素综合影响;光照条件较好时,图像对比度高,均值及方差均较大;光照条件较差时,图像对比度低,方差下降明显;受反光因素影响较大的图像,均值与方差较为接近。经大量实验验证,将高阈值 T_h 选取为:

$$T_h = 0.8(\mu + \sigma^2) \quad (2)$$

这样既能保留真实边缘,也能部分抑制因反光等因素造成的虚假边缘,对应的低阈值选取为 $T_l = 0.4T_h$ 。

2.2 局部阈值修正及算法步骤

仅通过全局双阈值进行边缘检测无法完全抑制虚假

边缘。对此问题,本文采用局部阈值对全局双阈值 Canny 算子的检测结果进行进一步修正,以得到正确的边缘检测结果,算法流程如下:

1)调整电表读数灰度图像 I 的大小,将图像高度统一为 100 像素,运用高斯函数平滑图像;

2)全局双阈值边缘检测:采用公式(2)中的高阈值及其对应的低阈值使用 Canny 算子对图 I 进行边缘检测,得到边缘图像 E ;

3)局部动态阈值修正:边缘图像 E 中的边缘点 (i, j) 的梯度幅值为 $M(i, j)$,在以该点为中心的 21×21 邻域中的梯度幅值最大值为 M_{\max} ,若 $M(i, j) < 0.3M_{\max}$,则将该边缘点剔除;

4)剔除边缘图像 E 中的细小边缘。

3 电表读数图像二值化

图像二值化是数字图像处理中的重要环节,经典的图像二值化方法包括全局阈值法、局部阈值法和动态阈值法等^[16-17]。Threshold 和 AdaptiveThreshold 函数分别是 OpenCV 中全局阈值二值化和局部自适应阈值二值化函数接口。机械式电表外层覆有面板及多层透明外壳,使读数区域因面板遮挡易产生阴影,并极易受外壳的反光影像。经典的图像二值化方法在电表读数图像二值化中表现不佳,以往的改进算法多数针对于阴影等光照不均问题,未考虑反光因素影响。鉴于以上问题,本文以获取准确的电表读数图像边缘为前提,结合全局阈值二值化方法与局部自适应阈值二值化方法实现电表读数图像二值化,具体步骤如下:

1)使用 cvtColor 函数对电表读数图像进行灰度化;

2)对电表读数灰度图像 I 采用本文提出的边缘检测算法进行边缘检测,得到边缘图像 E ;

3)采用 AdaptiveThreshold 函数对电表读数灰度图像 I 进行局部自适应二值化,以像素点为中心的邻域块大小设置为 51,局部阈值采用邻域块的高斯加权和,得到二值化图像 abI ;

4)采用 Threshold 函数对电表读数灰度图像 I 进行全局阈值二值化,阈值为平均灰度的 0.9 倍,得到二值化图像 tbI ;

5)对于图像 abI 中的前景点 (i, j) ,若在图像 tbI 中的对应位置不是前景点,则将该点从二值化图像 abI 的前景点中剔除,得到初步二值化图像 sbI ;

6)对于二值化图像 sbI 中的前景点 (i, j) ,统计边缘图像 E 中以其对应位置为中心的 23×23 邻域中的边缘点个数,若边缘点个数小于 12,则将该点从前景点中剔除;

7)剔除二值化图像 sbI 中连通面积小于 55 像素的细小前景连通区域。

4 实验验证与分析

对图 1 所示的 4 种较为典型的电表读数图像,分别采

用全局双阈值 Canny 算子和局部阈值修正 Canny 边缘检测算法进行边缘检测,图 4 所示为全局双阈值 Canny 算子的检测结果,图 5 所示为局部阈值修正 Canny 边缘检测算法的检测结果。

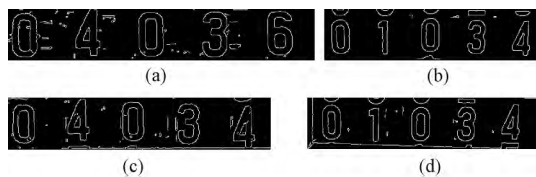


图 4 全局双阈值 Canny 算子检测结果

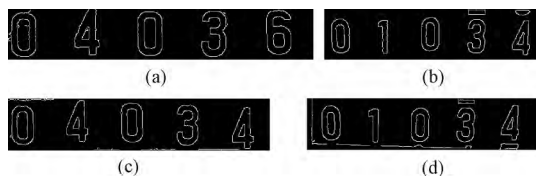


图 5 局部阈值修正 Canny 边缘检测算法检测结果

结果表明,利用本文提出的全局双阈值的选取方法进行 Canny 边缘检测能保留真实边缘,并一定程度抑制了反光等因素的影响,局部阈值修正算法可进一步剔除虚假边缘,得到正确的边缘检测结果。在图 3 所示的边缘检测结果的基础上,使用本文提出的的二值化方法对电表读数图像进行二值化,与传统的 Otsu 算法和局部自适应二值化算法进行比较。图 6、7 所示分别为 Otsu 算法和局部自适应算法二值化结果,图 8 所示为本文提出的方法的二值化结果。

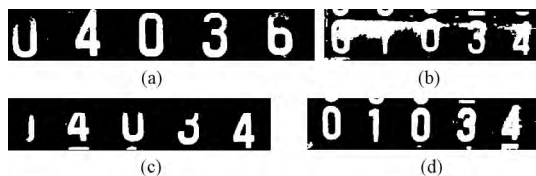


图 6 Otsu 算法二值化结果



图 7 局部自适应算法二值化结果

从实验效果图中可以看出,相对于 Otsu 算法和局部自适应算法,本文的二值化方法取得了更加理想的效果。为了更好的比较二值化方法的实际效果,考虑到电表读数图像中前景点像素占比较低的特点,定义二值化准确率 R 衡量标准为:

• 58 •

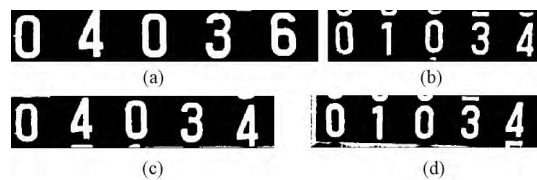


图 8 本文提出方法的二值化结果

$$R = \left(1 - \frac{N_E + N_L}{N_S}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: N_E 、 N_L 、 N_S 分别为错误的前景像素点数、丢失的前景像素点数、图像实际前景像素点总数,对于图 1 中的 4 幅典型电表读数图像,统计上述 3 种二值化方法的准确率,平均结果如表 2 所示。

表 2 二值化方法准确率对比测试结果

算法	N_E	N_L	N_S	R
Otsu 算法	2 097	1 914	9 377	57.23
局部自适应算法	3 126	64	9 377	65.98
本文算法	314	69	9 377	95.92

结果表明,传统的 Otsu 算法受光照条件不佳、阴影等因素的影响,易丢失前景像素,同时受反光因素影响时易产生错误的前景像素;局部自适应算法能够保留真实前景像素,但会引入较多的错误前景像素。本文提出的方法充分考虑了电表读数图像本身的特点,建立在对电表读数图像正确的边缘检测的基础上,结合电表图像边缘信息、全局阈值二值化与局部自适应阈值二值化,准确率较传统的 Otsu 算法和局部自适应算法均有明显提升,丢失的前景像素和产生的错误前景像素不会影响后期字符提取与字符细化,取得了较好的效果。

5 结 论

本文针对传统方法无法对易受光照不均、反光等因素影响的电表读数图像进行正确二值化的问题,从电表读数图像本身特点入手,合理选取 Canny 算子全局双阈值,采用局部阈值修正算法得到电表读数图像的准确边缘,并结合电表图像边缘信息、全局阈值二值化与局部自适应阈值二值化实现了对电表读数图像的准确二值化。该方法基于 OpenCV 开源视觉库,实用性较强,可广泛应用于复杂环境下基于图像的机械式仪表读数识别领域。

参考文献

- [1] 张文杰,熊庆宇,张家齐,等.基于视觉显著性的指针式仪表读数识别算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2015,27(12):2282-2295.
- [2] 郭佳,刘晓玉,吴冰,等.一种光照不均匀图像的二值化方法[J].计算机应用与软件,2014,31(3):183-186,202.

- [3] 吴佳鹏,杨兆选,韩东,等. 基于小波和 Otsu 法的二维条码图像二值化[J]. 计算机工程, 2010, 36(10): 190-192.
- [4] 陈强,朱立新,夏德深. 结合 Canny 算子的图像二值化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005(6): 1302-1306.
- [5] 李鹏,蔡玉雷,陈金立. 采用椭圆算法和 Canny 算子的超声 TOF 估计方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10): 2385-2391.
- [6] 计春雷,冯伟,黎明,等. 一种动态阈值加填补的指纹图像二值化算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 258-261, 289.
- [7] 张帆,彭中伟,蒙水金. 基于自适应阈值的改进 Canny 边缘检测方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(8): 2296-2298.
- [8] 朱海洋,徐根玖,李元晨,等. 基于图像分块的局部区域动态阈值选取方法[J]. 计算机与现代化, 2016(11): 53-57.
- [9] 谭凯,程效军. 双阈值法地面激光点云强度图像边缘提取[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(9): 1425-1431.
- [10] 董昱,高云波,刘翔. 改进的遗传算法在 Canny 算子阈值选取中的应用[J]. 兰州交通大学学报, 2014, 33(6): 1-5.
- [11] 赵岩,周百灵,陈贺新. 一种改进的基于 Canny 算子边缘检测算法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2012, 50(4): 740-744.
- [12] 孙智鹏,邵仙鹤,王翥,等. 改进的自适应 Canny 边缘检测算法[J]. 电测与仪表, 2016, 53(6): 17-21.
- [13] 王佳,李波,徐其志. 边缘检测中局部区域的动态阈值选取方法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 772-774.
- [14] 吴丽丽,余春艳. 基于 Sobel 算子和 Radon 变换的车牌倾斜校正方法[J]. 计算机应用, 2013, 33(S1): 220-222.
- [15] 沈德海,侯建,鄂旭. 基于改进的 Sobel 算子边缘检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(11): 22-25.
- [16] 童立靖,张艳,舒巍,等. 几种文本图像二值化方法的对比分析[J]. 北方工业大学学报, 2011, 23(1): 25-33.
- [17] 李康顺,阮丹丹,张文生. 基于演化算法的图像二值化算法研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 348-351.

作者简介

赵世峰, 1980 年出生, 硕士, 讲师, 主要研究方向为人工智能及嵌入式系统开发。

E-mail: xatuzsf@sohu.com