

DOI: 10.13382/j.jemi.B2003148

基于多通道增强融合的自适应液晶屏图像分割*

邵晓琦 徐海燕 侯一兴 张学武

(河海大学 南京 213022)

摘要:液晶屏电子仪表因其示数精确,抗干扰能力强的特性,逐渐取代了指针式仪表,在工业生产中得到了广泛的应用。针对液晶屏的自身的显示特性和显示原理,提出一种利用信息熵进行自适应彩色形态学预处理且基于HSV空间和色调映射V通道增强液晶屏区域分割方法,并结合了双通道图像加权融合的区域图像增强算法研究,实现液晶屏位置区域的分割。对多种液晶屏图像的分割实验的结果表明,较之传统液晶屏分割方案,该方法对单色液晶屏的分割准确度提升8.6%,对彩色液晶屏分割准确度提升了12.4%。

关键词:液晶屏;信息熵;彩色形态学;图像增强;多通道增强融合

中图分类号: TN98;TP751 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Adaptive LCD image segmentation based on multi-channel enhancement fusion

Shao Xiaoqi Xu Haiyan Hou Yixing Zhang Xuewu

(Hohai University, Nanjing 213022, China)

Abstract: LCD electronic instrument has been widely used in industrial production because of its accurate indication and strong anti-interference ability. According to the display characteristics and display principle of LCD, proposes an adaptive color morphology preprocessing method based on information entropy, and enhances the LCD region segmentation based on HSV space and hue mapping V channel, and combines the region image enhancement algorithm of dual channel image weighted fusion to realize the segmentation of LCD position region. The experimental results show that, compared with the traditional segmentation scheme, the segmentation accuracy of the proposed method is improved by 8.6% for monochromatic LCD and 12.4% for color LCD.

Keywords: LCD screen; information entropy; color morphology; image enhancement; multi-channel enhancement fusion

0 引言

随着工业4.0发展战略的深入推进和工业互联网日新月异的发展,具有智能化的电子式屏显的工业仪器仪表已经成为仪器仪表行业的趋势^[1]。为了使智能巡检机器人能够实现对液晶屏仪表的识别,解决对液晶区域的图像分割与定位成为关键。

图像分割是对图像信息进行处理和识别的前提,

图像分割的准确程度直接在上游决定了对目标信息提取的完整程度,现有的图像分割方法主要分为经典数字图像处理方法和基于深度学习的分割方法,其中,经典

分割方法有基于阈值的分割方法;通过计算出目标区域和背景区域的灰度阈值实现图像分割;基于边缘检测的分割方法,通过检测不同区域的边缘边界像素以实现图像的分割;基于小波分解的图像分割;通过小波分解将图像从频域角度进行分析从而找到图像的灰度不连续处,从而实现分割;基于深度学习的图像分割则主要通过卷积网络获得丰富的边缘信息并通过对大量样本集图像的目标区域的选择标注及训练得到图像分割的模型。

而对于液晶屏图像而言,由于工业生产环境的复杂性使得液晶屏存在单色,纯色,带光源,无光源,矩形屏,异形屏等复杂的种类及图像特征,这对深度学习中不可或缺或图像标注,大样本集的训练等都提出了较高的要

收稿日期:2020-05-14 Received Date: 2020-05-14

* 基金项目:国家自然科学基金(F011305)、国家重点研发计划(2016YFC0401607)资助项目

求,所以对经典图像分割算法的优化及效率提升是本文研究的主要方向。

从液晶屏显示的原理分析,基于扭转式场向量效应的单色液晶屏呈现出黄绿色调^[2],LCD 式彩色液晶屏则通过背光板提供光源实现 RGB 全彩显示^[3]。两类液晶屏均容易在光照不均时反射白色光斑,在大量黑色字符显示时出现局部黑斑。所以实现液晶屏区域的分割定位的核心问题在于充分利用屏幕区域和背景区域在显示特性,颜色空间上的差异性来提升分割的完整性,降低各类干扰的影响,诸如背景中的类屏幕区域以及屏幕区域中各类因素引起的灰度图局部强度凸起和孔洞。针对以上的特性和问题,目前提出的液晶屏分割方法有 3 种。1) 基于色调空间的显著性检测^[4]方法,将采集到的 RGB 图像转换到 HSL 颜色空间,对其色调通道进行二值化,并通过二值形态学操作^[5]以进行图像增强并进行直线检测以实现图像分割。该方法仅对 H 通道进行二值化^[6],使图像 2/3 的信息量流失,而色调分布易受干扰,单通道二值化往往有大块的黑斑出现使液晶屏的轮廓出现残缺,从而使后续的分割出现失真。同时二值形态学操作只能对轮廓内部小的噪点和黑斑进行弥合^[7],无法对失真的轮廓进行校正和修补。2) 基于灰度能量图的显著性检测^[8],计算出图像的灰度能量图,依据直方图的能量级选择实现液晶屏的区域定位。该方法相较第 1 种方法采用了信息更为丰富的灰度空间,但是依然仅适用于液晶屏区域的色调和背景存在明显差异时,如果液晶屏和背景之间的色调过渡平滑,边缘模糊,则会发生误识别现象^[9]。而且以上两种方法对彩色液晶屏的处理能力较差,无法应对屏幕色彩丰富,变化剧烈的情况。3) 基于角点检测^[10-12]的方法,利用相关算法计算出液晶屏区域的角点坐标,再通过边缘检测算子筛选出符合要求的液晶屏矩形框,最后通过直线拟合得到精确的液晶屏区域边缘。该方法分割的精确度较高,但是由于角点检测算法的复杂性以及后续的边缘检测和直线拟合过程需要很多边缘点数据支撑,所以该方法的计算量较大,分割效率不高。同时该方法只适用于形状为矩形的液晶屏,对于异形液晶屏则无法通过角点检测和直线拟合进行屏幕分割。综合上述各现有的液晶屏分割研究方法,总结出如下 3 个未解决问题:1) 现有方法对液晶屏分割会由于背景干扰而出现分割区域残缺;2) 现有方法不能实现对单色液晶屏和彩色液晶屏的普适性检测;3) 现有方法的计算效率较低,不能实现对异形屏幕的准确分割。

基于以上问题,本文结合单色液晶屏和彩色液晶屏的光学显示特性,提出了一种同时适用于单色和彩色液晶屏的分割算法,首先采用针对液晶屏图像做出针对性优化的彩色图像形态学预处理,使屏幕内的亮度和色调值趋于一致,并从图像的 HSV 空间出发,同时提取出色

调通道和亮度通道图像,并分别进行二值化,再将双通道的二值化图像进行基于小波变换的分块自适应融合,得到最终的液晶屏区域轮廓,从而实现最终的液晶屏分割定位。

1 彩色形态学的液晶屏图像增强原理

数学形态学是处理数字图像经典的工具,二值化图像灰度图像的形态学操作已经得到的广泛的应用^[13],而历经发展,对彩色图像的处理也逐渐成为形态学研究的重要方向。而彩色形态学在对比度增强,边缘增强上可对液晶屏图像的预处理起到关键作用。

1.1 彩色形态学的定义

彩色形态学是一种基于彩色空间的新型图像数学形态学,相较于二值形态学和灰度形态学,彩色形态学的优势在于可以直接基于彩色图像进行色彩,亮度的特征提取,边缘检测,图像增强等,从而得到比二值化图像更为完整和全面的图像信息。也减小了图像处理过程中的信息损失和信息失真^[14]。

不同于二值形态学和灰度形态学基于标量的像素运算,彩色形态学需要对彩色图像的像素矢量进行比较^[15],建立对像素矢量的统一衡量标准并获得像素的矢量序是彩色形态学处理的核心问题。而矢量序的获取需要解决的问题如下:1) 颜色空间的选择;2) 颜色矢量的排序方法的选择;3) 计算一个像素邻域内像素的上下确界^[16]。其中颜色空间的选择决定了算子的处理偏重,上下确界则作为形态学算子数学计算公式的重要参数。

1.2 基于信息熵分割的自适应矢量排序方法

目前对颜色矢量已提出的排序方法有如下几种^[17-19]:1) 边缘序,该方法中彩色矢量被分别比较排序,最终合并输出,由于这样会输出全新的色彩矢量,所以应用价值不大;2) 条件序,该方法在多分量排序中产生一个排序词典,人为来决定排序的条件。该方法的问题在于不能对所有矢量进行比较排序;3) 简约序^[20],以不同的度量标准建立对距离计算的函数,该函数可使所有矢量均转换为统一的标量以便于排序。此外还有区域序,偏序^[21]等多种对彩色空间矢量进行排序的方法。不同方法的侧重点不同,适用于不同的应用场景。

1) 基于最大信息熵的前背景分离

信息熵理论是现代通信技术的经典理论,该理论提供了对信息进行量化的方法论,从信源的不确定度的角度对信息进行评价,而对于图像信息而言,具有相同特征的区域应具有类似的信息混乱度,以此为标准,就可以通过计算图像局部区域信息熵来实现对图像不同特征区域的粗分割。这也是本文自适应彩色形态学预处理之前对

图像前景和背景进行区分的主要手段。

从液晶屏分割的动机出发,本文的图像在液晶屏分割处理时需要丰富的亮度信息和色调信息,同时由于液晶屏区域存在的大量字符显示造成的干扰,所以本文提出了一种基于最大熵法^[20]自适应彩色形态学预处理算法,通过计算灰度图像的最大信息熵实现对背景区域和液晶屏区域的粗分离,然后对背景区域和液晶屏区域采取侧重点不同的矢量序计算策略,从而对背景区域和液晶屏区域实现不同效果的形态学增强。

最大熵法的分割标准是基于灰度图像本身的像素分布均匀性的,可以将像素分布熵类似的区域进行分类,从而实现背景和前景区域的分离。对于大小为 $X \times Y$ 的图像所含的灰度级共为 L ,则可得:

$$p_i = \frac{g_i}{M \cdot N} \quad (1)$$

式中: p_i 为图像中所有像素的概率分布; g_i 表示不同的灰度值的像素的数量。为将图像划分为前景和背景两部分,则可对其最大信息熵进行计算:

$$F = - \sum_{i=0}^k \left(\frac{p_i}{p_k} \right) \cdot \ln \left(\frac{p_i}{p_k} \right) \quad (2)$$

$$B = - \sum_{i=s+1}^{L-1} \left(\frac{p_i}{1-p_k} \right) \cdot \ln \left(\frac{p_i}{1-p_k} \right) \quad (3)$$

式中: k 为选定分割阈值; $p_k = \sum_{i=0}^k p_i$, 表示前景区域的总概率。通过以阈值为边界的分类信息相对熵计算,即可将图像分割为前景区域 F 和背景区域 B 。而初始阈值需通过与图像的不同灰度值进行排查,最终得到最佳的 k 值:

$$k = \arg \max_{0 < k < L} [B(k) + F(k)] \quad (4)$$

采用最大熵法进行初步分割的优点在于,该方法可以绕过对图像的边缘信息和线条信息等特征的提取,而直接通过信息熵对图像进行分割,对于实际应用场景中的不规则形状的液晶屏幕以及应屏幕内显示内容形成干扰的情况,可实现良好的分割效果。

2) 前背景区域的自适应形态学增强

在实现前背景分离后,对于亮度色调特征明显的前景液晶屏区域,在预处理过程过应避免提前将图像转入其他不同的颜色空间,以减弱转换带来的累加失真,所以本文结合参考文献[13]的方法,本文提出了以 RGB 空间和区域信息熵为基础的一种矢量序计算方法,平滑彩色目标,并对图像边缘实现了增强。

对于 RGB 空间 $f = (f_R, f_G, f_B)$, 对所有像素均取其范数 $\|f\|$, 定义距离 $d(f, f^0) = \|f - f^0\|$, 其中 f^0 为 RGB 分量均为 0 的点,则有:

$$d^2(f, f^0) = (f_R - 255)^2 + (f_G - 255)^2 + (f_B - 255)^2 \quad (5)$$

在式(1)的基础上,引入对 3 个颜色分量的亮度计算

权值,即可获得每个像素相应颜色的亮度,由于液晶屏的黄绿底色特性,给出适用于液晶屏光学特性的权值,为 $\theta_R = 0.275$, $\theta_G = 0.535$, $\theta_B = 0.190$, 则得到新的距离平方值:

$$d^2(f, f^0) = (\theta_R \cdot f_R - 255)^2 + (\theta_G \cdot f_G - 255)^2 + (\theta_B \cdot f_B - 255)^2 \quad (6)$$

由式(6)可建立矢量排序的亮度排序标准,计算所有像素的范数距离 $d(f, f^0)$, 按该距离的大小进行排序,考虑到可能出现两像素距离相等的情况,所以需要结合字典序,形成最终的矢量排序过程。

假设存在像素点 a 和 b , 两像素的比较流程如下:

(1) 若 $d(f^a, f^0) > d(f^b, f^0)$, 则 $f^a < f^b$;

(2) 若 $d(f^a, f^0) = d(f^b, f^0)$, 而 $f_R^a < f_R^b$, 则 $f^a < f^b$;

(3) 若 $d(f^a, f^0) = d(f^b, f^0)$, $f_R^a = f_R^b$, 而 $f_G^a < f_G^b$, 则 $f^a < f^b$;

(4) 若 $d(f^a, f^0) = d(f^b, f^0)$, $f_R^a = f_R^b$, $f_G^a = f_G^b$, 而 $f_B^a < f_B^b$, 则 $f^a < f^b$;

(5) 若 $d(f^a, f^0) = d(f^b, f^0)$, $f_R^a = f_R^b$, $f_G^a = f_G^b$, $f_B^a = f_B^b$,

则认为 f^a 和 f^b 的差异性可以忽略不计,孰大孰小均可。

而对于像素灰度分布和边缘信息复杂的背景区域图像,形态学增强的重点则是以去除区域的噪点,提升前景区域的对比度为目的。故可采用时间损耗较小的条件序进行排序。

对背景区域图像的所有像素的 3 个矢量依据不同的优先级进行排序:

$$\begin{aligned} f \leq f^0 &\Leftrightarrow \exists i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ \forall (j < i, f_j \leq f_j^0) &\Delta f_i \leq f_i^0 \end{aligned} \quad (7)$$

考虑到背景区域的亮度特征与液晶屏区域差距明显,所以可以将背景图像以 HSV 空间呈现,并去亮度通道为优先级,即可获得背景区域的矢量序。

在确定了矢量序的排列标准后,可通过该排序标准取得相应的矢量序的上确界和下确界,在选定结构元素后,即可实现腐蚀,膨胀,开闭操作等形态学操作。同时可以通过调节结构元素的大小来改变算子内核的尺寸。

2 基于彩色形态学的液晶屏分割实现

2.1 彩色形态学预处理

对液晶屏图像的分割依赖于液晶屏 ROI 区域的显著差异性,所以从液晶屏的显示特性出发,对原彩色图像进行彩色形态学预处理,可以对第 1 节提出的黑色字符干扰问题和色调分布不均问题实现良好的修复优化。具体过程为首先对图像进行闭操作,可以消除同一亮度区域中孤立的亮度较低的斑块例如液晶屏中的字符;而后进行开操作,消除图像中的同一亮度区域中孤立的高亮斑

块例如因局部反光形成的亮斑等;在先开后闭的形态学运算之后,屏幕区域中的干扰项得到极大程度的消弭,同时图像边缘得到增强。彩色形态学预处理的效果示例如图 1 所示。

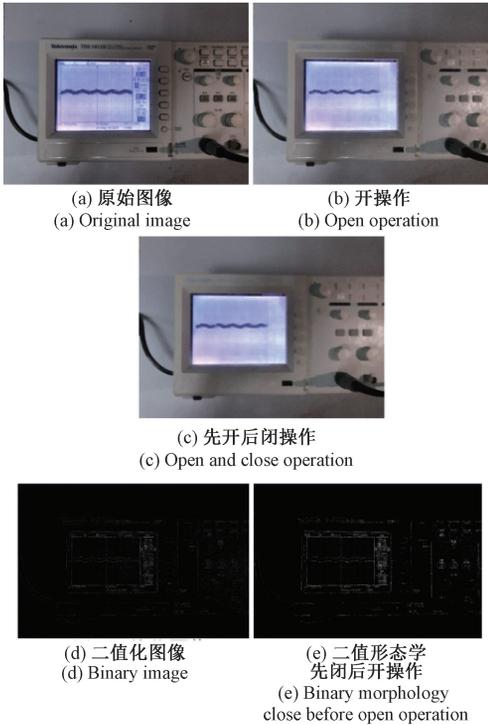


图 1 彩色形态学效果示例

Fig. 1 Example of color morphology effect

图 1(d) 和(e) 为采用二值形态学对图像进行预处理的效果,可见二值形态学会导致图像背景和前景区域模糊不清,出现残缺和液晶屏区域生长过度等情况,同时二值形态学也使得图像损失了色调和亮度等重要信息,对图像开展进一步的增强造成困难,而彩色形态学处理则可以极大程度的保留图像的主要信息并对相应区域的色调和亮度等参数实现归一化,为图像的增强提供良好的基础。

图像的 HSV 空间可以从图像的 RGB 空间转换得到,该空间可以直观的体现出图像的色调,亮度,饱和度这三个和人类视觉特性相符的更加直观的图像光学特性^[22],将图像转入 HSV 空间,即可通过对单通道图像的提取,直接得到图像的色调分布图像和亮度分布图像。HSV 空间转换及通道提取效果示例如图 2 所示。

2.2 基于色调映射和小波变换的双通道加权融合

从液晶屏的光学特性可知,图像的亮度特征和色调特征均可以在液晶屏区域体现出明显区别于背景区域的值域分布,所以对于彩色形态学处理后的图像,本文提出了结合 HSV 空间色调通道和亮度通道新的液晶屏区域



图 2 HSV 空间单通道提取效果

Fig. 2 HSV spatial single channel extraction effect

特征信息提取方法。

对于单色液晶屏,液晶屏区域和背景区域存在着显著的色调对比度,同时由于屏幕的反光属性使得屏幕区域的亮度特征也和背景区域存在明显差别,而对于彩色液晶屏,其自带光源的属性也使得屏幕区域的亮度信息明显区别于背景区域,从这一角度出发,本文采用通道分离的方法,对液晶屏图像的色调通道和亮度通道进行分离和增强,以达到提升液晶屏区域特征显著性的目的,再通过融合算法对通道图像进行融合,以最大程度的增强目标区域和背景区域的差异度,从而提升了图像分割的效果。

类似于 RGB 空间,HSV 空间的单通道图像均为反映原图像每个像素对应通道标量值的灰度图像^[23]。所以本文参考了文献[24]提出的基于色调映射和暗通道融合的图像增强算法,提出了 H 通道和 V 通道先分别进行色调对比度和亮度对比度增强,再进行加权融合的算法,实现了双通道亮度色调信息的互补和背景冗余信息的消除。

首先通过亮度通道区分光源和反光区域,定义该通道为:

$$M_p^d(x) = \min_{c \in H} M^c(x) \quad (8)$$

其中 c 为 H 通道的值, x 为单通道灰度图的每一个像素。对该通道进行设定阈值 λ 的二值化可得:

$$G(x) = \begin{cases} 1, & M_p^d(x) > \lambda \\ 0, & M_p^d(x) < \lambda \end{cases} \quad (9)$$

统计非光照区域平均亮度:

$$M_{\text{avg}}(x) = \frac{\sum M_v(x)(1 - G(x))}{\sum (1 - G(x))} \quad (10)$$

确定自适应参数 $b(x)$:

$$b(x) = \frac{M_{\text{avg}}(x) + 0.4}{1 + d(x)} \quad (11)$$

使用该参数使亮度增强为:

$$M_V^S(x) = (1 - (1 - M_V(x))^2) \cdot \frac{\ln 10}{\ln \left(2 + \left(\frac{M_V(x)}{M_V^{\max}} \right)^{\frac{\ln 10(x)}{\ln 0.5}} \cdot 8 \right)} \quad (12)$$

式中: M_V^{\max} 为亮度通道最大值。完成亮度通道的图像增强后,对于增强后的亮度通道图像和色调通道图像,可采用基于小波变换^[25-26]后的加权融合实现最终的分割结果。

小波变换是数字图像分割领域常用的方法,其在频域分割上良好的效果使其具有捕获图像信息奇异点的能力,所以可以使用小波变换进行图像的多尺度边缘提取以用于纹理分析。而小波变换进行图像分割的前提就是对图形进行多尺度的频域分层分割,这也是本文对小波变换的主要应用部分。

本文方法并不是通过小波变换实现图像的分割,而是将经通道分离后的单通道图像进行小波分解,将其分割为不同的频率成分,再分别对其各成分进行权重的施加,实现图像的重构,增强了对应着图像的边缘特征高频分量,对图像分割中细节区域实现准确的提取。

目前常用的针对图像融合的小波变换方法有离散小波,连续小波及介于二者之间的二进小波等变换方案,而小波基函数的选取也直接影响了高低频小波系数的分布。离散小波主要解决了连续小波基函数由于尺度因子和平移因子的连续而导致的计算量巨大的问题,而小波层数的选取则决定了小波分解的最低分辨率,一层的分解可以将图像分解为高频和低频分量,而多层的分解则是在上一层分解出的低频分量的基础上进行再一次的分解,同样会带来计算量上升的问题。在小波基的选取上,要从小波基函数的正则性、滤波器长度、正交性、对称性、消失矩等各维度进行比较,应选取具有较好对称性的和正则性的,同时消失矩较短的小波基函数,则可以保证图像在小波分解后更为完善的重构能力。

在考虑到图像分割的总体效率后,参考文献[26]对 DbN 系列小波基, SymN 系列小波基, CoifN 系列小波基的小波分解重构评价指标的对比,本文采取了单层离散小波分解,并使用均值,熵值,平均梯度都较为接近的 Db2 小波基,以获得计算量和分解效果上的折中。

经小波变换后,各方向上的小波高频分量即可通过施加权重的方法进行单个像素的逐一融合:

$$D_F(p) = \theta_V(p)D_V(p) + \theta_H(p)D_H(p) \quad (13)$$

式中: D_F 为融合后的低频分量; D_V , D_H 为 V 通道和 H 通道融合前的低频分量; θ 为权重。 $p = (x, y, k, l)$, 其中 x, y 表示该像素对应的空间坐标,而 k 为小波分解级数, l 为小波分频带数。

将两通道的图像均划分为 m 个面积相等的子图像,对其相对应的两个子图像进行灰度分布方差运算,得到

方差 R_V^i, R_H^i , 其中 $i = 1, 2, \dots, m$, 则对应的:

$$\begin{cases} \theta_V = \frac{R_V^i}{R_V^i + R_H^i} \\ \theta_H = 1 - \frac{R_V^i}{R_V^i + R_H^i} \end{cases} \quad (14)$$

以该权值对所有子图像进行融合运算,再将小波变换的高频分量绝对值较大的一个直接叠加,最后通过小波逆变换即可得到最终的融合结果。多通道增强和小波加权融合的效果如图 3 所示。

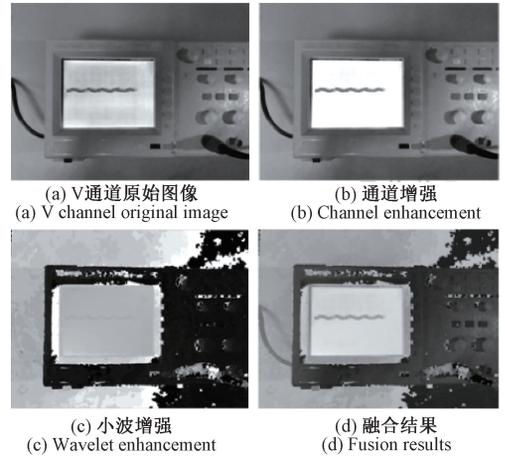


图 3 多通道增强加权融合

Fig. 3 Multi channel enhanced weighted fusion

综上所述,基于色调映射的双通道增强加权融合算法步骤如下。

算法 1: 基于色调映射的双通道增强加权融合算法

输入: I : 彩色形态学增强后的 RGB 图像;

Y : 屏幕区域的色调阈值, $Y \in [0, 255]$;

α : 双通道融合权重

输出: D : 双通道融合后的二值化图像

1 $I \xrightarrow{HSV} M$

2 $M \xrightarrow{\text{channel } H} M_H, M \xrightarrow{\text{channel } V} M_V$

M_H, M_V : 单通道 H、V 灰度图

x : 灰度图中的像素点, G_x : 点 x 的灰度值

3 $M_V^S = S(M_V)$

$S(\cdot)$: V 通道增强算法

4 $M_D = F(M_V^S, M_H, \alpha)$

$F(A, B, C)$: 通道加权融合算法

5 for x in M_D

6 if $G_x \in Y$ then

7 $G_x = 255$; 其他

8 $G_x = 0$

9 end

3 实验结果和分析

3.1 实验环境

本文的实验基于 C++ 和 MATLAB 语言编程实现,同时部分使用了计算机视觉库 OpenCV,计算机处理器为 Intel Core i7-5600U,2.6 GHz,内存 12 GB,并行计算处理器为 NVIDIA GTX850,显存 4G。

3.2 主观实验结果与分析

为了验证本文提出的算法的效果。本文测试了采集自变电站和实际工业生产环境中的 160 张单色液晶屏图像和 100 张 LCD 彩色液晶屏图像,收集了 3 种不同类型的单色液晶屏图像进行测试。同时对文献[4]采用的单通道增强及二值形态学处理方法和文献[8]采取的灰度能量图方法进行了对比实验。图 4~6 所示为 3 种不同类型的液晶屏图像的处理效果及与文献[4,8]的分割效果对比。

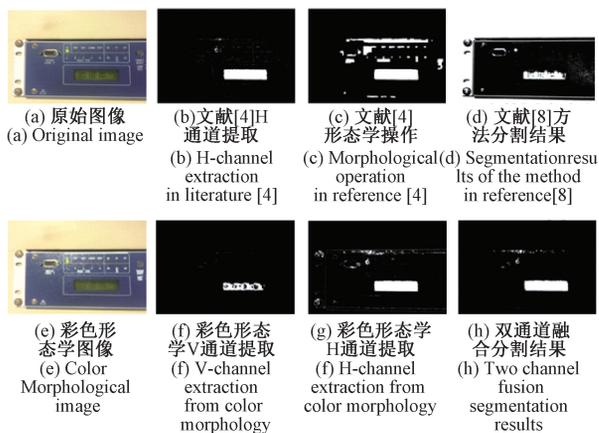


图 4 单色液晶屏 (1) 的分割结果

Fig. 4 Segmentation result of monochromatic LCD (1)

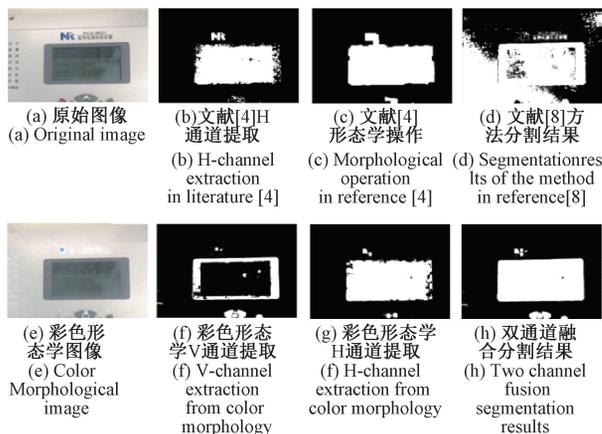


图 5 单色液晶屏 (2) 的分割结果

Fig. 5 Segmentation result of monochromatic LCD (2)

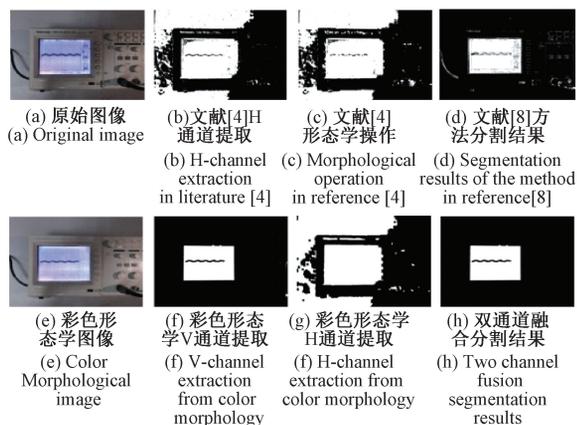


图 6 彩色液晶屏的分割结果

Fig. 6 Segmentation results of color LCD

从图 4(b)~6(b)和 4(c)~6(c)可以看出,传统的色调单通道提取后,液晶屏区域存在大量黑色斑块和噪点,同时边缘模糊而不平直,在二值形态学处理后,虽然屏幕内的黑斑得到一定的消除,但是由于形态学的腐蚀和膨胀作用,屏幕的边缘出现大量凸起和凹陷,同时背景中的干扰部分也在二值形态学处理中被放大,从而在后续识别定位中形成更大的干扰。同时由于算法的局限性,对于彩色液晶屏幕的分割效果低于对单色液晶屏的分割效果。

从图 4(d)~6(d)可以看出,灰度能量图对图像的自适应二值能力有限,不能很好地分辨背景和屏幕区域中灰度直方图能量级相似的区域,所以在背景区域和屏幕区域均存在大量的反色斑块干扰。

从图 4(a)~6(a)和 4(e)~6(e)对比可以看出,本文算法对原始图像进行彩色形态学处理,使屏幕区域的亮度和色度值趋于一致,且屏幕中的亮斑和黑色字符被提前消;从图 4(b)~6(b)和~4(g)~6(g)的对比可以看出,在彩色形态学处理后进行 H 通道图像提取,从轮廓完整度,边缘清晰度,干扰项数量和面积上均明显优于先进行单通道二值化再进行形态学处理的方法。

从图 4(f)、5(f)和 4(g)、5(g)对比可看出,由于屏幕亮度和色调的光学特性有所不同,所以图像在二值化后的黑斑分布,边缘轮廓,干扰项分布也呈现出不同。而本文的双通道增强融合算法,实现了对 V 通道的增强和双通道图像的信息互补,从图 4(h)~6(h)可以得出,融合后的图像,液晶轮廓得以完整保留且边缘区域平直规则,同时背景中的干扰项和屏幕中的黑斑得到有效的消除。

从图 6 识别效果可以看出,本文的处理方法可以在消除液晶屏内杂质干扰的同时最大限度的保留液晶屏区域完整的轮廓,而其他方法则出现了轮廓残缺的情况,故可以得出该方法对彩色液晶屏良好的分割性能。

3.3 客观实验结果与分析

为评客观价本文对液晶屏的分割性能,采用文献[27,28]的考察方法,来定量分析各方法的分割结果。其中召回率(Recall)和查准率(Precision)的计算公式为:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (15)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (16)$$

式中:TP代表不同方法的分割结果和正确分割结果相符像素点的个数;FN代表不同方法分割结果中被错分为背景的像素点的个数;FP代表分割结果中被错分为目标的像素点个数。

同时本文引入衡量图像分割准确度的指标像素精确度(PA)、MPA、平均交并比(MIoU)、频权交并比(FWIoU)作为验证本文算法与现有研究方法性能差异的评判标准。其中PA,指正确分类的像素个数和总像素数之间的比例,MPA为类别内像素正确分类概率的平均值,MIoU为真实值和预测值交集和并集的比例,FWIoU为以每个类出现频率设置权重后的MIoU。MPA和均MIoU的计算公式为:

$$MPA = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k \frac{P_{ii}}{\sum_{j=0}^k P_{ij}} \quad (17)$$

$$MIoU = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k \frac{P_{ii}}{\sum_{j=0}^k P_{ij} + \sum_{j=0}^k P_{ji} - P_{ii}} \quad (18)$$

$$FWIoU = \frac{1}{\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k P_{ij}} \sum_{i=0}^k \frac{\sum_{j=0}^k P_{ij} P_{ii}}{\sum_{j=0}^k P_{ij} + \sum_{j=0}^k P_{ji} - P_{ii}} \quad (19)$$

式中:k为类的总数;P_{ii}表示属于目标并被正确预测为目标的像素数量;P_{ij}表示本属于目标但被预测为背景的像素数量;P_{ji}表示并属于背景但被预测为目标的像素数量;FWIoU中的各参数含义与式(8)、(9)中的含义相同。

在实验时,以文献[4]方法(H通道提取法)、V通道提取法、文献[8]方法、文献[10]方法作为对照方法。经计算,对于单色液晶屏,各方法的比较结果如表1、2所示。

表 1 单色屏各方法性能比较

Table 1 Performance comparison of methods for monochrome screen

算法	Recall	Precision	PA	MPA	MIoU	FWIoU
文献[4]	0.927 8	0.872 4	0.876 6	0.865 7	0.856 9	0.853 8
V通道提取法	0.915 7	0.896 7	0.852 1	0.884 9	0.845 7	0.846 8
文献[8]	0.946 6	0.914 8	0.899 2	0.893 3	0.835 9	0.845 1
文献[10]	0.926 9	0.900 3	0.885 4	0.897 6	0.853 5	0.859 7
本文	0.981 8	0.952 9	0.975 7	0.975 7	0.897 8	0.898 3

对于彩色液晶屏,各方法的比较结果如表2所示。

表 2 彩色屏各方法性能比较

Table 2 Performance comparison of color screen

算法	Recall	Precision	PA	MPA	MIoU	FWIoU
文献[4]	0.877 9	0.886 6	0.864 8	0.851 9	0.850 1	0.840 6
V通道提取法	0.867 2	0.857 3	0.889 3	0.871 6	0.828 8	0.814 6
文献[8]	0.912 2	0.899 7	0.900 4	0.896 4	0.822 5	0.820 9
文献[10]	0.930 7	0.897 8	0.909 8	0.913 4	0.860 6	0.869 5
本文	0.971 6	0.960 3	0.981 2	0.968 3	0.947 7	0.933 6

从4个指标的评估可以得出,本文算法对屏幕区域的分割精确度更高,对背景区域的误分割率更低。同时在单色屏和彩色屏的分割表现均明显优于其他几种方法,体现出良好的普适度。

为考察本文算法在执行效率上的表现,分别统计了各方法在分割不同数量图像时的平均执行时间,时间变化曲线如图7所示。

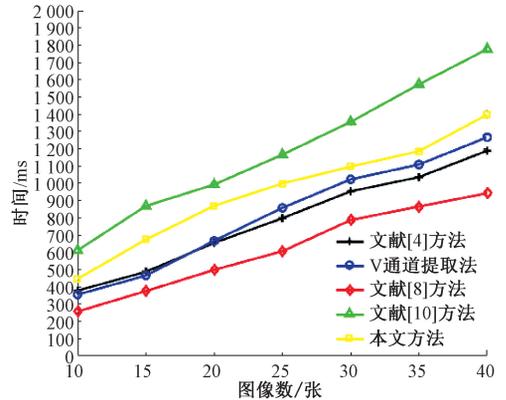


图 7 各方法的执行时间对比

Fig. 7 Comparison of execution time of each method

从执行时间的对比可见,由于在算法复杂性上明显的劣势,文献[8]的执行时间明显落后于其他算法,而由于本文算法涉及彩色形态学的处理过程以及色调映射函数的计算,所以在复杂性上高于文献[4,8]方法,计算量较之有所增大,但由于色调映射函数的计算过程仅需要单层循环的像素遍历,故执行速度与两文献方法差距较小。

综合以上的实验数据可以得出,本文方法在耗费了较低的执行时间的同时,分割效果有了显著的提升,其中单色液晶屏的平均像素精确度较之文献[4,8]分别提升了8.62%、8.43%,彩色液晶屏的平均像素精确度分别提升了12.33%、9.92%,单色液晶屏的MIoU较之文献[4,8]分别提升了6.37%、8.06%,彩色液晶屏的平均像素精确度较之文献[8]分别提升了10.03%、12.44%。而平均计算时间较之文献[10]降低了12.75%,由此可得出本文方法的在增加较小的时间复杂度的同时大幅增

加分割准确度的结论。同时该算法对单色液晶屏和彩色液晶屏都具有良好的分割效果。

4 结 论

本文基于对工业生产场景下电子液晶屏仪器仪表的分割识别问题,提出了一种基于彩色形态学的液晶屏区域分割方法。该方法首先用彩色形态学操作对原始图像进行增强,使屏幕中的亮度值域分布和色调值域分布区域平滑统一,和背景区域的边缘得到增强。然后利用HSV空间的H通道和V通道的提取和基于色调映射的V通道增强,提升了屏幕区域和背景的对比度,最后通过双通道加权融合算法和二值化完成对液晶屏区域的分割。通过对比实验,证明了本方法可以很大程度的对背景干扰项实现消除,同时使液晶屏区域的边缘明显,屏内部的黑斑和亮斑大幅减少,平均分割准确度提升了10%以上,分割性能得到提升。

参考文献

- [1] 赵世峰,何哲健. 基于 OpenCV 的复杂环境下图像二值化方法[J]. 电子测量技术, 2018, 41(6):55-59.
ZHAO SH F, HE X J. Binarization method for images acquired under complex environment based on OpenCV [J]. Electronic Measurement Technology, 2018, 41(6):55-59.
- [2] 张小芸,赵丽,吴金华,等. TFT 液晶面板色彩与滤色器及背光源关系的研究[J]. 光电子技术, 2016, 36(1):1-4.
ZHAO X Y, ZHAO L, WU J H, et al. Study on the relation of TFT LCD color gamut with color filter and backlight [J]. Optoelectronic Technology, 2016, 36(1):1-4.
- [3] 陈禹翔,李青,匡文剑. 双面显示技术的进展[J]. 光电子技术, 2012, 32(1):1-5.
CHEN Y X, LI Q, KUANG W J. Development of Dual-faced Display Technology [J]. Optoelectronic Technology, 2012, 32(1):1-5.
- [4] 梁伟建,洪涛,林笃盛,等. 基于机器视觉的智能电表外观缺陷检测系统设计[J]. 电测与仪表, 2013, 50(10):64-68.
LIANG W J, HONG T, LIN D SH. Design of smart meter visual inspection system based on machine vision [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(10):64-68.
- [5] 刘小燕,吴鑫,孙炜,等. 基于形态学重建和 GMM 的球团颗粒图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3):230-238.
LIU X Y, WU X, SUN W, et al. Image segmentation of pellet particles based on morphological reconstruction and GMM [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(3):230-238.
- [6] 林祥国,张继贤. 面向对象的形态学建筑物指数及其高分辨率遥感影像建筑物提取应用[J]. 测绘学报, 2017, 46(6):724-733.
LIN X G, ZHANG J X. Object oriented morphological building index and its application in building extraction from high resolution remote sensing images [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(6):724-733.
- [7] 高丽,令晓明. 基于数学形态学的 HSI 空间彩色边缘检测方法[J]. 光电工程, 2010, 37(4):125-129.
GAO L, LING X M. Color Edge detection based on mathematical morphology in HSI space [J]. Opto-Electronic Engineering, 2010, 37(4):125-129.
- [8] QU X, CHEN H, PENG G. Novel detection method for infrared small targets using weighted information entropy[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2012, 23(6):52-56.
- [9] 宫照煊,覃文军,郭薇,等. 改进的局部扩展拟合图像分割方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(4):483-486.
GONG ZH X, QIN W J, GUO W, et al. Improved region-scalable fitting image segmentation method [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2018, 39(4):483-486.
- [10] 姚林林,金琴花,荆晶,等. 基于角点检测的可降解支架轮廓分割算法[J]. 光学学报, 2019, 39(7):0715001-1.
YAO L L, JIN Q H, JING J, et al. Corner detection-based segmentation algorithm of bioresorbable vascular scaffold strut contours [J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(7):0715001-1.
- [11] TSAI D M, HOU H T, SU H J. Boundary-based corner detection using eigenvalues of covariance matrices [J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(1):31-40.
- [12] HE X C, YUNG N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [C]. 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004.
- [13] BURGETH B, KLEEFELD A. An approach to color-morphology based on Einstein addition and Loewner order [J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 47:29-39.
- [14] 何晓军,徐爱功,李玉. 基于模糊相似性的彩色形态学图像处理[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(1):264-269.
HE X J, XU AI G, LI Y. Color morphology image

- processing method based on fuzzy similarity [J]. Application Research of Computers, 2019, 36(1): 264-269.
- [15] 王金凤, 焦斌亮. 基于数学形态学的彩色图像边缘检测[J]. 工程图学学报, 2011, 32(6): 43-56.
WANG J F, JIAO B L. Color image edge detection based on mathematical morphology [J]. Journal of Engineering Graphics, 2011, 32(6): 43-56.
- [16] GOUTSIAS J, HEIJMANS H J A M, SIVAKUMAR K. Morphological operators for image sequences [J]. Computer Vision & Image Understanding, 1995, 62(3): 326-346.
- [17] MEULMAN J J, HUBERT L J, ARABIE P. Ordering and scaling objects in multivariate data under nonlinear transformations of variables [C]. Classification and Multivariate Analysis for Complex Data Structures, 2011.
- [18] YANG S, LIU J, YANG W, et al. Context-aware text-based binary image stylization and synthesis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 28(2): 952-964.
- [19] LUKAC R, SMOLKA B, MARTIN K, et al. Vector filtering for color imaging [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(1): 74-86.
- [20] ANGULO J. Morphological colour operators in totally ordered lattices based on distances: Application to image filtering, enhancement and analysis [J]. Computer Vision & Image Understanding, 2007, 107(1-2): 56-73.
- [21] 汤红忠, 黄辉先, 郭雪峰, 等. 新型彩色图像形态学处理方法[J]. 计算机应用, 2010, 30(8): 2101-2104.
TANG H ZH, HUANG H X, GUO X F, et al. New method of morphological color image processing [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(8): 2101-2104.
- [22] 戴声奎, 钟峥, 黄正晔. 基于最大熵模型的双直方图均衡算法[J]. 电子学报, 2019, 47(3): 678-685.
DAI SH K, ZHONG ZH, HUANG ZH W. Maximum entropy model based bi-histogram equalization algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2019, 47(3): 678-685.
- [23] 顾明, 郑林涛, 尤政. 基于颜色空间转换的交通图像增强算法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(8): 1901-1907.
GU M, ZHENG L T, YOU ZH. Traffic image enhancement algorithm based on color space conversion [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(8): 1901-1907.
- [24] 杨爱萍, 赵美琪, 宋曹春洋, 等. 基于色调映射和暗通道融合的弱光图像增强[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2018, 51(7): 106-114.

YANG AI P, ZHAO M Q, SONG C CH Y, et al. Low-Light Image Enhancement Based on Tone Mapping and Dark Channel Fusion [J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2018, 51(7): 106-114.

- [25] PAJARES G, DE LA CRUZ J M. A wavelet-based image fusion tutorial [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1855-1872.
- [26] MUDULI P R, PATI U C. A novel edge detection technique for multi-focus images using image fusion [C]. Intelligent Computing, Networking, and Informatics, 2014.
- [27] GATOS B, NTIROGIANNIS K, PRATIKAKIS I. ICDAR 2009 document image binarization contest (DIBCO 2009) [C]. International Conference on Document Analysis & Recognition, 2009.
- [28] GARCIA-GARCIA A, ORTS-ESCOLANO S, OPREA S, et al. A review on deep learning techniques applied to semantic segmentation [J]. 2017.

作者简介



邵晓琦, 2018年于河海大学获得学士学位, 现为河海大学硕士研究生, 主要研究方向为图像分割和工业缺陷检测。

E-mail: fkljboy@163.com

Shao Xiaoqi received his B. Sc. degree from Hohai University in 2018. He is now a M. Sc. candidate at Hohai University. His main research interests are image segmentation and industrial defect detection.



许海燕, 2011年于复旦大学获得博士学位, 现为河海大学副教授, 主要研究方向为智能信息处理。

E-mail: hyxu@hhu.edu.cn

Xu Haiyan received Ph. D. from Fudan University in 2011. Now she is an associate professor at Hohai University. Her main research direction is intelligent information processing.



侯一兴, 2018年于河海大学获得学士学位, 现为河海大学硕士研究生, 主要研究方向为水下探测与图像处理

E-mail: hyxu@hhu.edu.cn

Hou Yixing received his B. Sc. degree from Hohai University in 2018. He is now a M. Sc. candidate at Hohai University. His main research direction is underwater detection and image processing.



张学武, 教授, 主要研究方向为计算机视觉, 水下探测与通信。

E-mail: lab_112@126.com

Zhang Xuewu, professor, his main research interests are computer vision, underwater detection and communication.