

文章编号:1007-2780(2022)10-1326-08

多特征矩融合的液晶屏字符缺陷检测算法

陈 昕, 方成刚*

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 211800)

摘要: 为了实现液晶屏字符高效、精准的自动化检测, 针对液晶屏字符显示的断线、亮度缺陷, 提出一种基于多特征矩融合的液晶屏字符缺陷检测算法。首先提取原始液晶屏图像中 ROI 区域, 使用 Hu 不变矩来描述字符的结构特征, 采用 Zernike 矩来弥补 Hu 矩所不能描述的高阶矩信息; 然后使用颜色矩来描述字符的颜色特征, 采用灰度矩弥补颜色矩所不能描述的灰度信息, 并运用 2DPCA 技术融合上述矩阵, 通过欧氏距离来衡量标准图像融合特征矩阵与待检测图像融合特征矩阵之间的相似度, 通过设定相似度阈值来达到缺陷检测的目的。实验的客观和主观评价结果表明: 主观上, 该算法具有一定的稳定性、实用性; 客观上, 该算法相比于同类算法具有较低的误判率 1%、漏判率 0% 以及较高的效率 0.6 s, 基本满足实际检测需求。

关键词: Hu 矩; Zernike 矩; 颜色矩; 灰度矩; 2DPCA

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2022-0103

LCD character defect detection algorithm based on multi-feature moment fusion

CHEN Xin, FANG Cheng-gang*

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 211800, China)

Abstract: In order to realize the automatic detection of LCD characters efficiently and accurately, a character defect detection algorithm based on multi-feature moment fusion was proposed for the disconnection and brightness defects of LCD character display. Firstly, the ROI region of the original LCD image was extracted, Hu invariant moments were used to describe the structural characteristics of characters, and Zernike moments were used to compensate for the information of higher moments that Hu moments could not describe. The color moment was used to describe color features of the characters, and the gray moment was used to make up the gray information that the color moment can not describe. The matrices were fused using 2DPCA technology. The similarity between the standard image fusion characteristic matrix and the image fusion characteristic matrix to be detected were measured by Euclidean distance. By setting the similarity threshold, the goal of defect detection was achieved. Experiment results show that the algorithm is stable and practical subjectively. Objectively, compared with the similar algorithms, the algorithm has a lower false judgment rate of 1%, a lower misjudgment rate of 0% and a higher efficiency of 0.6 s, basically meeting the actual detection needs.

Key words: Hu moment; Zernike moment; color moment; gray moment; 2DPCA

收稿日期: 2022-03-31; 修订日期: 2022-04-11.

*通信联系人, E-mail: 1216298849@qq.com

1 引 言

字符型液晶屏是一种用于显示电动车码数、钟表时间等功能的产品,其字符能否正常显示决定了该产品的合格与否。传统的字符检测依靠人工质检,存在误判、漏判等问题。

近年来,由于机器视觉、图像处理的快速发展,基于图像的缺陷检测技术引起了学术界和工业界的广泛关注。刘伟^[1]等针对 SMD 字符,提出了一种基于连通域法的轮廓特征分析提取算法,将字符轮廓特征与标准字符的轮廓特征进行匹配。李定珍^[2]等针对 VFD 字符,提出了一种基于质心直线拟合的检测算法,通过最小二乘法进行直线拟合,进行基于平行直线的小角度倾斜校正,然后对不同点亮模式的图像特征进行判别。徐珩^[3]等通过借助多张字符图像来配准字符,以消除字符位姿变化带来的影响,并通过像素面积、灰度值特征来进行缺陷判别。徐炜东^[4]等提出了一种基于形状模板的 ASMIM 匹配算法,并利用加权归一化向量点积相似度来判别缺陷。郑菁菁^[5]等通过提取字符的像素密度特征以及运用字符映射算法进行缺陷检测。郑魁敬^[6]等通过字符灰度密度分布和灰度差的自适应阈值亮度法对字符区域进行遍历,进行字符的灰度缺陷检测。李海山^[7]等通过提取字符样本图像颜色直方图特征对卷积神经网络进行训练,达到色彩缺陷检测的效果。

以上算法中存在以下不足:单一的轮廓、几何特征检测缺陷的准确度较低。字符颜色、灰度缺陷检测目前还处于起步阶段,将以上两种缺陷检测相结合的算法还比较少。本文使用 Hu 不变矩来描述字符结构特征,采用 Zernike 矩来弥补 Hu 矩所不能描述的高阶矩信息^[8];使用颜色矩来描述字符在 HSV 通道下的颜色亮度特征,采用灰度矩来弥补颜色矩所不能描述的灰度信息。运用 2DPCA 技术对上述矩进行融合,通过欧氏距离来衡量相似度达到缺陷检测的效果,最终通过实验验证该算法的可靠性。

2 多特征矩检测框架

2.1 ROI 区域提取

ROI(Region of interest)提取是从被处理的

原始图像中以方框、圆、椭圆、不规则多边形等方式勾勒出需要处理的区域^[9]。本文研究对象为液晶屏图像中单个字符,针对字符字体的特点,结合图像处理手段可提取各字符所在区域。

提取出完整的字符是实现特征矩阵提取和特征描述以及缺陷检测的关键^[10]。对图像进行去噪、二值化、Canny 边缘检测预处理之后,通过 Hough 直线检测进行倾斜校正,形态学处理连接字符内部线段,连通域分析提取各字符区域来实现 ROI 区域提取,如图 1 所示。

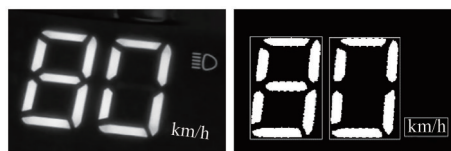


图 1 ROI 区域提取实现

Fig. 1 Implementation of ROI region extraction

2.2 检测总体框架

液晶屏字符常见缺陷有:断线、漏线;亮度过高、过低等。上述缺陷采用字符的结构(轮廓)、颜色(灰度)特征进行描述。字符特征矩阵包括轮廓矩阵、灰度矩阵。轮廓矩阵中包括 Hu 矩、Zernike 矩^[11],灰度矩阵中包括颜色矩、灰度矩^[12]。通过构造字符特征矩阵并采用 2DPCA 方式对矩阵进行融合,最终运用欧式距离进行模板图像特征矩与待检测图像特征矩的相似度衡量达到缺陷检测的目的,检测框架如图 2 所示。

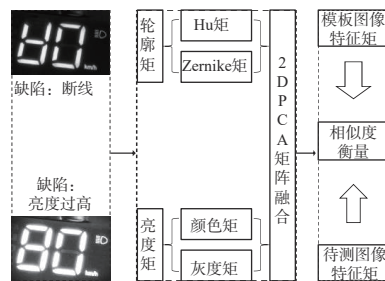


图 2 多特征矩检测框架

Fig. 2 Multi-feature moment detection framework

3 特征矩提取

3.1 Hu 矩的提取

图像的 Hu 矩是一种具有旋转、平移和尺度不

变性的图像特征。文生平等^[11]利用Hu矩算法对字符进行识别,结果表明Hu矩能够很好地提取字符轮廓特征参数。一张大小为 $C \times R$ 的图像 $f(x, y)$,其 $(p+q)$ 阶原点矩、中心矩以及归一化中心矩为:

$$\begin{cases} m_{pq} = \sum_{x=1}^C \sum_{y=1}^R x^p y^q f(x, y) \\ u_{pq} = \sum_{x=1}^C \sum_{y=1}^R \frac{(x-x_0)^p (y-y_0)^q}{(y-y_0)^q} f(x, y) \\ \eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^r}, \left(r = \frac{p+q}{2} \right) \end{cases}, \quad (1)$$

式中 p, q 分别为图像像素坐标中水平距离和垂直距离的阶数。 x_0, y_0 为目标区域的质心坐标, $x_0 = m_{01}/m_{00}$, $y_0 = m_{01}/m_{00}$ 。图像的Hu不变矩为:

$$I_1 = \eta_{20} + \eta_{02}, \quad (2)$$

$$I_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \quad (3)$$

$$I_3 = (\eta_{20} - 3\eta_{12})^2 + 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2, \quad (4)$$

$$I_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2, \quad (5)$$

$$I_5 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot$$

$$\begin{aligned} & \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ & (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \\ & \left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right], \quad (6) \end{aligned}$$

$$I_6 = (\eta_{20} - \eta_{02}) \cdot$$

$$\begin{aligned} & \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ & 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}), \quad (7) \end{aligned}$$

$$I_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot$$

$$\begin{aligned} & \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ & (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \\ & \left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right], \quad (8) \end{aligned}$$

式中 η_{02}, η_{11} 和 η_{20} 为二阶归一化中心矩, $\eta_{03}, \eta_{12}, \eta_{21}$ 和 η_{30} 为三阶归一化矩。针对无缺陷、有缺陷两种字符的不同姿态,如图3所示,其对应的Hu不变矩的特征量(由于7个数变化范围较大,为了便于比较,将特征量取对数显示)如表1所示。

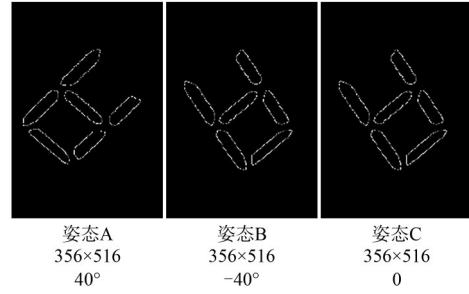


图3 不同姿态字符

Fig. 3 Different attitude characters

表1 不同姿态下的Hu矩

Tab. 1 Hu moment under different poses

Hu矩	姿态		
	A	B	C
I_1	0.690 0	0.697 3	1.000 4
I_2	-0.097 3	-0.041 1	1.181 2
I_3	0.484 3	0.452 4	-0.884 9
I_4	0.183 1	0.236 9	-1.817 1
I_5	0.472 4	0.518 4	-3.750 1
I_6	0.133 3	0.216 1	-0.976 6
I_7	0.150 3	0.282 7	-2.569 5

3.2 Zernike矩的提取

Zernike矩能有效识别属于同一类别却有着较大形状轮廓差异的字符。王峰等利用Zernike矩识别车牌字符,结果表明Zernike矩能够很好地提取字符轮廓特征参数^[13]。Zernike的正交多项式 $\{V_{nm}(x, y)\} = R_{nm}(\rho)e^{im\theta}$,其中:

$$R_{nm}(\rho) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} (-1)^s [(n-s)!] \rho^{(n-2s)}/$$

$$s!(0.5(n+|m|-s))!(0.5(n-|m|-s))!, \quad (9)$$

式中: n, m 为Zernike多项式的阶数; n 为非负的正数; $(n-|m|)$ 是偶数, $|m| \leq n$; $R_{nm}(\rho)$ 为点 (x, y) 的径向多项式。对上文中 $C \times R$ 大小的数字化离散的图像用求和来代替积分,其Zernike矩 Z_{nm} 为:

$$\frac{n+1}{\pi(n-1)^2} \sum_{x=1}^C \sum_{y=1}^R f(x, y) \bar{V}_{nm}(x, y). \quad (10)$$

针对图4中无缺陷、有缺陷两种字符的不同姿态,由于Hu矩的7个不变矩仅由二阶、三阶(低阶矩)构成,为了将字符的轮廓、结构特征描述得更加准确,采用Zernike矩的6、7、8、9、10、11阶矩(高阶矩)进行计算,矩的计算结果如表2所示。

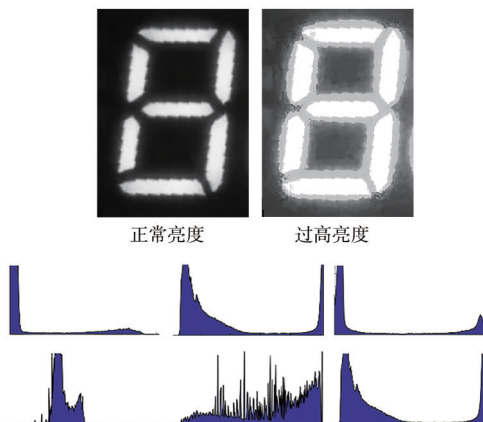


图 4 亮度缺陷 HSV 通道对比

Fig. 4 Comparison of HSV channels with luminance defects

表 2 不同姿态下的 Zernike 矩

Tab. 2 Zerniek moment under different poses

Zernike 矩	姿态		
	A	B	C
$Z_{6,0}$	1.872 4	1.883 2	0.990 3
$Z_{7,1}$	0.033	0.037	0.111 6
$Z_{8,0}$	2.317 1	2.378 3	1.672
$Z_{9,1}$	0.057 2	0.059 4	0.040 7
$Z_{10,0}$	2.878 5	2.903 3	1.92
$Z_{11,1}$	0.046 4	0.048 2	0.059 9

3.3 颜色矩的提取

颜色矩是一种图像颜色特征的表示方法^[14]。由于颜色信息主要分布于低阶矩中,所以采用一阶、二阶、三阶可以表达字符的颜色分布^[15]。颜色矩表示为:

$$\begin{cases} \mu_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{i,j} \\ \sigma_i = \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{i,j} - \mu_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ S_i = \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{i,j} - \mu_i)^3 \right)^{\frac{1}{3}} \end{cases}, \quad (11)$$

式中, $P_{i,j}$ 表示字符图像中第 i 个颜色通道分量中灰度为 j 的像素出现的概率, N 表示图像中像素的个数。

由于 HSV 空间饱和度、明度与人眼的主观认识比较符合^[15],因此,针对字符亮度缺陷,本文采用 H 、 S 、 V 三个分量以及三阶颜色矩组成一个

9 维的直方图向量,字符的颜色特征 F_{color} 表示如式(12)所示,正常亮度、过高亮度两张字符图像的 H 、 S 、 V 三分量比较如图 4 所示。

$$F = [\mu_H, \sigma_H, S_H, \mu_S, \sigma_S, S_S, \mu_V, \sigma_V, S_V]. \quad (12)$$

根据颜色特征式(12)可提取出正常亮度、过高亮度两张字符的颜色矩阵 F ,如表 3 所示。

表 3 亮度缺陷下的颜色矩

Tab. 3 Color moments under brightness defects

颜色矩 F_{color}	正常亮度	过高亮度
μ_H	0.367 4	0.226 6
σ_H	0.684 9	0.572 1
S_H	0.349 8	0.519 9
μ_S	0.057 9	0.050 8
σ_S	0.254 6	0.351 7
S_S	0.329 8	0.459 9
μ_V	0.052 6	0.085 7
σ_V	0.103 4	0.377 6
S_V	0.346 3	0.180 2

3.4 灰度矩的提取

本文灰度矩是字符图像的灰度特征。郑魁敬等^[6]通过灰度矩算法来检测手机背面缺陷,结果表明灰度矩能够很好地描述目标区域的灰度分布特征情况。灰度矩 G 包括灰度特征中的以下部分:灰度均值 m :表示图像的亮暗不同;灰度方差 σ^2 :反应了字符亮度缺陷图像的灰度值的离散程度;灰度熵 e :灰度熵的大小具有不同的意义,值越大表示字符图像包含的信息越多;偏斜度 ξ :表示目标区域灰度直方图的偏斜性,值越小表示直方图越对称。

$$\begin{cases} m = \sum_{i=0}^{K-1} K_i P(K_i) \\ \sigma^2 = \sum_{i=0}^{K-1} (K_i - m)^2 P(K_i) \\ e = - \sum_{i=0}^{K-1} P(K_i) \log_2 P(K_i) \\ \xi = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=0}^{K-1} (K_i - m)^3 P(K_i) \end{cases}, \quad (13)$$

式中, K 表示灰度级数, K_i 表示第 i 个灰度级, $P(K_i)$ 表示 K_i 出现的概率。针对图 5 并结合式(13)提取灰度矩,如表 4 所示。

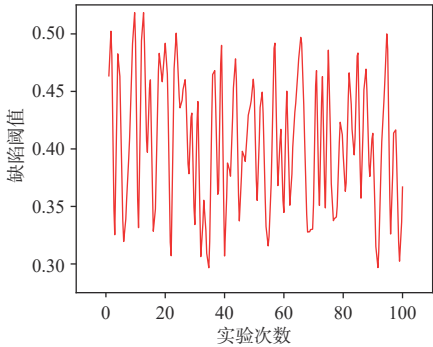


图 5 100 张缺陷字符欧氏距离分布
Fig. 5 Euclidean distance distribution of 100 defective characters

表 4 亮度缺陷下的灰度矩

Tab. 4 Gray moments under brightness defects

灰度矩 G	正常亮度	过高亮度
m	70.938 2	116.086 3
σ^2	6 757	10 196
e	6.683 5	6.306 7
ξ	78.331 3	60.614 6

4 特征矩融合与缺陷判别

4.1 2DPCA 的矩阵融合

将 4 组特征矩 Hu、Zernike、 F 、 G 组成 $m \times n$ 的矩阵 T , 其中 $m=4, n=\max(n_1, n_2, n_3 \cdots n_m)$, 若矩阵维数小于 n , 则向量维数向后补 0 使其维数扩展为 n , 得到字符特征矩 T 为:

$$T = \begin{bmatrix} I_1 & Z_{6.0} & \mu_H & m \\ I_2 & Z_{7.1} & \sigma_H & \sigma^2 \\ I_3 & Z_{8.0} & S_H & e \\ I_4 & Z_{9.1} & \mu_S & \xi \\ I_5 & Z_{10.0} & \sigma_S & 0 \\ I_6 & Z_{11.1} & S_S & 0 \\ I_7 & 0 & \mu_V & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_V & 0 \\ 0 & 0 & S_V & 0 \end{bmatrix}^T. \quad (14)$$

2DPCA 通过降维的方式, 将 T 投影到低维的平面上, 获得低维融合特征^[16]. 假设 X 为一个 n 维归一化列向量, 将 T 按公式 (15) 投影到 X 上获得一个 m 维的投影列向量 Y :

$$Y = TX. \quad (15)$$

字符图像所有的特征向量投影到 X 上就得到所有样本的投影向量, 投影向量之间的分散

程度代表了 X 区分样本的能力, 本文采用投影向量的协方差 $J(X)$ 表示分散程度。当 $J(X)$ 的值取最大时, X 对特征向量的区分能力最强, 如式 (16) 所示:

$$G_t = E(T - ET)^T(T - ET), \quad (16)$$

定义 G_t 为特征矩阵的相关矩阵, 假设有 M 个特征矩阵数据, $m \times n$ 的矩阵 $T_i (i = 1, 2, \cdots, M)$, 则平均特征矩阵为:

$$\bar{T} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_i, \quad (17)$$

则:

$$G_t = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (T_i - \bar{T})^T(T_i - \bar{T}), \quad (18)$$

综上,

$$J(X) = X^T G_t X. \quad (19)$$

因此, 使得 $J(X)$ 最大化的投影方向集 $\{X_1, X_1, \cdots, X_d\}$ 是 G_t 的前 d 个最大特征值对应的彼此正交的特征向量, d 需要满足:

$$\begin{cases} \sigma_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, i = 1, 2, \cdots, n \\ \sigma_{\text{cum}} = \sum_{i=1}^d \sigma_i > \theta \end{cases}, \quad (20)$$

式中, λ_i 是 G_t 的 n 个特征值, σ_i 为特征值的贡献度因子, σ_{cum} 为前 d 个特征值的累计贡献度。将矩阵 T 投影到这些向量集上即可得到融合后的特征向量:

$$Y_K = TX_K, k = 1, 2, \cdots, d. \quad (21)$$

由 Y_K 主成分向量形成 $m \times d$ 的矩阵 $Z = [Y_1, Y_2, \cdots, Y_d]$ 称为字符特征矩阵 T 的融合特征矩阵。

4.2 缺陷判别

为了衡量标准图像与待检测图像之间特征矩的相似程度^[17], 本文采用欧式距离来衡量^[18]. 假设 Z_i, Z_j 分别是标准字符、待检测字符的融合特征矩, 则欧氏距离为:

$$\text{dist}_{Z_i, Z_j} = \sqrt{(Z_i - Z_j)(Z_i - Z_j)^T}. \quad (22)$$

为了达到字符缺陷检测的目的以及避免误判、漏判, 结合融合特征矩阵之间的欧氏距离, 通过实验法确定缺陷阈值, 从而判定是否存在缺陷。

5 实验验证分析

由于液晶屏在实际生产过程中字符存在缺陷的几率较小,该缺陷检测属于偏斜类问题^[19]。为了选取合适的缺陷阈值以防止错判、漏判等情况发生,选择 100 张缺陷(包含亮度、轮廓缺陷)不显著的字符图像计算其与标准字符的欧氏距离^[20],如图 5 所示。

由图 5 数据可知,100 张缺陷不显著的字符图像的特征矩与标准字符图像的特征矩之间的欧氏距离最大值为 0.498 35,最小值为 0.302 26,因此满足式(23)的欧氏距离即认为该字符存在缺陷。

$$\text{dist}_{z_i, z_j} \geq \text{Threshold} = 0.302\ 26. \quad (23)$$

本文多特征矩融合的字符缺陷检测算法通过 Matlab2018a 软件编程实现。为了检验算法的有效性以及缺陷阈值的稳定性,仿照秦钟伟等的方法^[21],采用主观评价和客观评价 2 种方式进行评价。主观评价是指将算法检测的结果与人工检测的结果做主观对比,该方法较为直观。客观评价主要是将该算法的检测结果与同类问题下的算法结果相比较,评价其效率以及准确性。

主观评价:从上述 100 张缺陷字符之外选取 2 张典型缺陷的字符图像,将人工目测结果与算法检测结果进行对比,如图 6 所示。



(i) 人工目测结果:均存在缺陷
本文算法结果: $\text{dist}_i=0.510\ 3$, $\text{dist}_i=0.392\ 5$

图 6 主观评价结果

Fig. 6 Results of subjective evaluation

客观评价:采用本文融合算法与单独算法在相同工况下各自处理两种典型缺陷各 100 张随机字符图像,比较识别效率(单张液晶屏图像检测时间)、误判率(将正常字符判定为缺陷字符)、漏判率(将缺陷字符判定为正常字符)、准确率(能够准确判别缺陷),如表 5 和图 7 所示。

表 5 本文融合特征与单一特征比较

Tab. 5 Comparison of fusion features and single features

	误判率/%	漏判率/%	效率/s
Hu 矩	12	6	0.5
Zernike 矩	8	2	0.6
颜色矩	14	0	0.7
灰度矩	9	0	0.5
本文算法	1	0	0.6

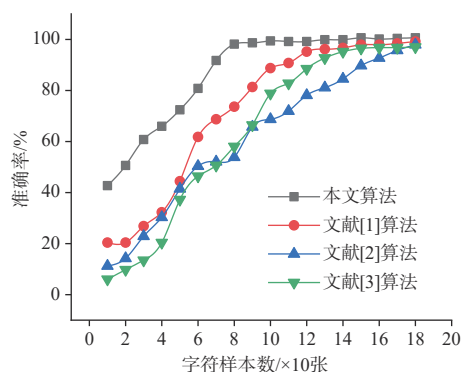


图 7 本文算法与同类算法比较

Fig. 7 Algorithm presented in this paper compared with similar algorithms

通过上述主观评价和客观评价,证明了本文所提算法的稳定性。该算法在与同类算法相同效率的情况下降低了字符的误判率以及漏判率,效果优于同类算法,提高了字符缺陷检测的准确性。

6 结 论

本文为了满足液晶屏字符自动化检测高效、准确的需求,保证检测的低误判率、低漏判率,提出了一种基于多特征矩融合的字符缺陷检测算法。

将字符结构轮廓特征的 Hu 矩、Zernike 矩和字符颜色灰度特征的颜色矩、灰度矩,采用 2DPCA 的方式生成融合特征矩,并通过欧氏距离衡量标准融合特征矩与待测融合特征矩的相似度,实验设定缺陷相似度阈值,达到缺陷检测的效果。

在主观评价方面,人眼检测结果与算法结果相比较,证明了该算法的实用性以及缺陷阈值的稳定性;在客观评价方面,本文算法与同类算法的比较结果表明,证明该算法具有优于同类算法的准确性,误判率为 1%,漏判率为 0%,效率为 0.6 s。

参 考 文 献:

- [1] 刘伟,韩震宇.基于机器视觉的SMD字符缺陷检测[J].科技与创新,2018(9):114-115.
LIU W, HAN Z Y. SMD character defect detection based on machine vision [J]. *Science and Technology & Innovation*, 2018(9): 114-115. (in Chinese)
- [2] 李定珍,王萍.VFD显示图像缺陷检测技术研究[J].液晶与显示,2013,28(1):138-145.
LI D Z, WANG P. Defects detection technology of VFD display image [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 138-145. (in Chinese)
- [3] 徐珩,刘学平.基于多对象匹配与融合字符特征的印刷质量检验方法[J].包装工程,2019,40(11):188-193.
XU H, LIU X P. Printing quality inspection method based on multi-object matching and fusion character features [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(11): 188-193. (in Chinese)
- [4] 徐炜东,郭斌,张永超,等.液晶屏字符显示缺陷检测算法研究[J].中国计量学院学报,2014,25(2):139-143.
XU W D, GUO B, ZHANG Y C, *et al.* Research on defect detection algorithm of LCD character display [J]. *Journal of China Jiliang University*, 2014, 25(2): 139-143. (in Chinese)
- [5] 郑菁菁.指针式仪表表盘的缺陷检测[J].科技经济市场,2010(4):34-36.
ZHENG J J. Defect detection of dial of pointer instrument [J]. *Science & Technology Economy Market*, 2010(4): 34-36. (in Chinese)
- [6] 郑魁敬,刘学超,王萌萌.基于机器视觉的手机电池表面缺陷检测[J].制造技术与机床,2020(4):105-112.
ZHENG K J, LIU X C, WANG M M. Surface defect detection of mobile phone battery based on machine vision [J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2020(4): 105-112. (in Chinese)
- [7] 李海山,唐海艳,梁栋,等.基于卷积神经网络的印刷品颜色缺陷检测[J].包装工程,2021,42(23):170-177.
LI H S, TANG H Y, LIANG D, *et al.* Detection of printing color defect based on convolutional neural network [J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(23): 170-177. (in Chinese)
- [8] 范蟠果,薛小斌,王恩俊.基于Hu矩、Zernike矩和小波矩的局部放电识别分析[J].电气应用,2016,35(19):58-61,70.
FAN P G, XUE X B, WANG E J. Identification of PARTIAL discharge based on Hu moment, Zernike moment and wavelet moment [J]. *Electrotechnical Application*, 2016, 35(19): 58-61, 70. (in Chinese)
- [9] 张丽红,张慧,王晓凯.边缘检测和区域生长相结合的图像ROI提取方法[J].计算机技术与发展,2011,21(4):234-237.
ZHANG L H, ZHANG H, WANG X K. An ROI search method for color images based on edge detection and region growing [J]. *Computer Technology and Development*, 2011, 21(4): 234-237. (in Chinese)
- [10] 赵婷婷,唐晶磊,黄志远,等.基于孤立像素点去除的车牌ROI区域快速定位方法研究[J].现代计算机,2014(9):46-50.
ZHAO T T, TANG J L, HUANG Z Y, *et al.* Research on the method of license ROI plate fast location based on isolated pixel removal [J] *Modern Computer*, 2014(9): 46-50. (in Chinese)
- [11] 文生平,冯泽锋,洪培烽,等.基于改进Hu矩算法的AGV字符识别研究[J].计算机测量与控制,2020,28(5):229-232,251.
WEN S P, FENG Z F, HONG P F, *et al.* Research on AGV character recognition based on improved Hu moment algorithm [J]. *Computer Measurement & Control*, 2020, 28(5): 229-232, 251. (in Chinese)
- [12] 兰蓉,贾世英.基于纹理与颜色特征融合的刑侦图像检索算法[J].西安邮电大学学报,2016,21(2):57-62.
LAN R, JIA S Y. A retrieval algorithm of forensic image fusion based on fusioning texture and color feature [J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2016, 21(2): 57-62. (in Chinese)
- [13] 王峰,孟立凡,李艳.基于伪Zernike矩的车牌字符识别[J].电子测试,2012(8):19-23.
WANG F, MENG L F, LI Y. License plate character recognition based on pseudo-Zernike moment [J]. *Electronic Testing*, 2012(8): 19-23. (in Chinese)
- [14] 施怡澄,刘润波,陈玉婷.基于Surf和改进颜色矩的服装图像检索算法研究[J].湖南工程学院学报(自然科学版),2021,31(3):53-58.

- SHI Y C, LIU D B, CHEN Y T. Research on garment image retrieval algorithm based on surf and improved color moment [J]. *Journal of Hunan Institute of Engineering (Natural Science Edition)*, 2021, 31(3): 53-58. (in Chinese)
- [15] 柯洁. 基于数学形态学和灰度矩的高温亚像素边缘检测[J]. 工具技术, 2019, 53(3): 132-136.
- KE J. Subpixel edge detection method under high temperature based on mathematical morphology and gray moment [J]. *Tool Engineering*, 2019, 53(3): 132-136. (in Chinese)
- [16] 胡娜, 马慧, 湛涛. 融合LBP纹理特征与B2DPCA技术的手指静脉识别方法[J]. 智能系统学报, 2019, 14(3): 533-540.
- HU N, MA H, ZHAN T. Finger vein recognition method combining LBP texture feature and B2DPCA technology [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2019, 14(3): 533-540. (in Chinese)
- [17] 李漫丽, 赵鹏. 基于图像融合的木板表面缺陷检测研究[J]. 液晶与显示, 2016, 31(9): 882-888.
- LI M L, ZHAO P. Wood surface defect detection based on image fusion [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(9): 882-888. (in Chinese)
- [18] 王静, 姚远. 基于特征距离的CNN人脸识别方法的实现[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2021, 40(2): 67-70.
- WANG J, YAO Y. Realization of face recognition method based on CNN and feature distance [J]. *Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition)*, 2021, 40(2): 67-70. (in Chinese)
- [19] 姜涛, 张桂林, 高俊鹏. 面向机器视觉检测的缸体横孔照明[J]. 中国光学, 2020, 13(6): 1285-1292.
- JIANG T, ZHANG G L, GAO J P. Illumination of a cylinder block transverse hole for machine vision inspection [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13(6): 1285-1292. (in Chinese)
- [20] 赵鹏鹏, 李庶中. 融合视觉显著性和局部熵的红外弱小目标检测 [J]. 中国光学, 2022, 15(2): 267-275.
- ZHAO P P, LI S Z. Infrared dim small target detection based on fusion of visual saliency and local entropy [J]. *Chinese Optics*, 2022, 15(2): 267-275. (in Chinese)
- [21] 秦钟伟, 陈捷, 洪荣晶, 等. 摩擦片表面缺陷的视觉显著性检测算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2019, 53(10): 1883-1891.
- QIN Z W, CHEN J, HONG R J, *et al.* Visual salience detection algorithm for surface defects of friction sheets [J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2019, 53(10): 1883-1891. (in Chinese)

作者简介:



陈 昕(1998—),男,江苏兴化人,硕士研究生,2020年于南京工业大学浦江学院获得学士学位,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail:1216298849@qq.com



方成刚(1974—),男,江苏大丰人,博士,副教授,2004年于南京工业大学获得博士学位,主要从事智能制造方面的研究。E-mail:279119134@qq.com