

复杂底纹柔性卫生用品表面缺陷检测算法研究

陈世彬, 唐英杰, 赵鹏

(北京印刷学院 信息工程学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 柔性卫生用品由于其材料表面不平整、产品容易发生变形等特性, 给机器视觉中图像关键区域的定位和分割带来了很大问题, 从而影响检测结果。为了解决复杂底纹柔性卫生用品表面脏点的检测问题, 提出一种新型检测算法, 以实现对复杂底纹柔性卫生用品快速又精准的检测。**方法** 在该检测算法中首先对采集的模板图像和样本图像进行预处理, 在模板图像中创建一个合适特征模板, 根据特征模板进行样本图像的匹配和定位; 然后把经过精准定位后的样本图像进行关键区域分割; 最后运用差影法把样本关键区域中的缺陷找出。该算法采用德国 MVtec 公司的 halcon 算子加以编程实现。**结果** 实验结果显示, 该算法能够识别棉芯表面大于 0.04 mm^2 的脏点, 检测 1 幅图片的平均时间平均在 100 ms, 检测准确率为 100%。**结论** 文中方法与传统方法相比, 鲁棒性强, 速度快, 能够满足工业高速生产的需求。

关键词: 柔性卫生用品; 机器视觉; Halcon; 图像检测

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)23-0132-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.023

Surface Defect Detection Algorithm for Flexible Hygiene Products with Complex Shading

CHEN Shi-bin, TANG Ying-jie, ZHAO Peng

(School of Information Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: Uneven material surface, likeliness to deform and other features of the flexible hygiene products bring great problems to the positioning and segmentation of key areas of the image in machine vision, thus affecting the detection results. In order to solve the problem of detecting dirty spots on complex shading flexible hygiene products, the work aims to propose a new detection algorithm to realize the rapid and accurate detection of complex shading flexible hygiene products. Firstly, the proposed detection algorithm pre-processed the collected template images and sample images, created a proper feature template from template images, matched and located sample images according to feature templates. Then, the key areas of the accurately located sample images were segmented. Finally, the difference shadow method was used to find out the defects in the key region of the sample. The proposed algorithm was implemented by halcon operator of MVtec company in Germany. Experimental result showed that the proposed algorithm could identify dirty spots greater than 0.04 mm^2 on the surface of the cotton core. The average time cost was 100 ms, and the detection accuracy was 100%. Compared with traditional methods, the proposed method is robust, fast and able to meet the needs of industrial high-speed production.

KEY WORDS: flexible hygiene products; machine vision; Halcon; image detection

近几年, 柔性卫生用品行业开始朝着产品种类多样化、卫生用品高质量的方向发展。只有高质量的产品才能够更好地保证企业的长足发展。在实际的卫生用品生产过程中, 需要在高速的流水线上对印好的卫

生用品进行产品的质量检测, 以防止出现脏点, 污渍等产品质量的问题。

目前对于大多数柔性卫生用品检测依然停留在人工检测的方法上^[1], 人工检测方法时间消耗大、人

收稿日期: 2018-08-07

作者简介: 陈世彬 (1992—), 男, 北京印刷学院硕士生, 主攻机器视觉与图像处理。

通信作者: 唐英杰 (1963—), 男, 北京印刷学院副教授, 主要研究方向为机器视觉与图像处理。

工成本高，与此同时，人工长时间的重复作业容易使人产生疲倦，从而导致检测结果不可靠。近年来，以数字图像处理、模式识别和现场分析等交叉学科的发展为基础，孕育出了机器视觉技术^[2-5]。该技术被越来越多的应用到工业产品的表面缺陷检测当中。由于机器视觉技术具快速性、低成本性和可靠性，使得该技术成为了一个新的关注点，它显著地提高了柔性卫生用品的质量和品质^[6]。

在卫生用品生产现场，生产卫生用品企业最关注的缺陷检测是污点检测，其中以从固定底纹的产品表面检测出类似于底纹的污点最为不容易，由于其污点缺陷和底纹灰度值相近，给机器视觉的检测带来很大的麻烦。同时，产品在流水线上生产时，由于其柔性材质的原因，导致产品在图像采集时会出现一定的形变，这时需要精确的对产品进行定位，才能更好地检测产品。

文中提出一种以机器视觉技术为基础利用 Halcon 平台搭建检测算法的一种解决方案，在一定程度上解决柔性卫生用品缺陷检测时错误率高、检测时间较长的问题。

1 算法概述

针对固定底纹柔性卫生用品缺陷检测的问题，提出了一种用 Halcon 算子构建一种新型检测算法，该算法的运算流程见图 1。

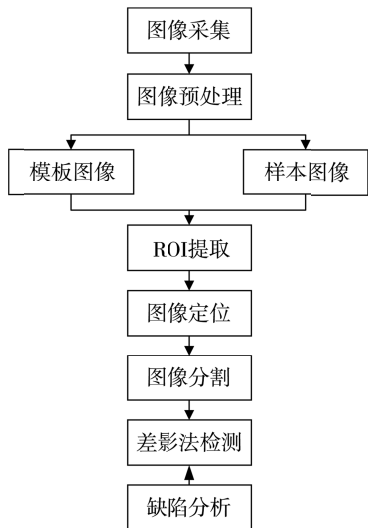


图 1 算法的基本流程
Fig.1 Basic flow of the algorithm

首先要确定一个标准的模板图像见图 2。为了降低后续图像缺陷检测的烦琐度，对模板图像和样本图像进行预处理，在模板图像上创建一个具有唯一特征的感兴趣区域（ROI）；然后利用模板图像的中心坐标和样本图像旋转角度通过仿射变换来对样本图像进行图像匹配和图像的精准定位；把模板图像和配准

后的样本图像进行区域分割；最后把分割后的样本图像和模板图像利用差影法将前后 2 帧图像相减，利用区域连通以及图像膨胀与腐蚀等技术提取出检测出来的缺陷。

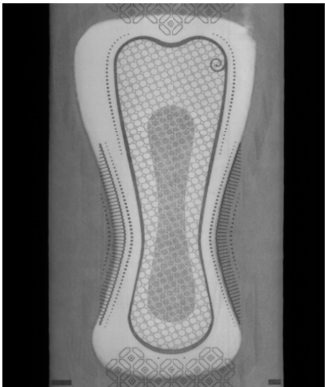


图 2 标准的模板图像
Fig.2 Standard template image

2 图像定位及分割

2.1 ROI 的创建

在图像处理中，为了降低计算量以及计算的复杂度会选择一个比较重要的区域进行分析，那么这个区域被认为是感兴趣区域，也就是 ROI 区域。ROI 的创建是图像定位的基础，在 Halcon 中先用 gen_rectangle 算子创建一个合适的矩形区域，见图 3，为了保证模板匹配的精确度，创建的矩形区域应该包含有本产品图像的唯一特征，比如花纹的大小、轮廓的粗细、排列的规整等信息，然后用 create_shape_model 来对划分的矩形区域进行处理，创建一个基于该区域的特征模型。该实验提取的 ROI 区域特征模型见图 4。

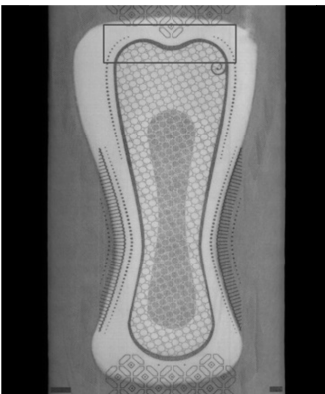


图 3 ROI 的创建
Fig.3 Creation of ROI

2.2 图像的配准

图像的配准主要是用来解决产品在流水线生产过程中出现移位、旋转等情况，从而影响产品正常检测的问题。先在样本图片中用 Halcon 的 find_shape



图 4 ROI 的提取
Fig.4 ROI extraction

model 算子找到模板图像中创建的 ROI 区域, 然后根据模板图片中区域的中心坐标和旋转角度创建一个空间几何变换模型来进行精准的定位。该实验主要采用刚体变换仿射模型来对图像进行配准^[7]。即一个由旋转和平移构成的变换, 并将它作为齐次变换矩阵的同矩阵。

变换矩阵由 2 个组成部分组成: 一个旋转矩阵 R 和一个位移向量 t 。变换矩阵 T 的数学模型见式 (1)。

$$T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = H(t) \cdot H(R) \quad (1)$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: T 为输出变换矩阵; R 为旋转矩阵; t 为移位向量。

齐次向量点的表达式 (3) 为:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

原始点的坐标在 $(x_1 y_1)$ 中传递, 而相应的角在 θ_1 中传递。转换点的坐标在 $(x_2 y_2)$ 中传递, 而相应的角在 θ_2 中传递。配准区域图的效果见图 5。

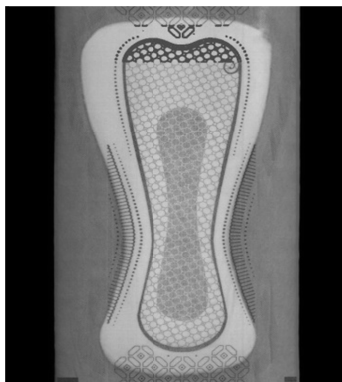


图 5 配准区域
Fig.5 Registration area

变换矩阵 T 的数学模型见表 1。

表 1 中的 S 表示黑色区域内所有的像素的个数之

表 1 变换矩阵 T
Tab.1 Transformation matrix T

S	X	Y	T
199 928	243.5	1068.5	[1.0, -0.0, 243.5, 0.0, 1.0, 1068.5]

和; X 表示黑色区域中心的横坐标; Y 表示黑色区域中心的纵坐标; T 表示输出的变换矩阵。

经过上述的仿射变换和图像配准后, 就可以更精确地对样本图像进行图像分割, 是后面用差影法^[8]检测样本图像缺陷最为关键的一步。

2.3 图像分割

图像分割就是根据图像的不同区域的特征将其细分为多个子区域的过程。其目的就是能够得到与所要获得目标有关的图像子区域, 减少一些与其不相关区域在研究时的干扰, 进而减少计算量^[9]。图像分割方法一般包括阈值分割法、边缘分割法、区域分割法和一些特定理论的分割法。

该实验先用动态阈值分割 `dyn_threshold` 来提取滤波后模板图像和样本图像的轮廓, 再经过图像轮廓的连通、填充, 用 `gen_contour_region_xld` 算子提取图像的边缘轮廓, 然后经过边缘轮廓的增长和腐蚀, 最后用 Laws 纹理过滤器 `texture_laws` 过滤图像即可得到分割后棉芯区域的轮廓, 见图 6。

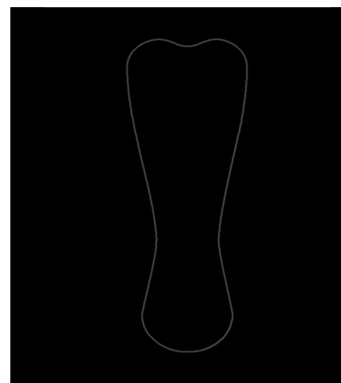


图 6 棉芯区域轮廓提取
Fig.6 Cotton core area contour extraction

3 差影法及缺陷分析

在卫生品表面缺陷检测中, 标准模版图像和样本图像都是来源于实际现场的同一台流水线上采集, 由于图像的位置基本上是固定不变的, 这些采集到的图像具有大小、尺寸、灰度值等特征相似, 因此可以对标准模版图像和待检测图像进行逐一像素之间的相减, 从而得到二者之间的像素差异的信息^[10], 再根据差异的信息设置阈值来判定卫生用品是否合格。

3.1 差影法

设标准模版图像为 $\pi(x, y)$, 待检测图像为 $S(x, y)$,

进行匹配减法之后得到的差分图像为 $D(x, y)$ ，见式 (4)。

$$D(x, y) = |S(x, y) - T(x, y)| \quad (4)$$

式 (3) 表示的是 2 幅图像对应像素点之间的灰度差的绝对值。其中， $D(x, y)$ 的值越小，说明 2 幅图像之间对应的像素越相似，也就是说 2 幅图像相似度越高。

差影图像效果见图 7。

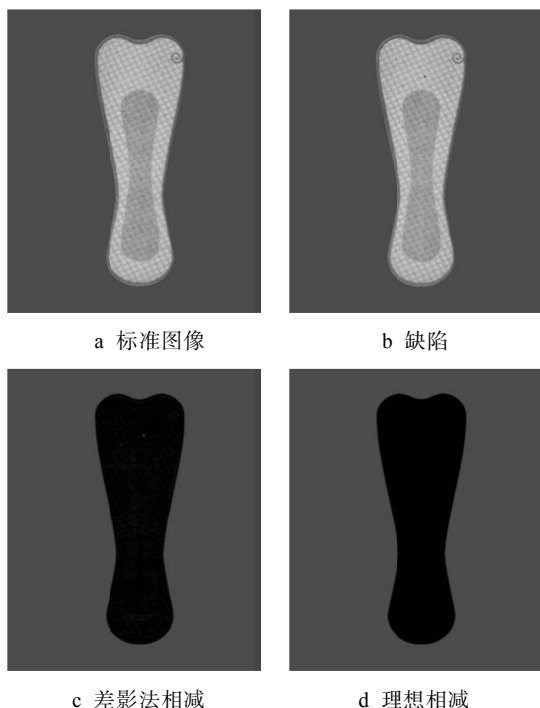


图 7 差影法效果

Fig.7 Effect of difference shadow method

用差影法对图像进行缺陷检测时，不仅方法比较简单，而且实现起来也相当容易。也就是说，由于差影法是以像素点为单位进行处理的，因此可以检测出每一个像素点和标准模版图像像素点的差别，又因为只进行了一次减法运算，所以处理速度很快，可以满足高速工业检测的要求。

3.2 缺陷图的形态学处理

形态学^[11-15]处理就是用数字形态学作为工具把图像中有用的分量从图像中提取出来，用以表达区域的形状的过程。数学形态学是由形态学的代数运算符构成，其基本运算有 4 种：膨胀、腐蚀、开操作和闭操作^[16]。该实验根据对图像的分析，先应用闭操作对图像进行检测后的处理，再经过区域连通来对缺陷像素进行标记。闭操作也就是先膨胀再腐蚀的过程，在 Halcon 中调用得是 closing_circle 算子，也就可以填充图像细小的空洞，并且平滑图像的边界。闭运算处理效果见图 8。

在数学形态学上，膨胀就是把与物体接触的所有背景点合并到该物体中，使得边界向外部扩张的过

程，可以用来填补物体中的空洞。其数学表达式见式 (5)。

$$X \oplus S = \{x | S[x] \cap x \neq \emptyset\}, x \in S \quad (5)$$

图像膨胀的原理是使元素 S 的中心原点移动到目标图像的像素点 (x, y) 处，膨胀的结果是使二值图像变大 1 圈。

在数学形态学上，腐蚀就是一种消除边界点，使边界向内部收缩的过程。其数学表达式见式 (6)。

$$X \ominus S = \{x | S[x] \subseteq X\}, x \in S \quad (6)$$

式中： X 为目标图像连通域； S 为结构元素； $S[x]$ 为图像 S 被平移 x 个像素后的结果。腐蚀的结果就是使得二值图像减小 1 圈。

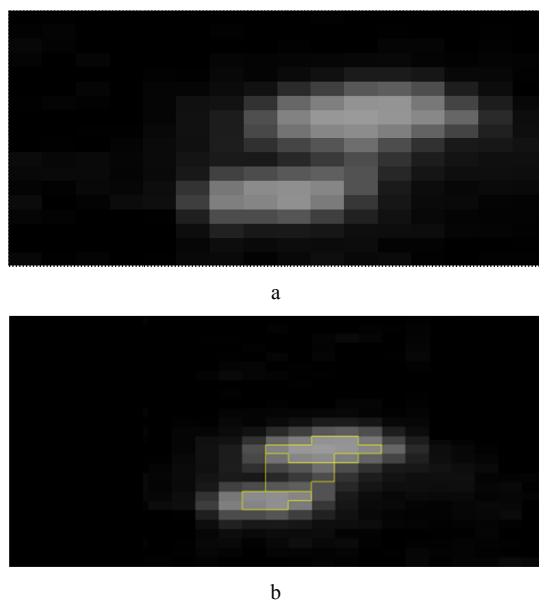


图 8 闭运算效果

Fig.8 Closed operation renderings

3.3 连通区域

阈值分割后，为了提取目标像素，需要进行连通性处理，以便将目标图像聚合为目标像素的连接体^[17]。

连通区域标记法是对二值图像中目标像素点进行标记，让每个单独连通的区域形成被标识的块状区域，从而就可以得到这些块状区域的轮廓、质心和各种矩阵，更加方便处理和标记。在 Halcon 中用 connection 算子来执行，见图 9。

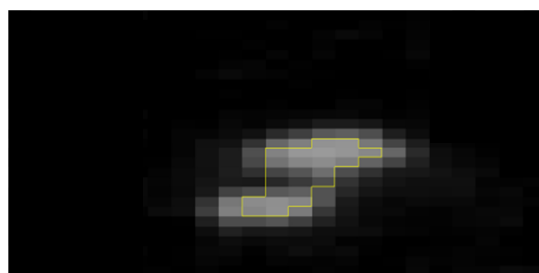


图 9 连通区域

Fig.9 Connected area

4 实验结果

4.1 评价方法

为了直观地展现文中算法的检测效果,引入了混合矩阵,见表 2。
为了测试文中算法的检测效果,将引入一下 3 个参数进行评价:真正率 P 、真负率 N 和准确率 M ,其定义为:

$$P = \frac{P_T}{P_T + N_F} \times 100\% \tag{7}$$

$$N = \frac{N_T}{P_F + N_T} \times 100\% \tag{8}$$

$$M = \frac{P_T + N_T}{P_T + N_F + P_F + N_T} \times 100\% \tag{9}$$

式中: P 为正确识别有缺陷图像的正确率; N 为正确识别无缺陷图像的正确率; M 为正确识别产品表面缺陷图像的总的正确率。真正率 P 、真负率 N 和准确率 M 越高,说明检测方案越好。

4.2 结果分析

为了测试文中算法的有效性,在工业流水线现场

表 2 混合矩阵
Tab.2 Confusion matrix

类别	检测		
	有缺陷图像数量	无缺陷图像数量	
实际	有缺陷图像数量	正确识别有缺陷图像数量 P_T	错误识别有缺陷图像数量 N_F
	无缺陷图像数量	错误识别无缺陷图像数量 P_F	正确识别无缺陷图像数量 N_T

随机采集了 200 个产品样本和对应的 200 幅分辨率为 2048×2450 的 BMP 样本图像(其中有缺陷图像 50 幅,无缺陷图像 150 幅),用文中的差影法对 200 幅样本图像进行检测,同时,用传统的人工方法对 200 个样本产品进行检测。其检测结果见表 3。

表 3 实验结果获得的混合矩阵
Tab.3 Confusion matrix obtained from experimental results

类别	差影法		人工检测	
	有缺陷	无缺陷	有缺陷	无缺陷
实际有缺陷	49	1	27	23
实际无缺陷	2	148	21	129

由表 4 可知,与传统的检测方法相比,差影法检测大幅度提高了检测的真正率、真负率和准确率,分别提高了 44%, 12.6% 和 20.5%。同时可知,在提高检测准确率的同时,检测一幅图像的平均耗时也大大缩减,用新的检测算法平均每幅图片的耗时为 98 ms,可以满足流水线上高速作业的要求。部分检测结果图像见图 10。

表 4 不同检测方法得到的真正率、真负率、准确率和检测平均耗时

Tab.4 True positive rate, true negative rate, accuracy and average time of detection obtained by different detection methods

检测方法	真正率/%	真负率/%	准确率/%	检测平均耗时/(幅·s ⁻¹)
差影法	98	98.6	98.5	0.098
人工检测	54	86	78	1.3

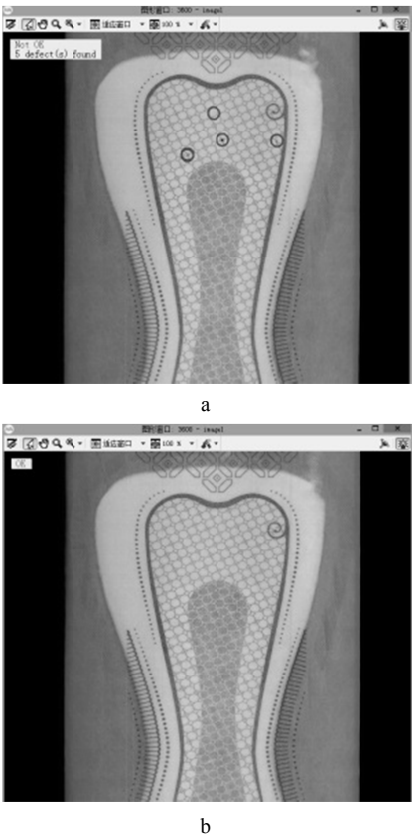


图 10 缺陷检测结果
Fig.10 Defect detection result

5 结语

该柔性卫生用品表面缺陷检测算法的真负率为 98%。当真负率为 98.6%, 准确率为 98.5% 时, 平均检测 1 副图像的时间开销为 98 ms, 与传统的检测方法相比, 其真正率、真负率和准确率得到了提高, 同

时也大大缩减了检测时间。由于为柔性材料, 该检测算法还在一定程度上受到形变的影响, 因此还需进一步优化该检测算法, 使其更加适应柔性卫生用品的质量检测。

参考文献:

- [1] 周阳, 王正家, 徐伟, 等. 基于 HACLON 的大幅面柔性印刷品质量检测[J]. 湖北工业大学学报, 2016, 31(4): 14—16.
ZHOU Yang, WANG Zheng-jia, XU Wei, et al. Quality Inspection of Large-format Flexible Prints Based on HACLON[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2016, 31(4): 14—16.
- [2] SAJAD K, SAEID M. Potential Application of Machine Vision Technology to Saffron (Crocus Sativus L.) Quality Characterization[J]. Elsevier Journal, 2016, 212: 392—394.
- [3] JURGEN B, MICHAEL H, THOMAS L. Machine Vision in Automation Technology[J]. De Gruyter Journal, 2017, 65(6): 367—368.
- [4] 牟新刚, 蔡逸超, 周晓, 等. 基于机器视觉的筒子纱缺陷在线检测系统[J]. 纺织学报, 2018, 39(1): 139—145.
MU Xin-gang, CAI Yi-chao, ZHOU Xiao, et al. In-line Inspection System for Cheese Yarn Defects Based on Machine Vision[J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(1): 139—145.
- [5] 辅小荣. 基于机器视觉的品质检测系统设计[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(2): 38—39.
FU Xiao-rong. Design of Quality Inspection System Based on Machine Vision[J]. Industry and Technology Forum, 2018, 17(2): 38—39.
- [6] 张琼, 沈海宏, 沈民奋, 等. 基于 HACLON 的无标记印刷品图像质量检测[J]. 汕头大学学报(自然科学学报), 2011, 26(2): 63—68.
ZHANG Qiong, SHEN Hai-hong, SHEN Ming-feng, et al. HACLON Based Image Quality Detection of Markless Prints[J]. Journal of Shantou University(Natural Science Edition), 2011, 26(2): 63—68.
- [7] 李彦虎. 亚像素噪声图像配准方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
LI Yan-hu. Research on Registration Method of Sub-pixel Noise Image[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [8] KIM J. Template-Based Defect Detection of a Brazed Heat Exchanger Using an X-Ray Image[J]. Optics, 2013, 52(3): 501.
- [9] 陈锐, 刘金清. 结合分水岭算法和 WKFCM 算法的 MRI 图像分割[J]. 电子测量与仪器学报(自然科学学报), 2011, 25(6): 516—521.
CHEN Kun, LIU Jin-qing. MRI Segmentation Combining Watershed Algorithm and WKFCM Algorithm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2011, 25(6): 516—521.
- [10] 罗佳佳. 基于差影法及摄像机定标技术的车牌定位研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
LUO Jia-jia. Research on License Plate Location Based on Difference Shadow Method and Camera Calibration Technology[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2005.
- [11] 许祖鑫, 毕明德, 孙志刚. 基于数学形态学的手机屏缺陷检测算法设计[J]. 电气自动化, 2013, 35(3): 99—101.
XU Zu-xin, BI Ming-de, SUN Zhi-gang. Design of Mobile Phone Screen Defect Detection Algorithm Based on Mathematical Morphology[J]. Electric Automation, 2013, 35(3): 99—101.
- [12] 罗秋棠. 基于数学形态学的图像处理算法[J]. 电子技术与软件工程, 2016(6): 80—81.
LUO Qiu-tang. Image Processing Algorithm Based on Mathematical Morphology[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2016(6): 80—81.
- [13] ISABELLE B, ALAIN B, AERELIE L. Robust Similarity between Hypergraphs Based on Valuations and Mathematical Morphology Operators[J]. Discrete Applied Mathematics, 2015, 183: 2—19.
- [14] CHEN L C, KUO C C. Automatic TFT-LCD Mura Defect Inspection Using Discrete Cosine Transform-Based Background Filtering and 'Just Noticeable Difference' Quantification Strategies[J]. Measurement Science and Technology, 2007, 19(1): 507—516.
- [15] AGUSTINA B, PEDRO A, JUAN I P. Fuzzy Mathematical Morphology for Color Images Defined by Fuzzy Preference Relations[J]. Elsevier Journal, 2006, 60: 720—733.
- [16] 阮志毅, 沈有建, 刘凤玲. 基于数学形态学的模糊集理论在车牌字符识别中的运用[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(3): 562—568.
RUAN Zhi-yi, SHEN You-jian, LIU Feng-ling. Application of Fuzzy Set Theory Based on Mathematical Morphology in License Plate Character Recognition[J]. Computer Engineering and Science, 2016, 38(3): 562—568.
- [17] JUNGHWAN B, JINWOO P. An Efficient Algorithm for Band-pass Sampling of Multiple RF Signals[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2006, 13(4): 193—196.