

基于区域特征的胶囊图像分割算法^①

张 强, 秦 勃

(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 青岛 266100)

摘 要: 针对胶囊缺陷检测中存在的图像分割效果不理想的问题, 提出了一种基于区域特征的胶囊图像分割算法. 首先将原图像分割成 5 个子图像, 然后分别在子图图像中分割提取胶囊. 子图图像首先对图像高亮区域作去高光处理、去除噪声, 然后将图像区域的每一行作为一个子区域, 根据胶囊在图像区域中所在的位置特点, 通过判断子区域中链板域与背景域是否存在边界点以及胶囊与链板上的链齿是否连接来识别不同类型的子区域, 寻找子区域中胶囊与非胶囊区域的边界, 然后去除非胶囊区域. 最终对图像区域逐行扫描处理完成后从图像中提取出胶囊. 实验表明该算法与传统方法相比, 不仅速度较快, 准确性和鲁棒性也得到了改善.

关键词: 机器视觉; 胶囊缺陷检测; 图像分割; 区域特征; 子图分割

Capsule Image Segmentation Algorithm Based on Region Feature

ZHANG Qiang, QIN Bo

(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: For the image segmentation effect is not ideal in capsule defect detection, a segmentation algorithm of capsule image based on region feature is proposed. First, the original image is divided into 5 sub images, and then capsules are extracted from sub images. First of all, sub-image is removed highlight and noise, then put each row of image region as a sub-region, according to the characteristics of the capsule position in image region, find the boundary of capsule and non-capsule region and remove non-capsule region by judging whether exist boundary points between chain plate and background or not and whether capsule is connected with sprocket or not. Finally the capsule is extracted from sub-image after scanning the sub-image region line by line. Experiments show that the algorithm is fast and its accuracy and robustness are improved noticeably.

Key words: machine vision; capsule defect detection; image segmentation; region feature; sub-image segmentation

胶囊在生产过程中存在各种类型的缺陷, 主要有残缺、形变、瘪头、开裂、孔洞、表面黑点、囊内异物等^[1]. 胶囊的质量检测关系到人民大众的健康, 保障高的检测合格率是很多企业面临的难题^[2]. 工业自动化的快速发展使得机器检测逐渐取代人工操作, 机器视觉作为一项新发展起来的技术在检测领域逐步发挥重要作用^[3]. 在基于机器视觉的胶囊缺陷检测系统中, CCD 相机采集原始胶囊图像传入 PC 机, 在 PC 机中利用图像处理技术进行图像分割, 从原始图像中提取出胶囊, 最后对胶囊进行缺陷检测, 剔除存在缺陷的胶囊. 在检测系统中, 缺陷检测的前提是从原始图

像中提取胶囊, 因此, 寻找一种快速而有效的图像分割算法是胶囊缺陷检测的关键.

图像分割的方法有多种, 文献[1]提出了一种改进的分水岭分割算法, 先对图像作区域标记, 再进行平滑处理, 然后进行分水岭分割, 最后进行区域合并, 得到最终分割结果. 文献[4]提出了一种区域线增长分割算法, 对高斯平滑后的图像进行列或行扫描, 当像素的邻域进行模板处理后的值小于阈值时继续在该方向扫描, 否则停止扫描, 在行或列方向上前进若干像素继续扫描, 扫描完毕得到区域间的分割边界. 文献[5]、[6]、[7]、[8]均采用阈值分割算法, 设置一个或

^① 收稿时间:2015-02-02;收到修改稿时间:2015-04-29

两个阈值,来判断像素是背景还是胶囊,从而从图像中提取出胶囊.文献[9]先对灰度变换的图像作反色处理,然后再对胶囊图像进行阈值分割,最后得到分割结果.在实际应用中,由于光照等外部因素的影响,基于灰度阈值的分割算法无法准确估计阈值,而基于分水岭的分割算法不仅速度较慢,分割效果也不理想,因此这些方法都无法满足实际应用需要.

1 算法的工作流程

针对胶囊缺陷检测中存在的图像分割效果不理想的问题,本文提出了一种基于区域特征的分割算法,算法的工作流程如图 1 所示.

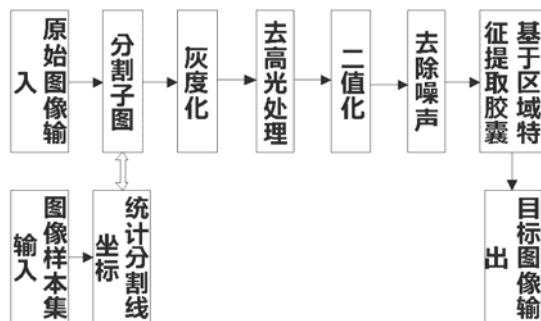


图 1 算法的工作流程

2 分割子图

胶囊缺陷检测中的原始图像中包含五颗胶囊,首先需要设置 4 条分割线,将原始图像分割为五幅子图,如图 2 所示.

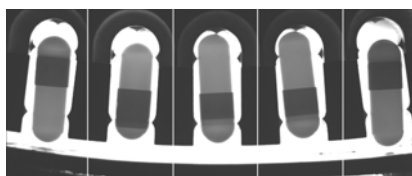


图 2 分割子图

由于机器存在一定的机械误差,CCD 相机采集的原始图像存在横坐标方向上的偏移,我们需要用统计分析方法来估计 4 条分割线的横坐标值.先收集 1000 幅原始图像作为样本集,手动对样本集内每幅图像设置合适的分割线,然后统计分割线的横坐标值,取出现概率前 90% 的值,求它们的均值作为分割线横坐标的初值.系统运行之前,使用横坐标初值来分析子图的分割效果,分割正确率的阈值设置为 95%,针对每次

的样本集,若分割正确率未超过阈值则不断调整横坐标的值,直到达到或超过阈值为止,最后得到较为准确的分割线的横坐标值.当系统运行时,使用这 4 条分割线来将原始图像分割为 5 幅子图,然后在各子图中,先对图像作预处理,最后基于区域特征分割提取胶囊.

3 图像预处理

3.1 去高光处理

采集图像时,由于光照不均匀,造成胶囊帽或胶囊体的顶部区域特别亮,这些区域内的像素二值化时会被误认为是背景像素而被划归为背景,因此需要对图像作去高光处理.图像的灰度直方图如图 3 所示.

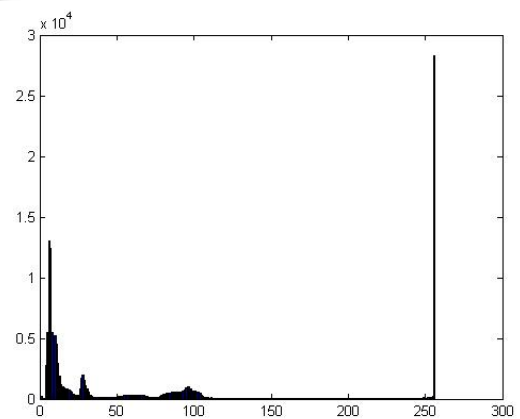


图 3 图像的灰度直方图

直方图中从左向右四个波峰的值 $M1$ 、 $M2$ 、 $M3$ 、 $M4$ 依次是链板区域、胶囊套合区区域、胶囊体(帽)区域、背景区域中出现频率最高的灰度值,因此 $M3$ 可以近似表示胶囊体(帽)区域中像素灰度均值,而高亮区域内像素的灰度值则是分布在 $[M3, M4]$ 范围内.经过统计分析,取 $M3=110$, $M4=255$,利用这 2 个阈值区分高亮区域像素与其他区域像素.对原灰度图像 $g(x,y)$ 作如下变换:

$$g_2(x,y) = \begin{cases} M3, & g(x,y) \in [M3, M4] \\ g(x,y), & g(x,y) \notin [M3, M4] \end{cases}$$

这样得到去高光处理后的灰度图像 $g_2(x,y)$.

3.2 去除噪声

在二值图像中,胶囊区域与链板区域的面积大小相近并且都远大于噪声区域的面积,可以根据连通域的面积来去除噪声,将胶囊区域的面积作为阈值 T_A ,

取 $T_A=5000$. 去除噪声的步骤如下:

①搜索图像中所有的轮廓.

②每找到一个轮廓, 计算轮廓包围的连通域的面积 A_i , 然后判断: 若 $A_i < T_A$, 认为是噪声区域, 用背景色(0)填充该连通域; 否则不作处理.

③不断执行步骤②, 直到处理完所有轮廓.

最终图像中的噪声被去除, 图像前景只存在胶囊区域与链板区域.

4 基于区域特征提取胶囊

对去除噪声后的二值图像 $f(x,y)$ 分析发现, 黑色为背景区域, 白色一部分为链板区域, 另一部分为胶囊区域. 在图像中胶囊位于链板区域中间的凹槽内, 凹槽内侧的凸起称为链齿, 胶囊可能与链齿连接, 也可能不与其连接.

本文将图像区域的每一行作为一个子区域来进行处理, 利用胶囊在图像中的链板区域中间、位于凹槽内、与凹槽内侧上的链齿可能连接也可能不连接的这些位置特点, 来划分图像中每个子区域的类型. 图像中链板区域与胶囊区域内的像素值为 255, 背景区域内像素值为 0, 将链板区域与背景区域边界处的背景像素点称为边界点 E . 划分子区域类型的依据有以下 2 点: 1、子区域中是否可以找到边界点 E ; 2、在子区域中, 胶囊是否与链齿连接. 依据这 2 点, 本文将图像中所有的子区域划分为 3 种类型:

(1)图像顶部的子区域.

该类型的子区域在图像区域的最顶部, 区域中不包含背景像素点, 如图 4 中的区域 1. 该类型的子区域按从左向右、从右向左 2 个方向进行行内扫描时, 无法找到边界点 E , 将此作为识别该类型子区域的特征.

(2)胶囊与链齿连接的子区域.

该类型的子区域中包含部分背景像素点, 并且在该区域内胶囊与链齿连接, 如图 4 中的区域 3. 胶囊与链齿连接, 在图像中表现为在连接点处相邻两行的边界点 E 的横坐标的值变化很大. 在识别该类型子区域时, 设置一个 E 的横坐标值的差值的阈值 $T_{\Delta X}$, $T_{\Delta X}$ 的取值不固定, 它一般随着图像尺度变化而变化, 这里根据图像中链齿的大小, 取 $T_{\Delta X}$ 的值为 20. 假设该行的边界点 E 与上一行的边界点 E 的横坐标值的差值为 ΔX , 由于该行中胶囊与链齿连接, 所以有: $\Delta X \geq T_{\Delta X}$. 在子区域所在的行内扫描时, 以 E 的横坐

标值为基准, 向右(或向左)最多扫描 $T_{\Delta X}$ 个像素, 则在此扫描范围内无法找到边界点 E , 将此作为识别该类型子区域的特征.

(3)胶囊与链齿未连接的子区域.

该类型的子区域中包含部分背景像素点, 但是在该区域内胶囊与链齿未连接, 如图 4 中的区域 2. 该类型的子区域按从左向右、从右向左 2 个方向进行行内扫描时, 可以找到边界点 E , 将此作为识别该类型子区域的特征.

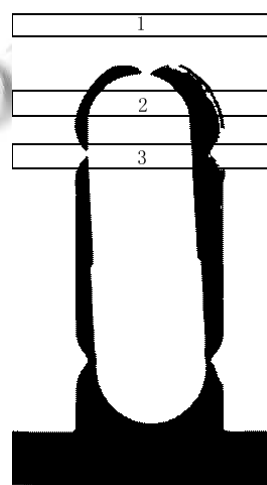


图 4 不同类型的图像子区域

基于以上思路, 本文采用按行扫描的方法对图像进行分析与处理, 根据不同子区域的特征, 判断每个子区域的类型, 然后再填充子区域中以胶囊作为目标的图像背景部分. 假设图像大小为高 H 、宽 W , 当前要处理的是图像区域的第 $j(0 \leq j < H)$ 行, 扫描过程如下:

①先从左向右扫描, 寻找在该行链板区域与背景区域的左边界点 $E_i(\text{leftX}, j)$.

在扫描之前, 首先要确定扫描的有效范围. 当 $j=0$ 时, 扫描范围为: $x \in [0, W]$; 当 $j > 0$ 时, 假设上一行的左边界点为 $E_i'(\text{leftX}', j-1)$, 分为 2 种情况: 若 $\text{leftX}' = W$, 表明上一行没有找到边界点, 是第 1 种类型的子区域, 此时第 j 行的扫描范围为: $x \in [0, W]$; 若 $\text{leftX}' < W$, 表明上一行是第 2、3 种类型的子区域, 胶囊与链齿可能连接也可能不连接, 此时第 j 行的扫描范围为: $x \in [0, \text{leftX}' + T_{\Delta X}]$.

扫描时, 若 $f(x, j) = 0$, 表明该行找到了边界点, 是第 3 种类型的子区域, 此时令 $\text{leftX} = x$, 得到左边界点 $E_i(\text{leftX}, j)$, 然后执行步骤②. 若 $f(x, j) = 255$ 且在扫

描范围内, 此时继续向右扫描下一个像素点. 若 $f(x, j) = 255$ 但超过了扫描范围, 判断: 若 $x = W$, 表明该行未找到边界点, 是第 1 种类型的子区域, 此时第 j 行的扫描结束, 执行步骤③; 若 $x = leftX' + T_{deltaX}$, 表明在该行胶囊与链齿连接, 是第 2 种类型的子区域, 此时令 $leftX = leftX'$, 得到左边界点 $E_l(leftX, j)$, 然后执行步骤②.

②再从右向左扫描, 寻找在该行链板区域与背景区域的右边界点 $E_r(rightX, j)$.

与步骤①类似, 扫描之前先确定扫描的有效范围. 第一次执行步骤②时, 扫描范围为: $x \in [0, W]$; 此后每次扫描, 假设上一行的右边界为 $E_r(rightX', j-1)$, 则此时第 j 行的扫描范围为: $x \in (rightX' - T_{deltaX}, W)$.

扫描时, 若 $f(x, j) = 0$, 表明该行找到了边界点, 是第 3 种类型的子区域, 此时令 $rightX = x$, 得到右边界点 $E_r(rightX, j)$, 然后执行步骤③. 若 $f(x, j) = 255$ 且在扫描范围内, 此时继续向左扫描下一个像素点. 若 $f(x, j) = 255$ 但超过了扫描范围即 $x = rightX' - T_{deltaX}$, 表明在该行胶囊与链齿连接, 是第 2 种类型的子区域, 此时令 $rightX = rightX'$, 得到右边界点 $E_r(rightX, j)$, 然后执行步骤③.

③填充子区域中的背景部分.

若子区域中未找到边界点, 则直接用背景色(0)填充该行:

$$f_2(x, j) = 0, x \in [0, W]$$

若子区域中找到左、右边界点, 则作如下处理:

$$f_2(x, j) = \begin{cases} 0, x \notin [leftX, rightX] \\ f(x, j), x \in [leftX, rightX] \end{cases}$$

其中图像 $f_2(x, y)$ 是图像分割的结果.

逐行扫描完成后, 图像中除胶囊外的背景部分被去除, 但是胶囊的顶部可能会连接有纤细的凸起, 这是由于胶囊与凹槽顶部的链齿连接时扫描过程无法去除链齿的凸起造成的. 形态学方法中的开运算可以在纤细点处分离物体同时并不明显改变其面积^[10], 采用这种方法来去除凸起是合适的. 本文采用半径为 5 的圆形模板, 对图像作开运算处理, 其模型为:

$$OPEN(X, K) = X \circ K = (X \otimes K) \oplus K$$

运算过程中先腐蚀 3 次, 再膨胀 2 次, 最终去除了胶囊顶部连接的凸起.

上述处理完成后, 图像中只存在胶囊, 从而得到了胶囊在图像中所在的区域, 最后以该图像为掩模,

从原始图像中提取出胶囊.

5 实验结果与分析

本文创建了 3 个参比模型: 自适应灰度阈值分割算法; 基于区域特征的分割算法; 改进的分水岭分割算法. 实验从算法的图像分割效果、算法的平均执行时间这 2 个方面来对比上述 3 种算法, 比较它们的综合性能优劣.

(1) 图像分割效果对比.

本文图像分割的目的是从原图像中提取胶囊, 若分割结果中前景只存在胶囊, 则认为图像分割是成功的, 否则, 分割失败, 图像前景中存在的非胶囊物体越多, 认为分割效果越差. 例如: 随机取测试集中的一幅图像进行测试, 3 种分割算法的结果如图 5 所示, 这里我们认为(b)分割成功而(a)、(c)分割失败.

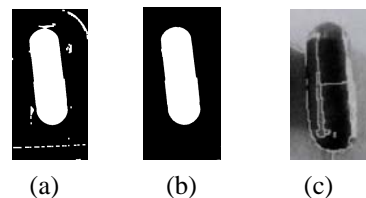


图 5 (a) 自适应灰度阈值分割算法的结果. (b) 基于区域特征的分割算法的结果. (c) 改进的分水岭分割算法的结果.

基于以上分割效果的判断标准, 分别采用自适应灰度阈值分割算法、本文的基于区域特征的分割算法、改进的分水岭分割算法对测试集中的 1000 幅图像作图像分割, 结果如下:

表 1 3 种算法在测试集内的图像分割实验结果

算法	分割成功图像数	分割正确率(%)
自适应灰度阈值分割算法	914	91.4
基于区域特征的分割算法	995	99.5
改进的分水岭分割算法	647	64.7

分析该实验结果可知, 本文提出的基于区域特征的分割算法的分割成功率要高于另外 2 种参比算法.

(2) 算法的平均执行时间.

算法的执行时间是从图像载入到图像分割完成这个计算过程中总共消耗的时间. 分别采用上述 3 种算法对测试集中的 1000 幅图像作图像分割, 并统计计算每种算法的平均执行时间, 对比结果如图 6 所示.

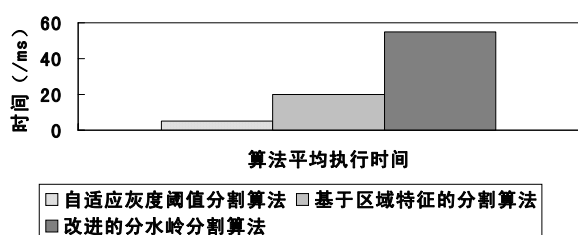


图 6 3 种算法平均执行时间对比

分析实验结果可知, 在对一幅图像作图像分割时, 自适应灰度阈值分割算法的平均执行时间为 5ms, 本文的基于区域特征的分割算法为 20ms, 改进的分水岭分割算法为 55ms, 本文算法的执行时间介于参比的 2 种算法之间。

胶囊缺陷检测是一个实时处理的过程, 不仅要求图像分割的成功率要高, 同时分割算法的执行时间也不可太长。通过分析上面的 2 个实验的结果可以得知: 本文提出的基于区域特征的分割算法的分割成功率要高于另外 2 种算法, 分割效果较好; 算法的平均执行时间为 20ms, 执行速度较快, 虽然不是最优, 但是由于胶囊缺陷检测时对图像分割的最大容忍时间为 30ms, 所以速度上也是可行的。综上所述, 在胶囊缺陷检测的应用环境下, 本文提出的基于区域特征的分割算法的综合性能是参比的 3 种算法中最好的。

6 结语

针对传统的胶囊图像分割算法鲁棒性差以及注重算法的复杂性而忽略了处理的实时性的缺点, 本文提

出了一种性能较好的基于区域特征的分割算法, 使其对光照及其他外部影响因素有较高的鲁棒性, 能够达到快速定位、准确提取胶囊的要求。用 1000 幅原始图像组成测试集, 验证了其有效性。

参考文献

- 1 严盈富, 吴君才. 一种用于胶囊图像分割改进的分水岭算法. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2012, 26(4): 83-88.
- 2 王军海. 残损胶囊图像检测系统的研究与设计[学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- 3 李杰. 基于图像分析的胶囊缺陷检测系统研究[学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- 4 吴德. 基于图像处理的胶囊检测系统的研究[学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2011.
- 5 侯海飞. 基于机器视觉的胶囊表面缺陷的识别与分拣技术研究[学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- 6 冯珊珊, 陈树越. 基于图像分析的真假药胶囊颗粒识别方法研究. 传感器与微系统, 2008, 27(8): 54-56.
- 7 郑瀚, 韦文斌, 齐子城. 机器视觉检测胶囊图像的预处理研究. 电子科技, 2012, 25(12): 133-136.
- 8 王娟. 基于红外图像的胶囊缺陷检测研究[学位论文]. 杭州: 中国计量学院, 2013.
- 9 李莲, 闫志洋. 破损胶囊检测的图像处理分析与研究. 仪器仪表学报, 2011, 32(12): 322-324.
- 10 Gonzalez RC, Woods RE. 阮秋琦, 阮宇智等译. 数字图像处理. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2010: 427-430.