

视觉匹配技术的药片颗粒计数算法研究

杨健, 豆昌军, 辛浪, 柳伟兵, 周鑫

(成都理工大学 核技术与自动化工程学院, 成都 610059)

摘要: **目的** 通过机器视觉技术解决当前医药产业迅猛发展带来的批量生产药粒无法高效、精确计数等难题, 提出基于视觉技术的药片特征二次匹配算法。**方法** 药粒预处理后分割为多连通域, 采用面积特征选择形状特征差异较大的 2 颗药粒为感兴趣区域, 待膨胀后作为目标的先验模型, Canny 算子提取边缘轮廓, 同时计算轮廓点的方向向量。采用 3 层图像金字塔搜索算法加快匹配效率, 并用最小二乘法调整模板的匹配精度, 使匹配精度达到亚像素级别。**结果** 通过对不同的椭圆形药粒进行实验分析, 将匹配模板 1 和模板 2 (缩放比为 1:1) 的最小匹配分数阈值分别设为 0.63 和 0.59, 采用 3 层图像金字塔搜索算法, 从创建模板到匹配计数只需要 0.11 s, 相较于 3 层金字塔 (缩放比为 0.7~1.0, 最小匹配分数为 0.6) 的单模板匹配算法速度快 0.07 s, 且对部分重叠的药片仍能有效计数, 匹配准确率达 100%。**结论** 采用药片颗粒二次匹配技术可实现检测速度上的扩增; 采用图像金字塔搜索算法可大幅度缩减匹配时间; 采用最小二乘法可提高模板的匹配精度, 增大药粒匹配的正确率。

关键词: 机器视觉; 药片计数; 边缘检测; 模板匹配; 图像金字塔

中图分类号: TP487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0175-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.031

Tablet Counting Algorithm Based on Visual Matching Technology

YANG Jian, DOU Chang-jun, XIN Lang, LIU Wei-bing, ZHOU Xin

(College of Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology,
Chengdu 610059, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a secondary matching algorithm of tablet features based on vision technology, to solve the problem of inability to efficiently and accurately count mass produced tablets due to the rapid development of the current pharmaceutical industry by means of machine vision technology. Firstly, the tablets were preprocessed and divided into multiple connected regions. Then, two tablets with large differences in shape features were selected as regions of interest with the area characteristics, and they were inflated to become the targeted prior model. The edge contour was extracted by the Canny operator, and the direction vectors of the contour points were calculated. The three-tier image pyramid search algorithm was used to speed up the matching accuracy, and the least square method was applied to adjust the matching accuracy of the template, so that the matching accuracy reached the sub-pixel level. Based on the experimental analysis of different elliptical tablets, the minimum matching score thresholds that matched templates 1 and 2 (scaling was 1:1) were respectively set as 0.63 and 0.59. With the three-tier image pyramid search algorithm, it only took 0.11 s to match the count from the creation of template. Compared with the thee-tier pyramid, the scaling was 0.7-1.0, the single-template matching algorithm speed with the minimum matching score of 0.6 was 0.07 s faster, and it could still effectively count part of the overlapped tablets with the matching accuracy of 100%. The secondary matching technology of the tablets can amplify the detection speed. The image pyramid search algorithm can be used to greatly shorten the matching time and the least square method can be applied to improve the matching accuracy of the template and increase the matching accuracy

收稿日期: 2018-04-06

基金项目: 成都理工大学机械工程专业教学创新团队项目 (10912-JXTD201501); 成都理工大学智能制造学科项目 (10800-17Z0620)

作者简介: 杨健 (1972—), 女, 博士, 成都理工大学副教授, 主要研究方向为机电一体化技术、数字制造装备与技术、数控技术。

of the tablets.

KEY WORDS: machine vision; tablet counting; edge detection; template matching; image pyramid

随着医药产业的发展,药片或药粒计数在医药生产以及产品包装等方面都有十分重要的应用。药粒计数装置设计多样,王源鑫等^[1]由漏斗、计数管、定数杆设计并组合而成的丸药药粒计数装置;孙赞福等^[2]设计带药粒孔的盘皿与滑板组合的数药器。许多制药企业常使用一种基于模板的机械数粒机,其根据药片尺寸大小制作开有固定数量的孔或者槽的模具,一粒一孔的计数方式,填满孔或槽便得到药粒数^[3],但机械数粒机的一种模板只能适用于一种药片计数,适应能力不足、通用性差,且较先进的数粒机的成本极高,难以得到推广。在国内,大型的药品制造厂对颗粒较大的药片常采用人工计数方法进行装填,对颗粒较小、包装颗粒数目较多的则采用光电计数法^[4]、机械数粒计数、或者称重计数等。

国内视觉检测技术蒸蒸日上,基于视觉的数粒技术在药片包装、药片生产中得到广泛的研究。由于机器视觉技术受到多种因素的影响,鲁棒性低、精度不足、实时性不好等问题,在国内制药厂难以普及,因此,研究实时性好、检测精度高、稳定性好的在线药片检测系统有很大挑战性,但具有很好的研究价值以及十分广阔的市场前景。

1 机器视觉算法

1.1 膨胀和腐蚀原理

图像的膨胀和腐蚀操作通常是增加或者减少像素使用,文中通过腐蚀过滤药粒边缘轻微粘连情况,为单颗药粒筛选做准备;膨胀算法为药粒提取清晰轮廓作前期准备。

1.1.1 膨胀算法

图像膨胀是使图像目标像素生长,而生长的大小和方向由结构元素 S 控制。文中 S 采用半径尺寸为 1.5 像素,原点位于圆心的结构元素,元素值由 0, 1 值构成,1 为有效像素,半径尺寸由有效像素数量构成。 A, S 中的元素均属于笛卡尔乘积 Z^2 整数集, $\hat{S}$ 为 S 的反射,即关于自身原点对称变换。反射变换后的结构元素 $\hat{S}$ 在二值图像 A 空间中滑动,因设定的圆形结构元素关于自身中心对称,因此 $\hat{S}$ 等同于 S , 当结构元素与图像像素 1 值发生重叠,则图像在结构元素原点的位置像素值替换为 1, 以此遍历完二值图中的每个像素,即达到膨胀的目的,数学定义为:

$$A \oplus S = \left\{ z \mid \left(\hat{S} \right)_z \cap A \neq \emptyset \right\} \quad (1)$$

式中: $(S)_z = \{c \mid c = s + z, s \in S\}$ 为平移之后的结构元素。

1.1.2 腐蚀算法

腐蚀与膨胀互为对偶运算,在图像处理效果上并非逆运算关系,同一结构元素下,腐蚀和膨胀处理效果不可相消。算法表达式为:

$$A \ominus S = \{z \mid (S)_z \subseteq A\} \quad (2)$$

式中: $(S)_z$ 定义同式 (1)。

1.2 相似性度量

通过手动选取药粒边缘未粘连的单颗药粒并建立目标模型作为模板,文中采用模板轮廓点的方向向量作为特征向量,然后根据特征确定相似度量,图像中相同或者相似的特征目标以此作为检测依据^[5-6]。

假设目标模板像素点 $T_i = (r_i, c_i)^T$, 其对应的方向向量为 $d_i = (r'_i, u'_i)^T$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。Canny 边缘检测算子相比常规的一阶导数算子,使用双阈值检测且具有判断边缘极大值是否为最大值,从而用非最大值抑制法过滤伪边缘信息,因此使用该算子计算图像每个点的方向向量 $f = (u', v')^T$, 模板将通过平移、旋转变换与图像中的每个像素点特征进行比较,假设变换后的模板像素点为 $T'_i = B \cdot T_i$, 对应的方向向量也变换为 $d'_i = B \cdot d_i$, 其中 B 为平移、旋转矩阵。其匹配点的相似性度量如下:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[d'_i, e_{T'_i}]}{\|d'_i\| \cdot \|e_{T'_i}\|} \quad (3)$$

式中: $[d'_i, e_{T'_i}]$ 为模板方向向量与匹配点处的图像像素点的方向向量内积。实验中均采用归一化的方向向量,以降低光照敏感性。由于模板搜索过程中局部特征的丢失、噪声带来的随机方向向量,式 (3) 对匹配点的每个像素特征的相似性度量求取了平均值,削弱了少量随机方向向量造成的影响。

1.3 金字塔搜索算法

传统的模板匹配算法由模板特征的每一个点与待匹配图像进行比较计算,其计算量大,匹配效率低。因此在传统匹配算法上增加了金字塔分层搜索算法^[7-8],对模板和图像进行降采样,减少匹配计算量,提高了匹配效率。金字塔层数越高,其匹配速度越快,但匹配精度也随之下落,因此文中采用三层金字塔为最佳匹配层数。药粒模板和三层金字塔采样之后的药粒轮廓见图 1。

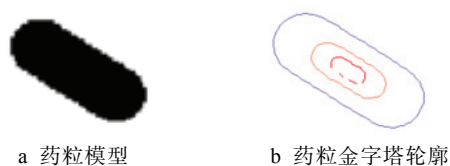


图 1 模型轮廓特征提取
Fig.1 Contour feature extraction of model

1.4 最小二乘法调整模板姿态

由于模板以像素级的位置变换,模板匹配点不一定在图像目标整像素点上,满足不了高精度的匹配,因此文中提出的基于最小二乘法的亚像素精度匹配方法,即基于均方误差最小化来进行模型求解的方法。以图像边缘点为参考原点建立相对坐标系,使用每个像素点的亚像素偏移 l 和方向角 θ ,因此根据式(4)和式(5)得到全局坐标系下新的模板边缘点坐标 $T'_i = (r'_i, c'_i)^T$ 。

$$r'_i = r_i + l \cdot \cos \theta \quad (4)$$

$$c'_i = c_i + l \cdot \sin \theta \quad (5)$$

像素大小为 $M \times N$ 的模板图像 T 的 n 个边缘点由 Canny 算子计算得出,经亚像素调整姿态后的相应点 T'_i 与对应匹配图像 A 的匹配像素点求距离的均方差误差,见式(6)。通过最小二乘法调整来确定模板的姿态,即通过给定亚像素步长 l ,初始值为 $1/2$ 像素。对 E 进行多次迭代计算,得到模板点到与之匹配图像点的最小化距离偏差值 $E_{\min}$,实现调整模板姿态,精确匹配目标像素。

$$E(l, \theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T'_i - A_{T'_i})^2 \quad (6)$$

2 数药粒系统设计

2.1 硬件设计

该实验硬件构成见图 2,采用 Win10 64 位电脑作为图像处理的上位机,搭载酷睿 i5 处理器,运行内存 8 G。大恒 MER-132-30Gx 相机作为图像采集设备,分辨率为 $1292(H) \times 964(V)$,帧率为 30 帧/s,尺寸为 $3.75 \mu\text{m} \times 3.75 \mu\text{m}$ 。药粒检测计数的硬件平台见图 3。

2.2 算法设计

药粒计数软件设计流程见图 4。CCD 采集到的图



图 2 硬件结构
Fig.2 Hardware structure



图 3 药粒计数实验平台
Fig.3 Experimental platform of tablet counting

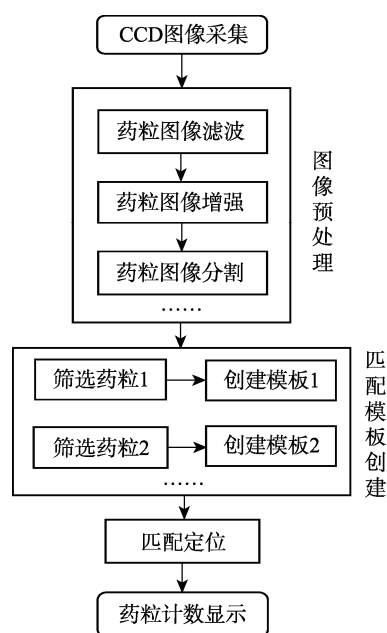


图 4 药粒计数软件设计
Fig.4 Software design of tablet counting

像由于光源平台提供了一个稳定的拍摄环境,很大程度上降低了外部环境带来的不稳定因素,抑制了噪声,药粒对比度得到改善。该算法针对摆放杂乱,并且有粘连,形状有变化的药粒有较强的鲁棒性。与传统的药粒灰度阈值分割法^[9]、连通域标记法^[10-11]、面积统计方法^[12]、虚拟线圈法^[13-15]相比,传统的方法适用于药粒不粘连、药粒尺寸固定等情况,而基于轮廓金字塔的模板匹配很好地克服了传统方法对此类药粒无法准确计数的弊端,因此该设计将 Canny 边缘检测、图像金字塔以及最小二乘法相结合,将各算法优势最大化,解决了传统统计方法无法实现精确统计要求。

3 数药粒实验

3.1 形态学腐蚀实验

实验中分别用半径为 6 和 8 像素的圆形结构元素对

图像进行腐蚀操作,试图将粘连的药粒分离开,采用常规连通域标记法统计药粒个数,实验结果如下所述。

药粒个数=65

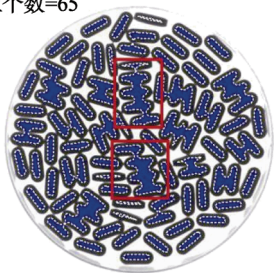


图5 半径为6像素的腐蚀结果
Fig.5 Corrosion results: $R=6$ pixel

药粒个数=70

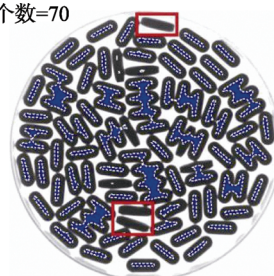


图6 半径为8像素的腐蚀结果
Fig.6 Corrosion results: $R=8$ pixel

从实验结果可以看出,采用半径为6像素的结构元素腐蚀,只有轻微粘连的药粒被分开,大部分药粒依然粘连,图5矩形框标注的粘连情况最为严重。将半径增大到8像素,由图6可见粘连问题并没有得到很好的解决,并且矩形框所示部分已经被完全腐蚀,错误统计率突出。

3.2 模板匹配实验

相机采集的原图中,药粒器皿边缘与药粒边缘存在接触,且形成像素块堆积,影响匹配精度,故对采集图像进行灰度线性拉伸,将器皿边缘的像素点灰度与药粒本身灰度值区别增大,从而避免器皿边缘像素的影响。药粒原始见图7,灰度线性拉伸之后的药粒见图8。

经过2次模板匹配,第1次匹配找到85颗药粒见图9a,第2次匹配到9颗药粒见图9b,总共匹配药粒数94颗,经验证,药粒已全部找到并且没有重复计数的药粒。

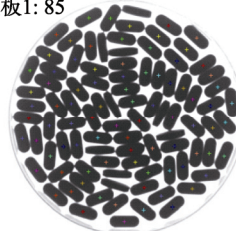


图7 药粒原图
Fig.7 Tablet's original diagram



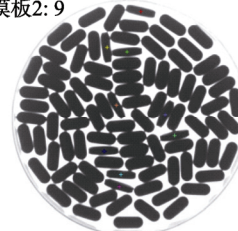
图8 药粒预处理
Fig.8 Tablet pretreatment

药粒模板1: 85



a 第1次模板匹配

药粒模板2: 9



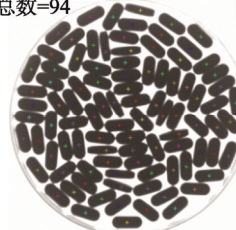
b 第2次模板匹配

图9 2次模板匹配结果
Fig.9 Results of twice template matching

3.3 实验比较分析

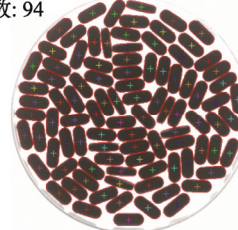
针对文中药粒计数方法,又做了单模板一次性匹配,特点是只选用一个模板,对于形状有变化的药粒依然能够正确识别,所有药粒均全部匹配,但对算法要求极高,2种方法实验结果见图10。相较于二次模板匹配,其匹配时耗更长。

药粒总数=94



a 单模板匹配药粒总数

药粒总数: 94



b 二次模板匹配药粒总数

图10 2种方法的药粒匹配结果
Fig.10 Tablet matching results of two methods

2种匹配方案以及光电计数参数比较见表1。

表1 参数对照
Tab.1 Parameter comparison

匹配参数	金字塔层数	缩放比例	最小匹配分数	时耗/s
单模板	[3.0]	[0.7, 1.0]	0.6	0.18
二次模板	[3.0] [3.0]	[1.0, 1.0] [1.0, 1.0]	[0.63] [0.59]	0.11
光电计数	—	—	—	11.28

通过比较以上参数可知,正确率相当的情况下,二次模板匹配法比单模板匹配法耗时少0.07 s左右,

比光电计数系统的效率高很多。从图 11 药粒匹配分数曲线可以看出,二次模板的匹配质量不如单模板匹配质量,但总体的平均匹配度在 0.89 以上,匹配质量比较理想。

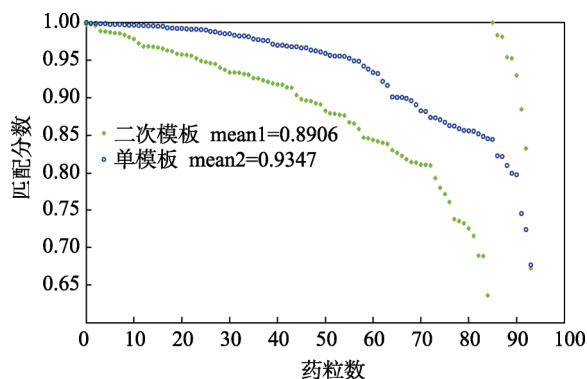


图 11 药粒匹配分数曲线
Fig.11 Matching score curve of tablets

4 结语

此次二次模板匹配试验以 0.11 s 快速并完全匹配上 94 颗形状差异不等的药粒,平均匹配速度在 854.5 颗/s,完全赶超机械类、光电类的颗粒计数装置,并相对于传统的分割统计法有绝对优势,满足工业要求。但由于相机视野的局限性,所以单相机则无法达到一次性几百颗的计算量,后续可采用多相机配合扩大检测视野。该实验仍有不完善的地方,比如没有做大量的实验对不同形状、不同摆放姿态的药粒进行测试,在今后的研究中可对不同情况多做测试以及增加视觉检测功能,如对药片质检,筛选不合格药品,计算合格率等。

参考文献:

- [1] 王源鑫,王世钢. 一种丸药药粒计数器: 中国, CN02214533.8[P]. 2002.
WANG Yuan-xin, WANG Shi-gang. A Pill Counter: China, CN02214533.8[P]. 2002.
- [2] 孙赞福,吴文成. 数药器: 中国, CN2006200 25856.5 [P]. 2006.
SUN Zan-fu, WU Wen-cheng. Tablet Counter: China, CN200620025856.5[P]. 2006.
- [3] 丁维扬,冯首春. 药品颗粒数粒计数发展及应用[J]. 机电工程技术, 2006, 35(4): 80—82.
DING Wei-yang, FENG Shou-chun. Development and Application of Granulated Pharmaceuticals Counting Technology[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2006, 35(4): 80—82.
- [4] 刘浏. 高精度药丸计数系统的设计[J]. 中国包装工业, 2002(8): 55—56.
LIU Liu. The New Design of a High Precision Pills Counting System[J]. China Packaging Industry, 2002 (8): 55—56.
- [5] 丁筱玲,赵强,李贻斌,等. 基于模板匹配的改进型目标识别算法研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2018, 48(2): 1—7.
DING Xiao-ling, ZHAO Qiang, LI Yi-bin, et al. Modified Target Recognition Based on Template Matching Algorithm Research[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2018, 48(2): 1—7.
- [6] 王雷,姜久雷. 基于改进的模板匹配的设计模式自动识别[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(9): 2429—2434.
WANG Lei, JIANG Jiu-lei. Design Pattern Detection Based on Improved Template Matching[J]. Computer Engineering and Design, 2016, 37(9): 2429—2434.
- [7] YADAV A R, ANAND R S, DEWAL M L, et al. Gaussian Image Pyramid Based Texture Features for Classification of Microscopic Images of Hardwood Species[J]. Optik-international Journal for Light and Electron Optics, 2015, 126(24): 5570—5578.
- [8] ISHIMARU M, SATO M. Aerial Image Matching Using Adaptive Selection of Orientation Code Image Pyramids[J]. Ite Transactions on Media Technology & Applications, 2013, 1(2): 148—156.
- [9] 朱贺,李臣明,张丽丽,等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(11): 1288—1296.
ZHU He, LI Chen-ming, ZHANG Li-li, et al. River Channel Extraction by Combining Grey Threshold Segmentation and Contour Form Recognition[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2014, 28(11): 1288—1296.
- [10] 曹珊珊. 基于图像处理的药片计数算法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
CAO Shan-shan. Research on Pills Counting Algorithm Based on Image Processing[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010.
- [11] 刘熠. 不锈钢管计数的图像处理算法与系统实现[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
LIU Yi. Image Processing Algorithm and System Implementation for Stainless Steel Pipes Auto-count[D]. Huhhot: Inner Moncolia University, 2012.

- [12] 杨慧赞, 林勇, 唐章生, 等. 基于图像处理的鱼卵计数方法研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(5): 138—141.
YANG Hui-zan, LIN Yong, TANG Zhang-sheng, et al. The Method Research of Counting Fish Spawns Based on Image Processing[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(5): 138—141.
- [13] 白涛, 朱秀昌. 基于视频虚拟线圈的城市道路车流量检测[C]// 2010 年通信理论与信号处理学术会议论文集, 2010.
BAI Tao, ZHU Xiu-chang. Detection of Urban Road Traffic Flow Based on Video Virtual-loop[C]// Communication Theory and Signal Processing Academic Annual Conference, 2010.
- [14] LIN S P, CHEN Y H, WU B F. A Real-time Multiple-vehicle Detection and Tracking System with Prior Occlusion Detection and Resolution, and Prior Queue Detection and Resolution[C]// IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, IEEE, 2006: 311—316.
- [15] YIN M, ZHANG H, MENG H D. An HMM-based Algorithm for Vehicle Detection in Congested Traffic Situations[C]// Intelligent Transportation Systems Conference, 2007, Itsc, IEEE, 2007: 736—741.