

文章编号 1004-924X(2012)01-0190-07

应用级联分类器检测安瓿内弱小运动目标

秦 焱*, 王伯雄, 李 伟, 杨春毓

(清华大学 精密仪器与机械学系 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:针对序列图像内具有低信噪比和低对比度特征的运动目标,提出了一种基于级联分类器的弱小目标检测算法。该算法从安瓿瓶序列图像内提取绝对差分值、局部差分对比度和局部相关系数 3 个图像特征。每个图像特征对应一个分类器,通过三层级联形式实现序列图像中的小目标检测。第一个节点与传统帧间差分法类似,主要去除大量背景图像并检测出大颗粒运动目标,后两个节点则用于检测弱小目标、排除光流和瓶身污渍产生的噪声点。实验结果显示,相对于传统的帧间差分法,本文算法具有高检测精度和高抗干扰能力等特点,不仅可以检测出图像中弱小运动目标,同时也消除了复杂背景下的噪声影响,弱小目标的检出率达到 99.3%,并且满足安瓿在线检测的实时性要求。

关键词:级联分类器;帧间差分法;小目标检测;序列图像

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122001.0190

Inspection of small moving foreign substances in ampoule based on cascade classifiers

QIN Yao*, WANG Bo-xiong, LI Wei, YANG Chun-yu

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

* Corresponding author, E-mail: qinyao03@mails.tsinghua.edu.cn

Abstract: An inspection algorithm based on cascade classifiers is presented for detecting small moving foreign substances with low Signal and Noise Ratio (SNR) and low contrast in sequential images. The algorithm obtains three features of absolute difference, local difference contrast and neighborhood correlation from the sequential images of an ampoule. Each feature corresponds to a classifier, and small foreign substances are inspected by using three-layer cascade classifiers. The first layer corresponds to a traditional frame differencing method, which is used to remove the background and detect the large moving foreign substances. The next two layers are used to inspect small foreign substances and remove the noises generated by optical flow and the stain of bottle. Experiment results show that compared with the traditional frame differencing method, this algorithm has higher detection precision and higher anti-interference ability in inspecting small substances with the interference of a complex background, and the detection rate of small foreign substance is 99.3%. This algorithm can meet the requirement of real-time detection of ampoules for medicine production.

收稿日期:2011-07-20;修订日期:2011-08-18.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2008AA042207)

Key words: cascade classifier; frame difference; small target inspection; sequential image

1 引言

低信噪比和低对比度下检测出位置和速度都未知的运动小目标是基于机器视觉的医药制剂在线检测系统中的一项关键技术。基于序列图像的小目标跟踪检测算法主要分为背景差法^[1]、帧间差分法^[2]、光流法^[3]、先跟踪后检测法^[4]。背景差法对背景图像的亮度十分敏感,鲁棒性较差。光流法是通过计算光流并对光流图像分割来检测运动目标,该方法计算量大,且抗噪声能力差。先跟踪后检测法是对大量的候选目标轨迹进行评估,根据目标运动的连续性和轨迹的一致性排除虚假目标。帧间差分法对相邻图像帧作差分运算,提取图像中的运动目标,该算法简单,目标检出率高,被普遍运用于基于机器视觉的医药制剂在线检测系统中。Akira Ishii^[5]等提出了基于视频图像的帧间差分法,实现了塑料瓶内异物检测。温江涛^[6]等针对差分图像提出了基于小波包能量谱及SVM的安瓿内异物识别方法。周博文^[7]等提出了基于增强图像的二次差分的医药注射剂内小目标检测。李扬果^[8]等提出了基于二次差分与能量累积的大输液瓶内目标检测。丁雪梅^[9]等提出了基于差分 and 特征不变量的运动目标检测与跟踪。

基于机器视觉的安瓿内异物检测具有以下两个难点:1、对比度较低的弱小目标检测;2、光流噪声和瓶身污渍噪声的剔除。针对以上难点,本文提出了一种新的基于级联分类器的安瓿内弱小目标检测算法。首先提取弱小目标序列图像中的绝对差分、局部差分对比度和局部相关系数3个特征,以特征分类性能排列在级联分类器的各个节点。然后根据训练样本确定各个节点分类器的门限阈值,使每个节点满足检出率。该级联分类器具有先粗后精的分类能力,位置越靠后的节点具有越强的分类能力。最终通过所有节点的目标被认为序列图像中的运动目标。

2 级联分类器算法描述

本文提出的级联分类器由3层组成,分别对

应了绝对差分、局部差分对比度和局部相关系数3个图像特征。该算法是Asymmetric AdaBoost算法^[10]的简化形式。Asymmetric AdaBoost算法中,前面的层根据较少特征量滤除大量虚假目标,这一阶段只消耗少量计算;之后的层采用较多特征达到高检出率和低误警率。然而Asymmetric AdaBoost算法中,级联机构的每一个节点都是由许多弱分类器依据AdaBoost算法训练得到的强分类器。每层中弱分类器数目和特征数目的优化比较繁杂。本文简化上述算法,提出了3层级联分类器,其中每一层都依据单一特征进行分类,如图1所示。通过级联分类器,使得帧间差分法在药剂异物检测时既具有算法简单、计算量小等优点,同时也克服了帧差法检测精度低、抗干扰能力差等缺点。

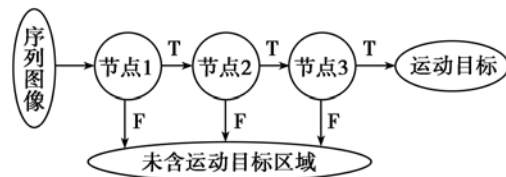


图1 3层级联分类器框图

Fig.1 Block diagram of three-layer cascade classifiers

2.1 图像特征提取

在光流噪声和污渍噪声的复杂背景下,描述运动小目标的特征不仅要提取单点灰度特征,同时也要考虑小目标周围的区域特征。在区分灰度差异不大的弱小目标和噪声点时,区域特征起着至关重要的作用。本文选取3个图像特征作为分类时的判别依据,分别是绝对差分、局部差分对比度和局部相关系数。其中绝对差分是单像素灰度特征,后两个特征是区域特征。区域特征结合检测点周围的像素灰度值大小,更为客观地反映了检测点的特性。以下将详细描述算法中选取的3个图像特征。

帧差法是检测两幅图像之间差异的最简单算法之一。绝对差分是根据帧差法将两帧图像逐点相减的绝对值,即:

$$\Delta f_k = |f_{k+n} - f_k|, \quad (1)$$

式中, f_k 是第 k 帧图像, f_{k+n} 是第 $(k+n)$ 帧, Δf_k 是

两帧图像的绝对差分值。与传统帧差法不同,本文并未采用相邻帧间差分法,而是利用隔帧差分法来避免相邻帧差分法中极易产生的“空洞”现象。本算法中帧距 n 的选择取决于实际图像内弱小目标的移动速度(该速度大小由检测系统的加速电机转速来决定,实验中 n 的取值为 2~5)。

药剂灯检系统采集的图像中,不同位置和不同类型的异物所对应的图像灰度值相差很大。即使是同一异物在运动过程中,由于自身旋转和所处位置的不同,在序列图像中对应的灰度值也会有很大差异。为了能够检测出灰度值较小的目标,定义局部差分对比度 Y :

$$Y = \frac{|f_{n+k}(x, y) - f_k(x, y)|}{\max(N_8(f_{n+k}(x, y)), N_8(f_n(x, y)))}, \quad (2)$$

式中 $f_{n+k}(x, y)$ 和 $f_k(x, y)$ 指第 $k+n$ 帧和第 k 帧图像在 (x, y) 坐标处的灰度值, $N_8(f_{n+k}(x, y))$ 和 $N_8(f_n(x, y))$ 指第 $k+n$ 帧和第 k 帧图像在 (x, y) 坐标处的 8 连通域。该局部差分对比度将绝对差分值与目标点邻域灰度值相关联,反映了序列图像的局部区域内目标点灰度差值与局部区域内最大灰度值的比值。

在图像评价指标中,相关系数反映了图像的相关程度,两幅图像的相关系数越接近 1,表示图像的接近度越好。局部相关系数表示了目标点周围指定邻域之间的相关程度。本文提取 3 个不同邻域大小的局部相关系数。在第 k 帧图像和第 $(k+n)$ 帧图像中截取目标点邻域 A 和 B , 大小为 $m \times m$ (其中 $m=3, 5, 7$)。局部相关系数定义为:

$$r = \frac{\sum_m \sum_m (A_{mm} - \bar{A})(B_{mm} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_m (A_{mm} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_m (B_{mm} - \bar{B})^2)}}, \quad (3)$$

式中 \bar{A} 和 \bar{B} 分别表示 A 和 B 的灰度均值。

2.2 级联分类器算法

采用样本训练方式确定级联分类器各节点阈值。各级分类器由粗到精,一级比一级严格。样品在前层如被判定为 F (非运动目标),不再进入下一级检测。被判为 T (待定目标)的进入下层节点,继续判定。算法描述如下:

(1) 获取两帧图像 $f_k(x, y)$ 和 $f_{k+n}(x, y)$, 其中 $0 \leq x \leq m, 0 \leq y \leq n$ ($m \times n$ 为图像大小)。

(2) 第一节点中,计算整图的绝对差分值 $\Delta f = |f_{k+n} - f_k|$, 该节点中以上阈值 θ_{\max} 和下阈值

θ_{\min} 为判定依据。 $\Delta f \geq \theta_{\max}$ 的区域被判定为运动目标区域; $\Delta f \leq \theta_{\min}$ 的区域被判定为不含运动目标区域(虚假目标区域); Δf 介于上阈值 θ_{\max} 和下阈值 θ_{\min} 之间的区域进入下两个节点判定。

(3) 第二个节点中以差分对比度作为特征值,根据公式(2)计算由上节点传递来的每个区域所对应的差分对比度 Y 。该节点以单阈值 α 为判定依据。 $Y \leq \alpha$ 的区域被判定为虚假目标区域; $Y > \alpha$ 的区域进入第 3 个节点。

(4) 根据公式(3)分别以 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 邻域大小计算 3 个相关系数 r_1, r_2 和 r_3 , 取 3 者中最大相关系数 $r = \max(r_1, r_2, r_3)$ 。该节点中以单阈值 ρ 为判定依据。 $r > \rho$ 的区域为虚假目标区域; $r \leq \rho$ 的区域为运动目标区域。

2.3 各节点阈值选取

以 500 个训练样本(其中 250 个包含运动目标的正样本和 250 个包含污渍噪声和光流噪声的负样本),通过检出率和统计所得的近似概率密度曲线来确定算法中各节点阈值。

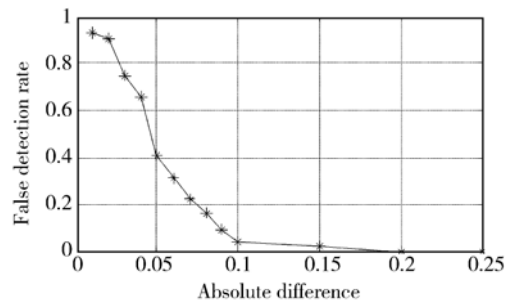


图 2 误检率随绝对差分值阈值的变化曲线图

Fig. 2 Curve of false detection rate-absolute difference

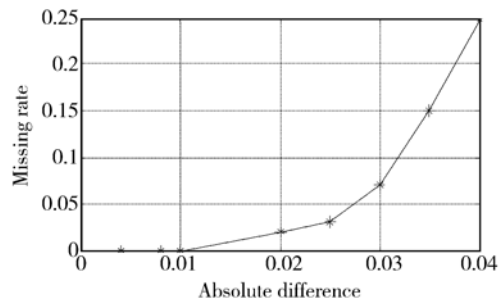


图 3 弱小目标漏检率随绝对差分值阈值的变化曲线图

Fig. 3 Curves of missing rate-absolute difference

与传统帧间差分法相同,第一个节点以绝对

差分值 Δf 作为判定依据,如图 2 所示,绝对差分阈值越大,误检率越接近于 0,即噪声干扰被完全消除。然而随着绝对差分阈值的增加,弱小目标同样被作为噪声点而漏检,如图 3 所示。算法中,以双阈值作为第一节点判定依据,其中上阈值 $\theta_{\max}=0.2$ 和下阈值 $\theta_{\min}=0.01$ 。通过双阈值选择,第一节点能快速剔除大量背景点并且获取大粒径运动目标。

图 4 和图 5 分别为正负目标基于差分对比度和局部相关系数的近似概率密度曲线。图中虚线处分别对应了第二节点和第三节点的判别阈值。

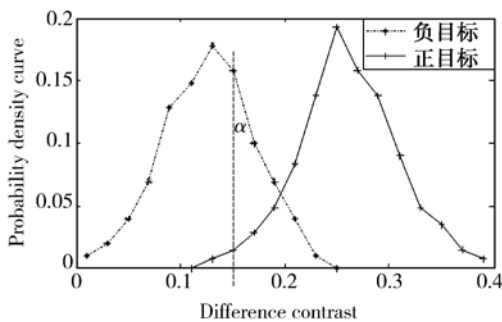


图 4 基于差分对比度的近似概率密度曲线

Fig. 4 Approximate probability density curves based on difference contrast

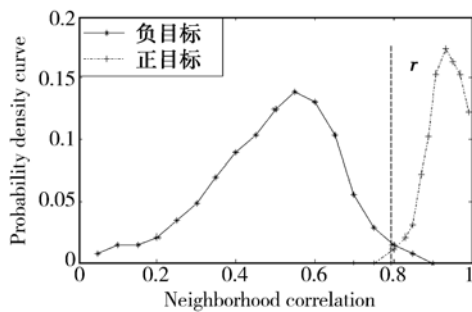


图 5 基于局部相关系数的近似概率密度曲线

Fig. 5 Approximate probability density curves based on neighborhood correlation

可以看出,局部相关系数对弱小运动目标和噪声点的分检效果最佳,但其算法计算量大于另外两个特征。在以上阈值的控制下,样品内弱小目标的检出率为 99.3%。

3 实验及讨论

实验平台是课题组设计和制造的全自动安瓿

瓶灯检机,采用高速旋转药瓶—急停—摄像—图像处理的工作方式来获取和处理实验图像。全自动安瓿瓶灯检机如图 6 所示。

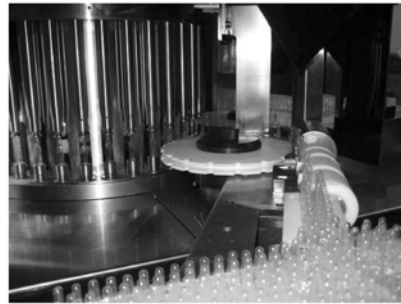


图 6 全自动安瓿瓶灯检机

Fig. 6 Automatic inspection machine of ampoule

图 7 给出了本文算法与传统的帧间差分法针对相同安瓿图像处理后的结果对比。传统帧差法的判别阈值 σ 分别取 0.15, 0.12, 0.10, 0.08, 0.05。图中(d)~(f)所示,传统帧差法可以检测出大部分高对比度的大粒径运动目标,但是对于低对比度弱小运动目标(图(c)中虚线框内目标)的检出率不高。随着阈值 σ 的减小,传统帧差法表示出对噪声点的抗干扰能力低的缺点,图(g)和(h)中的虚线部分即是误检的光流噪声点。本文算法不仅保留了传统帧差法对大粒径目标的检测效果,也适用于低对比度弱小目标的检测,同时排除了光流噪声和瓶身污渍噪声的干扰。

本文随机抽取了 1 160 瓶生产现场剔除出的不合格样品做了批量实验。如表 1 所示,传统帧差法的检出率要远低于本文算法。对于单瓶的处理时间,本文算法与帧差法相当,可以满足 12 000 瓶/h 的实时检测要求。

表 1 不合格药瓶批量检测性能对比

Tab. 1 Detection performance comparison of unqualified ampoules

	检出率	单瓶检测时间/s
传统帧差法 (阈值取 0.10)	85.3%	0.170
本文算法	99.05%	0.197

表 2 给出了用 510 瓶人工灯检合格样品做批量实验的处理结果。本文算法在 510 瓶中检测出

20 瓶为不合格,检出率为 4%,并且将 20 瓶不合格安瓿再次人工复检,其中有 18 瓶检测出弱小目标。其检测效果优于传统帧差法。同时,与人工灯检的对比实验也表明了基于机器视觉的安瓿瓶检测方法相比于人工灯检的优点,不仅具有更高的检出精度,而且减小了人工灯检时由于视觉疲劳等因素造成的漏检率。

表 2 合格药瓶批量检测性能对比

Tab. 2 Detection performance comparison of qualified ampoules

	检出率/(%)	人工复检率/(%)
传统帧差法 (阈值取 0.10)	2	80
本文算法	4	90

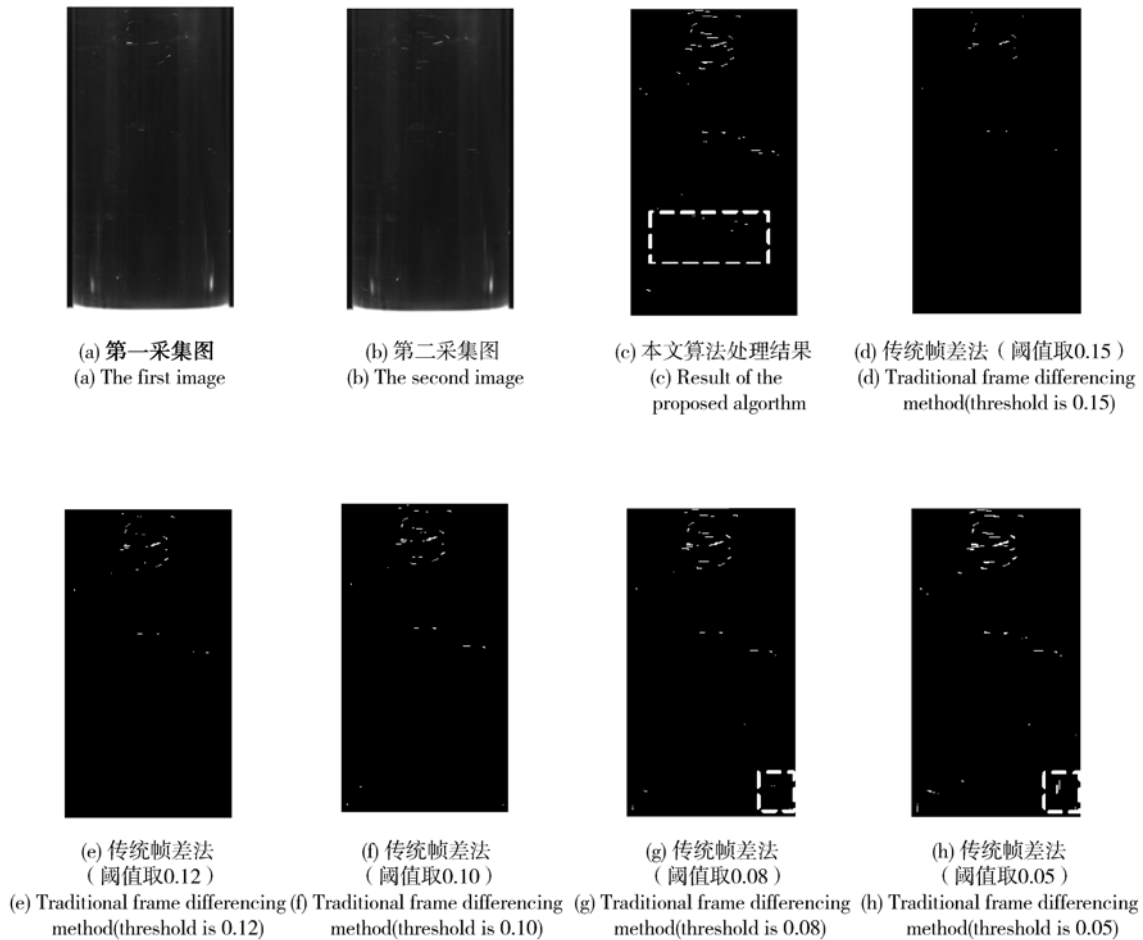


图 7 本文算法与传统帧差法实验对比

Fig. 7 Experimental comparison of proposed algorithm with traditional frame differential method

4 结 论

本文提出一种基于级联分类器的序列图像内弱小运动目标检测算法,从序列图像中提取绝对差分、局部差分对比度和局部相关系数这 3 个图像特征,每个特征对应一个分类器作为一个节点组成

3 层级联分类器。通过训练样本确定每个节点的判别阈值,使样本中弱小目标的检出率达到 99.3%。通过实验比较,本文算法能够较好地安瓿序列图像里检测出弱小运动目标,并且消除了光源噪声和瓶身污渍噪声点的干扰。同时,算法中的 3 个节点以由粗到精的方式级联,计算量与传统帧差法相当,能够满足安瓿瓶药检的实时性要求。

参考文献:

- [1] ELGAMMAL A, DURAISWMI R, HARWOOD D. Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance[J]. *IEEE*, 2002, 7(90): 1152-1163.
- [2] 邱道尹, 张文静, 顾波, 等. 帧差法在运动目标实时跟踪中的应用[J]. *华北水利水电学院学报*, 2009, 30(3):45-46.
 QIU D Y, ZHANG W J, GU B, *et al.*. Application of frame difference methods in real-time moving target tracking[J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 2009, 30(3):45-46. (in Chinese)
- [3] SMITH S M. ASSET-2: Real-time motion segmentation and shape tracking[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(8):237-244.
- [4] 张长城, 杨德贵, 王宏强. 红外图像中弱小目标检测前跟踪算法研究综述[J]. *激光与红外*, 2007, 37(2):104-107.
 ZHANG CH CH, YANG D G, WANG H Q. Algorithm surveys for dim targets track-before-detect in infrared image [J]. *Laser & Infrared*, 2007, 37(2):104-107. (in Chinese)
- [5] AKIRA I, TAKAYUKI M, *et al.*. Detection of foreign substances mixed in a plastic bottle of medicinal solution using real-time video image processing[C]. *Pattern Recognition, Proc 14 th International Conf*, 1998, 2:1646-1650.
- [6] 温江涛, 王伯雄. 应用小波包能量谱及支持向量机实现安瓿内浮类异物的识别[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(11): 2794-2799.
 WEN J T, WANG B X. Recognition of floating particles in ampoules by wavelet packet energy spectrum and SVM[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(11): 2794-2799. (in Chinese)
- [7] 周博文, 王耀南, 葛继, 等. 基于机器视觉的医药注射剂智能检测系统研究[J]. *机器人*, 2009, 31(1): 52-60.
 ZHOU B W, WANG Y N, GE J, *et al.*. A Machine-Vision-Based intelligent inspection system for pharmaceutical injections [J]. *ROBOT*, 2009, 31(1):52-60. (in Chinese)
- [8] 李杨果, 王耀南, 王威. 基于机器视觉的大输液智能灯检机研究[J]. *光电工程*, 2006, 33(11):69-74.
 LI Y G, WANG Y N, WANG W. Intelligent transfusion liquor inspector based on machine-vision[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 33(11):69-74. (in Chinese)
- [9] 丁雪梅, 王维雅, 黄向东. 基于差分 and 特征不变量的运动目标检测与跟踪[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(4): 570-576.
 DING X M, WANG W Y, HUANG X D. New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariant[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(4): 570-576. (in Chinese)
- [10] VIOLA P, JONES M. Fast and robust classification using asymmetric adaboost and a detector cascade[J]. *Advances in Neural Information Processing System*, 2001, 2:1311-1318.

作者简介:



秦 焱(1984—),男,江苏常州人,博士研究生,2007年于清华大学获得学士学位,主要从事机器视觉检测、模式识别方面的研究。E-mail: qinyao03@mails. tsinghua. edu. cn



王伯雄(1947—),男,江苏南通人,教授,博士生导师,主要从事精密仪器与测试技术、MEMS技术、光学测量技术、生物医学技术等方面的研究。E-mail: wangbx@tsinghua. edu. cn



李 伟(1983—),男,山西太原人,博士研究生,2010年于清华大学获得硕士学位,主要从事机器视觉检测、模式识别方面的研究。E-mail: wei-li03@mails. tsinghua. edu. cn



杨春毓(1990—),男,黑龙江林口人,博士研究生,2011年于清华大学获得学士学位,主要从事机器视觉检测、模式识别方面的研究。E-mail: yangcy07@gmail. com

●下期预告

辅助溶剂对 PMMA 微流控芯片模内键合的影响

徐 征,王继章,杨 铎,刘 冲,王立鼎

(大连理工大学 辽宁省微纳米技术及系统重点实验室,辽宁 大连 116023)

为了提高聚合物微流控芯片的键合效率,以 PMMA 微流控芯片为对象,以微型注塑机为平台,研究了聚合物模内键合方法。利用注塑机提供的合模力作为键合力,利用模温机提供键合温度,选择异丙醇作为辅助溶剂,借助溶剂溶解特性,降低模内键合中的键合温度和压力。在 30~70 °C 时用测量显微镜和台阶仪测试分析了不同键合温度条件下,辅助溶剂对芯片的表面形貌和微通道结构的影响;利用辅助溶剂进行模内键合实验,用电子万能实验机测试了芯片的键合强度,对模内键合工艺参数进行了优化。结果表明:异丙醇对键合质量的影响与键合温度、键合时间有关,在较高温度下会使芯片产生皴裂、微沟槽变形和堵塞,在键合温度为 35 °C,键合时间为 5 min 时,芯片的表面质量和微沟槽形貌较完整,键合强度不小于 2.64 MPa。