

基于视觉的取药机器人系统设计

党宏社^{**}, 陆馨蕊^{*}, 孙俊龙, 吴晨刚, 陶亚凡

陕西科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710021

摘要 针对现有药房药剂师取药任务繁重、效率低下等问题, 设计了基于机器视觉的取药机器人系统, 提出了一种基于融合局部特征匹配和 Mean Shift 算法的药品识别算法, 系统整体实现了药品的识别、定位及抓取任务。首先, 安装于药架之间的抓药机器人接收上位机发送的药品信息, 通过摄像头识别药品, 使用 AKAZE 算法对货架上的药品进行匹配, 获取药品坐标后, 将匹配的药品抓取放至传送带上; 位于取药处的分拣机器人得到上位机发送的药品信息后, 通过改进的 Mean Shift 算法对传送带上的动态药品进行二次识别, 将识别到的药品抓取放至取药处, 完成整个系统的取药功能。实验证明, 以二次分拣为保证, 系统能够准确地识别药品, 且药品定位信息比较准确, 误差较小, 可适用于药房药品的抓取。

关键词 图像处理; 取药机器人; 分拣; 视觉定位; 局部特征

中图分类号 TP242.6/TP391.4

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.0210009

Design of Vision-Based Drug-Grabbing Robot System

Dang Hongshe^{**}, Lu Xinrui^{*}, Sun Junlong, Wu Chengang, Tao Yafan

School of Electrical and Control Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China

Abstract Aiming to solve the problems of complex drug-grabbing tasks and low efficiency of existing pharmacists, a vision-based drug-grabbing robot system is designed, and a drug-identification algorithm based on the fusion of local feature matching and based on Mean Shift algorithm is proposed. The complete system realizes drug identification, positioning, and grabbing tasks. The drug-grabbing robot installed between the drug racks receives information of the medicine sent by the upper computer, identifies the medicine through its camera, matches the medicine on the transporter using the AKAZE algorithm, obtains the coordinates of the medicine, and grabs and places the matched medicine on the transporter. After the sorting robot located in the designated area for taking the medicine obtains information of the medicine sent by the upper computer, the dynamic medicine on the transporter is identified twice via the improved Mean Shift algorithm, and the identified medicine is grabbed and placed in the designated area for taking the medicine to complete the taking function of the whole system. Experiments show that the system can accurately identify the drugs with the guarantee of secondary sorting and can accurately locate drug information with a small error, which is suitable for drug grabbing in pharmacies.

Key words image processing; drug-grabbing robot; sorting; visual positioning; local features

OCIS codes 100.3008; 100.2960

1 引言

随着社会经济的发展, 人民生活水平不断提高,

人们就医时更多地倾向于选择大医院, 由此导致大医院每年的就诊量大幅上升, 随之带来的问题是患者看病时间延长, 工作人员重复性劳动繁重, 取药时

收稿日期: 2020-06-16; 修回日期: 2020-06-24; 录用日期: 2020-07-07

基金项目: 陕西省自然科学基金 (2020JM-509)

* E-mail: 772595842@qq.com; ** E-mail: danghs@sust.edu.cn

间漫长和医院管理压力增加等^[1]。

20 世纪 90 年代开始,德国、美国、日本等发达国家先后开始了自动化药房研究,并研制了很多与本国医院病房相配套的自动化设备^[2-3]。而目前国内医院药房取药共有两种方式:人工和半自动化方式。人工方式,含有以下不足之处:1)重复性任务繁重,误操作率较高,同时取药处需配制单独的工作人员进行药品核对;2)取药效率低,患者在交费后需在取药处刷身份证排队等待,工作人员以人工的方式按照排队顺序依次对照药单取药^[4],且通常是一人负责一个药单,由于药品摆放位置较分散,因此取药过程需不停地前后奔波,造成时间浪费。

一些医院则引进德国韦乐海茨、荷兰乐博、瑞士瑞仕格等进口自动化发药设备,采用半自动化方式取药。自动化设备主机部分一般都由加药、储药及出药部件组成,按照出药模式可分为机械手抓取式、斜槽定位落药式、水平槽动力驱动式以及机械手斜槽组合式 4 种模式^[5]。取药采用类似于饮料售货机的取药设备与人工取药相结合的方式,发放药物则采用人工方式。这种半自动方式也存在一些缺点:1)自动取药设备具有一定的局限性。由于多数设备是将药品推出掉落至下方传送带,因此仅适用于耐摔类药品,对于玻璃包装的注射型等易碎药品,仍需采用人工取药的方式,且对药品的规格大小也有严格的要求。2)货架上药品的补充需人工放置。3)通用性较差,这类设备在应用前需进行个性化定制,在不同的医院之间通用性差,且对现有货架的改动较大^[6]。

针对现有医院药房所存在的问题,设计了一个基于视觉的取药机器人系统,采用二次分拣方式,在双重确保药品正确分拣分发的同时,降低药房药剂师的工作量,精简取药流程,提高效率,保证发药的准确性,从而改善医院的就诊环境,增加药房的智能化与自动化水平。

2 系统整体方案设计

通过借鉴现有自动化药房系统的优点,设计基于机械手式的二次分拣取药机器人系统,药房示意图如图 1 所示,系统主要由抓药机器人、分拣机器人、传送带和药架 4 部分组成。

抓药机器人安装于货架之间,负责抓取传输带上的药品并放置于药架上,或根据上位机系统提供的药单需求,通过摄像头识别药品,获取药品坐标后,将货架上的指定药品抓取至传输带。每个取药处有一个分拣机器人,用于接收上位机数据,获取药

单编号、药品编号、数量等。当有药品经过时,首先判断其种类,然后根据药单的先后顺序以及数量,将传送带上的药品抓取至对应的取药窗口。本系统通过抓药机器人和分拣机器人对药品进行二次识别抓取,以确保取药的准确性。

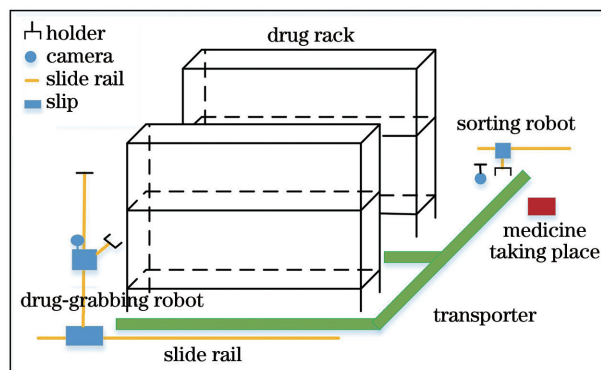


图 1 药房示意图

Fig. 1 Pharmacy layout

3 视觉定位算法设计

基于机器视觉的取药机器人系统的核心是对药品的识别定位^[7-8]。本文提出了一种基于融合局部特征和 Mean Shift 算法的药品识别算法。首先,抓药机器人通过 AKAZE (accelerated-KAZE, 加速的 KAZE) 算法,对货架上的药品进行识别匹配,并将其抓取放至传送带上;分拣机器人利用改进的 Mean Shift 算法,对传送带上的动态药品进行二次识别,将其抓取放至取药处,完成整个系统的取药功能。

3.1 抓药机器人药品识别算法设计

为克服药品识别过程中受光照亮度等环境因素的影响,确保药品抓取的准确性和移动端的实时性,抓药机器人采用 AKAZE 算法^[9-10]进行药品识别匹配,获取药品位置后,进一步对机器人进行轨迹规划,完成抓取放置等动作。

首先,将需要抓取药品的模板图和摄像头拍摄的搜索图像采用中值滤波进行图像预处理,以减少噪声干扰。其次,对药品模板图和搜索图在非线性尺度空间下,通过 Hessian 矩阵寻找局部极大值点,并将其作为特征点,利用二值描述符 M-LDB (Modified-Local Difference Binary) 对特征点进行描述,得到二进制描述符。然后,采用汉明距离对模板图和搜索图的特征描述符进行匹配,再通过随机抽样一致 (RANSAC) 算法筛选出最佳的匹配点对。最后根据匹配点对,计算出模板图和搜索图之间的单应性矩阵,并根据单应性矩阵,在搜索图中标注出需要抓取的药品的位置。

具体算法的流程如图 2 所示,实现步骤如下:

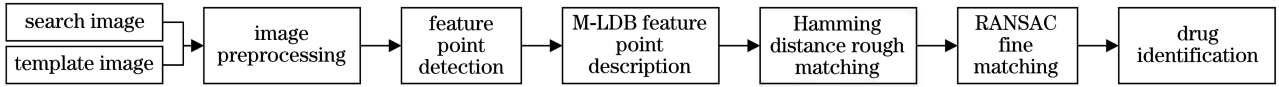


图 2 AKAZE 算法识别药品流程图

Fig. 2 Flow chart of drug recognition using AKAZE algorithm

1) 图像预处理。采用 3×3 窗口对图像进行中值滤波去噪处理。

2) 构造非线性尺度空间。AKAZE 算法采用各向异性的非线性扩散滤波构造非线性尺度空间,可用非线性偏微分方程表示为

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial t} = \text{div}(c(x, y, t) \cdot \nabla \mathbf{L}), \quad (1)$$

式中, \mathbf{L} 为图像矩阵, div 为散度函数, $c(x, y, t)$ 为传导函数, ∇ 为图像梯度算子。

$$\mathbf{L}^{i+1} = (\mathbf{I} + \tau_j \mathbf{A}(\mathbf{L}^i)) \mathbf{L}^i, \quad i = 0, 1, \dots, n - 1, \quad (2)$$

式中, \mathbf{I} 为单位矩阵, $\mathbf{A}(\mathbf{L}^i)$ 为图像 \mathbf{L}^i 的传导矩阵, n 表示显性扩散步数, τ 为对应步长。

使用快速显式扩散算法 FED (Fast Explicit Diffusion) 对非线性偏微分方程求近似解。FED 算法可表示为

$$\tau_j = \frac{\tau_{\max}}{2 \cos^2\left(\pi \frac{2j+1}{4n+2}\right)}, \quad (3)$$

式中, τ_{\max} 为满足显性扩散稳定性条件时的最大步长值, $j = 1, 2, \dots$ 。

3) 特征点检测。AKAZE 算法采用非极大值抑制法,在尺度空间的每一层中利用 Hessian 矩阵寻找局部极大值点,并将其作为特征点。Hessian 矩阵公式可表示为

$$\mathbf{L}_{\text{Hessian}} = \partial^2 (\mathbf{L}_{xx} \mathbf{L}_{yy} - \mathbf{L}_{xy}^2), \quad (4)$$

式中, ∂ 是尺度参数 ∂_i 的整数, \mathbf{L}_{xx} 、 \mathbf{L}_{yy} 分别是二阶横向和纵向微分, \mathbf{L}_{xy} 是二阶交叉微分。

4) 特征点主方向求解。以特征点为中心, 6σ 为半径确定圆形邻域,分别求取特征点邻域内点的一阶微分导数来计算该特征点的响应值。以角度为 60° 的扇形窗口进行旋转,叠加邻域中点的向量,选取单位向量和最长矢量方向为其主方向。

5) 特征向量描述。利用 M-LDB 算法进行特征点描述,得到二进制描述符。M-LDB 算法并未使用划分网格的所有像素,而是在划分好的网格中进行以尺度为间隔的重采样,得到离散点。使用采样值代替该网格的梯度与强度信息,以提高计算效率。

6) 特征点匹配。采用汉明距离对模板图和搜索图的特征描述进行匹配,两个特征描述子 \mathbf{H}_1 和 \mathbf{H}_2 之间的汉明距离为

$$D(\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2) = \sum_{i=0}^{i=255} \mathbf{x}_i \oplus \mathbf{y}_i, \quad (5)$$

式中, $\mathbf{H}_1 = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_i)^T$, $\mathbf{H}_2 = (\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_i)^T$ 。 D 的值越小,表明两个特征点相似度越高。当 D 小于 48 时,该点为最佳匹配特征点。采用 RANSAC 算法筛选出最佳的匹配点对。

7) 药品位置标注。根据匹配点对,计算出模板图和搜索图之间的单应性矩阵,并根据单应性矩阵,在搜索图中标注出需要抓取的药品的位置。

3.2 分拣机器人动态药品识别算法设计

对于分拣机器人,针对传送带上移动药品在实现抓取时实际位置相对识别位置已发生偏移这一问题^[11],采用 Mean Shift 算法^[12-13]结合 AKAZE 算法,基于对各帧之间的差值预估药品的实时位置,并结合机械臂运动时间,实现对药品的精准抓取。

1) Mean Shift 算法原理

Mean Shift 算法^[14]是一种以目标区域像素值的概率分布为特征的跟踪算法,因为其寻优收敛速度快,该算法具有很好的实时性,且具有一定的鲁棒性。其主要步骤如下:

(1) 核函数的选择。Mean Shift 算法选择跟踪准确性最高的 Epanechnikov 核函数进行无参密度估计,其表达式为

$$k_E(\|\mathbf{x}\|^2) = \begin{cases} c(1 - \|\mathbf{x}\|^2), & \|\mathbf{x}\| \leq 1 \\ 0, & \text{other} \end{cases}, \quad (6)$$

式中, c 为 d 维欧氏空间, \mathbf{x} 为该空间上点对应的向量。

(2) 目标模型的构建。根据前一帧跟踪物体的中心位置 f_0 ,得到备选目标的中心位置 f 。利用核函数加权计算目标窗口区域各点特征值的概率分布,其概率密度表达式为

$$q_u = C \sum_{i=1}^n k_E\left(\left\|\frac{\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_0}{H}\right\|^2\right) \delta(F(\mathbf{X}_i) - u), \quad (7)$$

式中, H 为核函数窗口大小, $\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_0$ 为目标窗口的坐标向量与中心向量的差值, $F(\mathbf{X}_i)$ 为坐标向量的

特征值, C 为定长系数。

在跟踪第 N 帧时,若候选目标在以 Y 为中心的搜索窗口内,则候选目标模型为

$$p_u(\mathbf{Y}) = C_k \sum_{i=1}^n k_E \left(\left\| \frac{\mathbf{X}_i - \mathbf{Y}}{H} \right\|^2 \right) \delta(F(\mathbf{X}_i) - u), \quad (8)$$

式中 C_k 为归一化系数。

(3) 相似性函数构建和目标定位。Bhattacharyya 系数是表示目标模型与候选模型之间的相似度的函数,表达式为

$$\rho(\mathbf{Y}) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(\mathbf{Y})q_u}. \quad (9)$$

函数的值越大,两个模型之间的相似性就越高。为了找到目标区域的最佳匹配位置,以当前帧目标窗口的中心为起点,搜索下一帧图像中与之对应的最佳匹配位置,通过分别计算当前帧目标区域和下一帧候选区域内像素的特征值概率,得到关于目标模型和候选模型描述,然后利用相似函数度量当前帧目标模型与下一帧的候选模型的相似性,选择使相似函数最大的候选模型,得到关于目标模型的 Mean Shift 向量。Mean Shift 向量的表达式为

$$m_H(\mathbf{Y}_0) = \mathbf{Y}_1 - \mathbf{Y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{X}_i \tilde{\omega}_i g \left(\left\| \frac{\mathbf{X}_i - \mathbf{Y}}{H} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^n \tilde{\omega}_i g \left(\left\| \frac{\mathbf{X}_i - \mathbf{Y}}{H} \right\|^2 \right)} - \mathbf{Y}_0, \quad (10)$$

式中: $\tilde{\omega}_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{q_u}{p_u(\mathbf{Y}_0)}} \delta(F(\mathbf{X}_i) - u)$; $g(\|\mathbf{x}\|^2) = -k'_E(\|\mathbf{x}\|^2)$ 。经过反复迭代,当 Mean Shift 向量小于给定值时,目标的定位完成。

2) 融合局部特征和 Mean Shift 算法的药品识别算法

采用融合局部特征点匹配和 Mean Shift 的方法,通过对图像特征点的提取,得到药品信息,再基于当前帧的目标位置预测下一帧的目标位置,缩小搜索范围,做到药品的精准快速抓取。具体算法流程图(图 3)如下:

(1) 利用摄像头捕获视频帧,判断当前帧是否为第一帧。如果是第一帧,则利用 AKAZE 特征算法匹配目标,并将匹配目标作为 Mean Shift 跟踪算法的新模板,读取下一帧。反之则执行步骤(2)。

(2) 运用 Mean Shift 实施追踪,在当前图像中绘制出目标的跟踪窗口。同时利用 AKAZE 特征检测跟踪效果。

(3) 为 AKAZE 特征点检测设置阈值。当特征点的个数小于阈值时则认为对目标跟踪失败,执行步骤(4);若特征点数大于所设定的阈值时则认为目标没有丢失,此时输出目标的位置并执行步骤(5)。

(4) 根据 AKAZE 特征算法重新寻找目标,利用特征点分布确定目标位置,并计算出目标的旋转角度与尺度大小来调整跟踪窗口的参数。

(5) 在下一帧图像上继续使用 Mean Shift 算法跟踪目标。

(6) 重复步骤(5),直到目标移出拍摄范围。然后重复以上步骤,对新的目标进行跟踪。

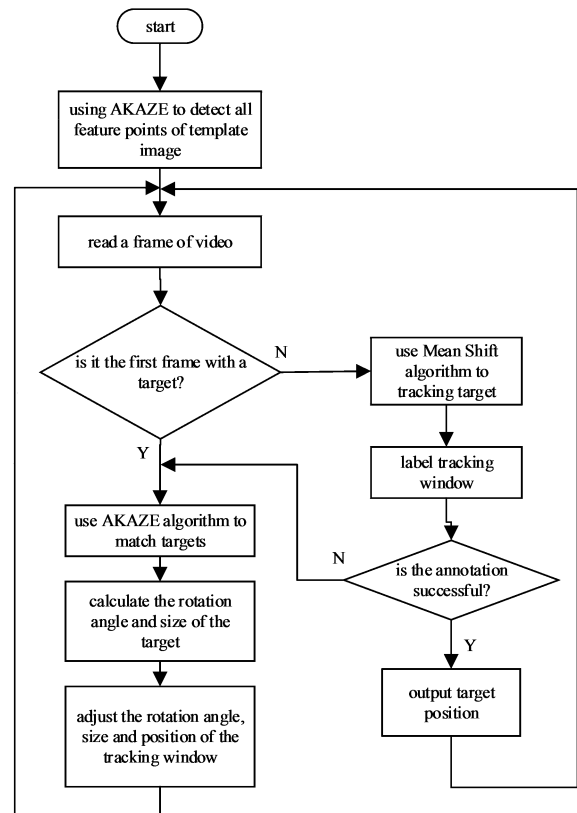


图 3 动态识别药品流程图

Fig. 3 Flow chart for dynamic drug identification

4 系统测试及分析

为测试整套取药机器人系统的抓取性能,在药架前进行多次自主抓取实验,实验装置图见图 4。药架为两层,其长为 0.65 m,高为 0.80 m,共放置 6 种药品。

分别对 6 种药品各抓取 10 次,共计抓取 60 次,通过上位机发送药品名称等信息(图 5),经过解析、药品识别与定位、机器人轨迹规划后,抓药机器人抓取货架上对应的药品,将其放至传送带上,分拣机器人对药品再次识别定位后,将药品抓取放至取药处。经测试,系统每次都能准确地完成药品(宽度小于

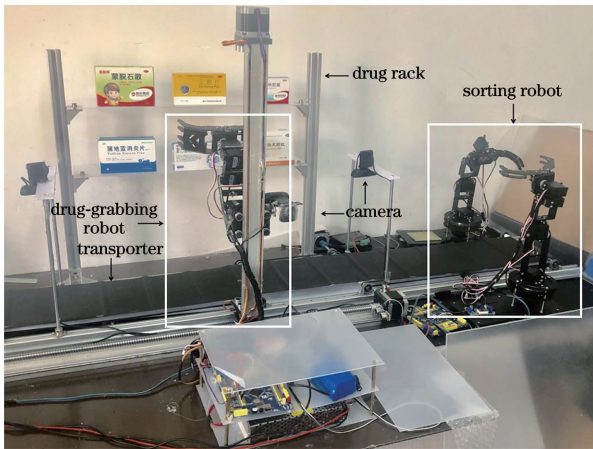


图 4 系统测试图

Fig. 4 System test chart



图 5 上位机控制界面

Fig. 5 Host computer control interface

14 cm, 质量小于 1 kg) 的识别和抓取, 可满足药房大部分药品的抓取。图 6 给出药品识别匹配图。

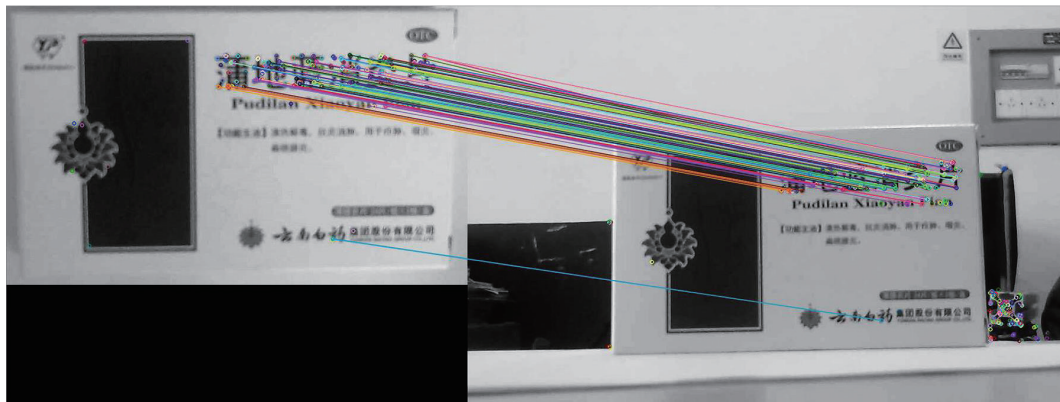


图 6 药品识别匹配图

Fig. 6 Drug identification matching map

对每种药品抓取时得到的 10 个实际位置坐标取平均值, 分别与 6 种药品的理论位置坐标进行对比, 如表 1 所示, 其中: X 轴坐标平均误差为 0.507 mm, 均方根误差为 0.482; Y 轴坐标平均误差为 0.453 mm, 均方根误差为 0.493。由对比结果可知, 药品定位信息比较准确, 误差较小, 可以满足系统的正常工作。

表 1 定位误差对比

Table 1 Comparison of positioning errors

Drug No.	Theoretical position coordinate / mm	Average of 10 measured position coordinates / mm	($\Delta X, \Delta Y$)
1	(150.14, 350.32)	(150.60, 350.93)	(0.46, 0.61)
2	(351.47, 350.49)	(350.88, 350.98)	(0.59, 0.49)
3	(482.05, 351.34)	(482.53, 351.70)	(0.48, 0.36)
4	(152.31, 591.73)	(151.92, 591.24)	(0.39, 0.49)
5	(354.28, 591.03)	(354.79, 590.67)	(0.51, 0.36)
6	(481.30, 591.49)	(480.91, 590.90)	(0.61, 0.41)

5 结 论

针对目前大医院药房取药效率低下等问题, 设计了一种应用于医院药房的二次分拣取药机器人系统, 使用融合局部特征点匹配和 Mean Shift 方法的动态药品识别算法, 利用对各帧之间的差值预估药品的实时位置, 实现了传送带上药品的精准抓取, 并以二次分拣的方式确保取药的准确率。经实验表明, 该系统在保证准确取药的同时, 精简了取药流程, 提高了取药效率, 不仅缩短了患者取药时等待的时间, 同时减轻了工作人员重复性劳动的负担, 降低了人工成本。此外, 系统对现有药房的改动较低, 对货架等原有设备的通用性较好, 易于扩展, 具有实际应用价值。

参 考 文 献

[1] Lu D B, Liang M B, Han Q Y. Construction and application of automatic dispensing system in outpatient pharmacy [J]. China Medical Devices, 2019, 34(1): 91-94.

- 卢道兵, 梁茂本, 韩庆余. 门诊药房自动化发药系统的构建和应用[J]. 中国医疗设备, 2019, 34(1): 91-94.
- [2] Song J X, Yue F, Zhou H X, et al. Independent pharmacist prescribers can improve patient pharmacy care [J/OL]. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 2020: ejhpharm-2020-002302 [2020-06-02]. <https://ejhp.bmj.com/content/early/2020/05/04/ejhpharm-2020-002302>.
- [3] Batson S, Herranz A, Rohrbach N, et al. Automation of in-hospital pharmacy dispensing: a systematic review [J/OL]. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 2020: ejhpharm-2019-002081 [2020-06-02]. <https://ejhp.bmj.com/content/early/2020/05/20/ejhpharm-2019-002081>.
- [4] Ye L. Application of automated pharmacy management system in outpatient pharmacy[J]. *Journal of Clinical Medical Literature*, 2018, 5(69): 182.
叶蕾. 自动化药房管理系统在门诊药房的应用[J]. *临床医药文献电子杂志*, 2018, 5(69): 182.
- [5] Lin Y, Cai Z B, Huang M S, et al. Evaluation of development status and application effect of outpatient pharmacy automatic dispensing system in mainland China [J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2020, 37(9): 1131-1138.
林艳, 蔡志波, 黄梦珊, 等. 国内门诊药房自动化发药系统发展现状及使用效果评价[J]. *中国现代应用药学*, 2020, 37(9): 1131-1138.
- [6] Sng Y, Ong C K, Lai Y F. Approaches to outpatient pharmacy automation: a systematic review [J]. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 2019, 26(3): 157-162.
- [7] Huang H M, Liu G H, Duan K R. Robot bin-picking based on micro-electro mechanical system structure light projector[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2019, 46(2): 0204002.
黄会明, 刘桂华, 段康容. 基于微振镜结构光投射器的机器人抓取[J]. *中国激光*, 2019, 46(2): 0204002.
- [8] Yin S B, Ren Y J, Liu T, et al. Review on application of machine vision in modern automobile manufacturing[J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(8): 0815001.
尹仕斌, 任永杰, 刘涛, 等. 机器视觉技术在现代汽车制造中的应用综述[J]. *光学学报*, 2018, 38(8): 0815001.
- [9] Alcantarilla P F, Nuevo J, Bartoli A. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces [C] // *Proceedings British Machine Vision Conference*, September 9-13, 2013, Bristol, England. Guildford, UK: BMVA Press, 2013: 1-11.
- [10] Zhang Y, Hu L K, Huang B. Improved AKAZE image registration algorithm fusing color and illumination information [J/OL]. *Computer Engineering*, 2020: 1-11 [2020-06-11]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0057709>.
张宇, 胡立坤, 黄彬. 融合颜色和光照信息的改进 AKAZE 图像配准算法[J/OL]. *计算机工程*, 2020: 1-11 [2020-06-11]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0057709>.
- [11] Yuan H, Tong S G, Gu W H, et al. Design of trajectory algorithm for robot dynamic material following grab technology[J]. *Robot Technique and Application*, 2019(1): 29-32.
袁晗, 童上高, 顾文昊, 等. 机器人动态物料追踪抓取技术的轨迹算法设计[J]. *机器人技术与应用*, 2019(1): 29-32.
- [12] Sun K C, Liu C H, Yao G S, et al. Visual tracking combined least soft-threshold squares with Haar-like feature matching [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(24): 241001.
孙凯传, 柳晨华, 姚光顺, 等. 联合最小软阈值二乘和 Haar-like 特征匹配的视觉跟踪[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(24): 241001.
- [13] Zhou Y C, Chen Y M, Cheng X L, et al. Meanshift method for local feature point fusion of Asuka video tracking [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2019(18): 64-68.
周玉成, 陈业明, 程新蕾, 等. 飞鸟视频跟踪的局部特征点融合 Meanshift 方法[J]. *电子技术与软件工程*, 2019(18): 64-68.
- [14] Zhang Y, Zhang H, Han X Y. Targeting strategy based on Mean Shift and improved SURF algorithm [J]. *Control Engineering of China*, 2020, 27(4): 629-634.
张毅, 张瀚, 韩晓园. 融合 Mean Shift 和改进 SURF 算法的目标定位策略[J]. *控制工程*, 2020, 27(4): 629-634.