

# 基于改进几何矩的移动机器人 目标位姿识别

朱颖, 黄宇钧, 张亚婉, 唐艳凤, 屈福康

(广州华立学院, 广州 511325)

**摘要:** 机器人作业环境复杂、物料的随机摆放使得目标识别与定位精度低、实时性差, 提出改进几何矩的移动机器人目标识别; 采用 RGB-D 相机进行图像采集与深度信息获取; 提出了基于 HSV 的改进自动阈值与形态学相结合的分割算法对目标物料进行识别, 根据 HSV 颜色空间的特点结合 Otsu 算法对物料目标进行分割, 通过高斯滤波与形态学低通滤波器 OC-CO 对分割后的目标进行滤波降噪和补全处理; 提出了 Graham 与旋转卡壳相结合的算法寻找最小外接矩来获取目标物料的准确位姿; 实验结果表明算法具有较高的准确性和鲁棒性。

**关键词:** 移动机器人; 目标识别; 几何矩; 凸包; 形态学

## Target Pose Recognition of Mobile Robot Based on Improved Geometric Moment

ZHU Ying, HUANG Yujun, ZHANG Yawan, TANG Yanfeng, QU Fukang

(Guangzhou Huali College, Guangzhou 511325, China)

**Abstract:** The robot working environment is complex, and the random material placement makes the precision of object recognition and location low, and the real-time performance is poor, therefore an improved geometric moment for the mobile robot target recognition is proposed. RGB-D camera is used for the image acquisition and the depth information acquisition, and based on HSV and morphological segmentation algorithm, an improved automatic threshold is proposed for the object recognition, according to the characteristics of the HSV color space and the Otsu Algorithm, the material object is segmented, and the segmented object is filtered by the gauss filter and the morphological low-pass filter OC-CO. Based on Graham and rotating jam, an algorithm is proposed to find the minimum external moment and obtain the exact position and pose of the target material. Experimental results show that the Algorithm has high accuracy and robustness.

**Keywords:** mobile robot; target recognition; convex hull; morphology; geometric moment

## 0 引言

视觉感知使搬运机器人从传统的不可移动的工业机器人, 逐渐发展为可实现走向自由移动、智能分拣、往返搬运的移动机器人。利用 RGB-D 深度相机获得场景的彩色图和深度图像, 实现对场景的三维重建, 获取目标位姿信息等被广泛应用于智能协作机器人<sup>[1-2]</sup>。精准取物是搬运作业机器人的基本功能之一<sup>[3]</sup>。目标物料的认识与定位决定着机器人取物精度。

目标识别与定位主要有基于图像处理技术、基于机器学习的图像分割技术与分类器、基于深度学习的神经网络算法等<sup>[4]</sup>。文献 [5] 提出结合 CIE-Lab 颜色空间和深度信息对物体进行分割识别; 文献 [6] 通过形态学与 Canny 边缘检测相结合的算法识别目标物体, 并获取其中心坐标, 但是缺少目标姿态的识别; 文献 [7] 提出基于连通域 Blob

分析与神经网络分类器相结合的方法对随机摆放的多类型工件进行分类识别和定位, 该算法的实效性不太理想; 文献 [8] 通过 SURF 与 Grabcut 相结合算法识别目标物体, 利用模板匹配求取目标物体形心的世界坐标; 文献 [9] 利用改进遗传算法 GA 与最佳直方图 (KSW) 熵融合的方法对目标识别; 文献 [10-11] 对 Faster RCNN 的快速神经网络进行改进对小目标物体的识别与定位有较高精度并具有时效性。这些算法大部分缺少对目标姿态的识别, 不能满足机器人对随机摆放的目标进行准确作业的要求。

本文针对单目相机和双目相机识别精度低造成目标物料定位精度低等问题采用 RGB-D 相机进行图像的采集与深度信息获取。目前基于深度学习的卷积神经网络算法大多实时性和精确性不够<sup>[4]</sup>, 针对搬运机器人目标检测与定位的实时性问题, 提出了基于 HSV 颜色空间的改进 Otsu 分割算法对物料进行识别; 针对作业环境复杂, 物料摆放多

收稿日期: 2021-09-17; 修回日期: 2021-10-20。

基金项目: 广东省普通高校青年创新人才项目(2019KQNCX202); 广东省教育厅 2016 年重点培育学科项目(粤教研函[2017]1 号)。

作者简介: 朱颖(1986-), 女, 湖南邵阳人, 研究生, 讲师, 主要从事机器视觉、机器人控制方向的研究。

引用格式: 朱颖, 黄宇钧, 张亚婉, 等. 基于改进几何矩的移动机器人目标位姿识别[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 239-243.

变等问题,提出了 Graham 与旋转卡壳相结合的算法寻找最小外接矩来获取目标物料的准确位姿。

## 1 目标物料识别

目标物料识别是物料抓取的第一步,主要包括物料信息采集与预处理、物料的识别。目标识别步骤一般可分为:图像采集、颜色空间选取、图像预处理、图像分割与识别等。本文物料目标识别流程如图 1 所示。



图 1 目标物料识别步骤

本文采用 RGB-D 深度相机进行图像的采集,选取最接近人眼视觉的 HSV 颜色空间进行目标物料自动阈值分割,对分割后的特征集进行高斯滤波与形态学处理,获取更精准的特征进行识别。

### 1.1 图像的采集

本系统采用乐视 RGB-D 深度相机对图像进行采集与获取视觉信息,RGB-D 相机由 RGB 镜头与深度镜头构成,能获得场景的纹理图像与深度图像。RGB 镜头采用常见小孔成像镜头,深度相机是一种主动成像设备,通过红外发射器发出预定义红外模式,红外接收器接收回波,根据三角测距原理计算出目标点距离镜头的深度,RGB-D 相机结构如图 2 所示。

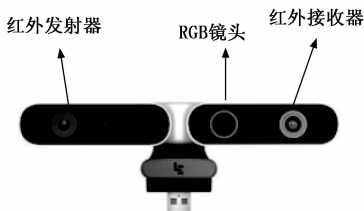


图 2 乐视深度相机的结构

结构光测距对投射光源进行了编码和特征化,相机拍摄的图像是被编码光源投影到物体上并经过了物体表面深度调制过的。结构光采用三角视差测距,物体距离越远则精度越高。

### 1.2 HSV 颜色空间

机器人环境变光强条件显著影响拍摄图像的 RGB 颜色空间像素值,从而影响物料识别算法的精确性和稳定性,本文采用 HSV (Hue, Saturation, Value) 颜色空间物料进行识别。HSV 模型是根据颜色的直观特性模型,也称六角锥体模型,可通过调节 H 分量来确保物料颜色特征的识别精度,调节 S 分量使其适应不同色调光照环境,调节 V 分量适应不同光照强度,提升环境自适应能力。

提出“H 窄, S 宽, V 动态”的新双阈值选取方式,通过 H (色相) 分量阈值范围调小的方式来确保物料颜色特征的识别精度,调节 S (饱和度) 分量的阈值范围扩大适

应不同色调光照环境,提高识别的精度、鲁棒性以及算法能力对环境的适应能力。通过 V (亮度) 变化的阈值范围,适应图片中稳定的光照,让视觉在光照发生变化时也能进行及时的调节,提升环境适应能力。

### 1.3 目标物料图像分割

本文实验物料识别对色相的精度要求较高,故不进行滤波处理直接在 HSV 颜色空间进行图像分割,为满足机器人实时性要求采用阈值分割算法对物料进行分割。

本文对色相 H 进行图像分割,通过对 H 进行细调使 H 阈值范围变小,可精确将特定颜色特征进行分割。亮度 V 相对独立,可通过后期动态调整图片亮度均值或者中值,使其适应各种光照环境。本实验系统物料的材质固定,在不同环境下其饱和度变化不大,不同色系的冷暖光照射将改变局部饱和度,可通过饱和度阈值适当加大来增强鲁棒性。本文采用 Otsu 算法即最大类间方差法进行自动阈值分割,最大类间方差阈值的求解过程不需要人为设定其他参数,由计算机自动选取。并对分割出来的特征集,进行面积、形状等特征分析获取目标集。

### 1.4 组合滤波算法

Otsu 算法对直方图具有明显双峰的图像效果理想,而物料的局部亮斑和阴影很容易产生噪声并影响分割目标的完整度,需对分割出的目标进行去噪与断裂补全处理。本文采用改进组合滤波算法对噪声进行滤波与补全处理。

首先采用高斯滤波算法对小噪声点进行滤波,并保持边缘。高斯滤波器对噪声处理效果由滤波窗口尺寸大小决定,窗口大则会导致图像变得模糊丢失信息;当窗口较小,则去噪效果不理想。选择  $3 \times 3$  的滤波窗口对物块图像进行实验。在去除较小噪声的同时,图像边缘轮廓也比较清晰。

为了对断裂进行补全、消除较大噪声对图像信息的干扰、同时保证图像的完整性,本文采用对噪声比较敏感的形态学低通滤波器 OC-CO 对分割后图像进行处理。数学形态学用腐蚀、膨胀、开运算、闭运算及其组合以及不同形状和长度的结构元素对信号进行处理。

开闭和闭开运算组合并取平均可构成形态学低通滤波器 OC-CO 即:

$$Y_o = f_{\alpha-\omega}(s_i, g) = (s_i \circ g \bullet g + s_i \bullet g \circ g) / 2 \quad (1)$$

其中:变量  $s_i$  为滤波器的输入信号,变量  $Y_o$  为滤波器的输出信号,变量  $g$  为滤波器的结构元素。

## 2 目标定位与姿态

机械手准确抓取除了需精准识别出物料,还要对物料进行定位和姿态识别,获取物料的准确位姿。根据待抓取物料是规则对称的特点,为避免出现互补角度分辨不明的情况,本文提出改进几何矩算法获取物料的中心坐标与姿态。结合目标最小外接矩的中心坐标与深度相机获取目标准确的深度信息。

改进几何矩算法通过计算几何矩的质心获取物料中心

像素坐标和区域凸包质心形成的矢量线角度计算物料旋转角度。本文利用“旋转卡壳模型”和“凸包效应”对位置识别算法进行改进。本文提出 Graham 与旋转卡壳相结合的算法寻找最小外接矩。

### 2.1 Graham 算法

凸包是一个计算几何学中的概念, 也称最小凸包, 是指包含集合  $S$  中所有对象的最小凸集<sup>[12]</sup>。物料的凸包是由凸多边形包围物料轮廓而形成的又一轮廓<sup>[13]</sup>。在二维空间中一个点集  $S$  的凸包是指包含  $S$  的最小凸集合, 集合  $X(x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$  的凸包  $S$  为:

$$S = \{ \sum_{i=1}^n t_i x_i \mid x_i \in X, \sum_{i=1}^n t_i = 1, t_i \in [0, 1] \} \quad (2)$$

常见的平面凸包求法有 Graham 扫描法<sup>[14]</sup>、Jarvis 步进法、中心法、水平法等<sup>[15]</sup>。计算二维点集凸包的经典算法有增量法、卡壳模型, 就是凸包的最小外接矩形, 四条线确定一个多边形的外接矩形模板, 如图 3 所示。

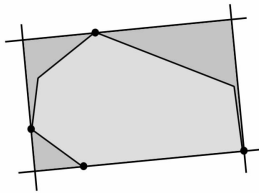


图 3 卡壳模型

Graham 算法步骤<sup>[16]</sup>为:

- 1) 找出参考点  $P_0$ ;
  - 2) 对其他点按极角进行排序, 逻辑上形成了一个简单多边形;
  - 3) 删除简单多边形上的凹点。
- 其过程如图 4 所示。

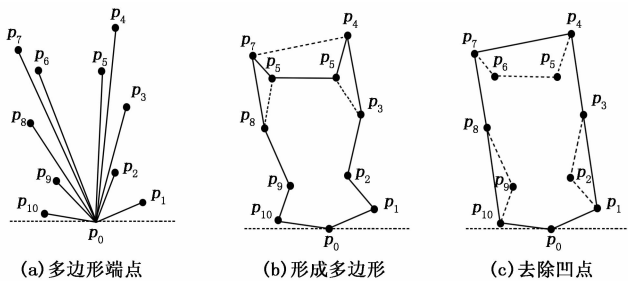


图 4 Graham 算法步骤

### 2.2 改进几何矩算法

基于“凸包”法能够节省更多的计算资源, 由于有些多边形端点的获取困难, 计算量大等缺点, 如当识别物体为圆弧形时, 就难以输出凸包点, 将造成程序错误导致无法运算, 本文对凸包算法进行改进, 通过两条相互垂直的旋转线对目标进行扫描, 获取上下左右的最大值和最小值 ( $\min P, \max P, \min P, \max P$ ) 形成“卡壳”集合, 并根据确定的坐标与斜率确定直线, 由两条直线相交获取矩形的 4 个顶点, 从而算出矩形面积, 求出最小面积即为物

料的最小外接矩形, 通过最小外接矩形计算出中心坐标。为了简化计算量提高速度, 扫描旋转时不区分长宽, 旋转角度垂直方向范围为  $(90^\circ, 180^\circ)$ 、水平方向为  $(0^\circ, 90^\circ)$ , 在姿态识别时加上长宽比进行约束。具体步骤为:

- 1) 起始时垂直方向以角度  $\theta_0 = 90^\circ$ 、水平方向角度为  $\theta_0 - 90^\circ$  的两条直线对二值图进行扫描, 获取  $\min P_0, \max P_0, \min P_0, \max P_0$ ;
- 2) 计算由  $\min P_0, \max P_0, \min P_0, \max P_0$  四个坐标和斜率确定的四条线围成的矩形面积, 并记录坐标、角度和面积;
- 3) 将 2) 获取的矩形框逆时针旋转  $1^\circ$ , 重复 1) 和 2) 直到旋转完  $90^\circ$ ;
- 4) 识别并输出最小面积, 确定最小外接矩形;
- 5) 根据最小外接矩形 4 个顶点, 确定物料的中心;
- 6) 计算外接矩垂直方向边长  $L_y$  与水平方向边长  $L_x$  之比, 获取物料姿态旋转角度。 $L_y : L_x > 1$ , 则物料姿态旋转角为  $\theta$ ; 反之, 则物料姿态旋转角为  $\theta - 90^\circ$ 。

### 2.3 目标深度测量

当深度相机与 RGB 镜头相融合, 消除视觉漂移解决深度图像与彩色图像不能重合的问题。物料对红外的遮挡将在背景上形成阴影, 深度图像将不进行物料的二次识别, 直接通过外接矩进行深度信息的获取。

本文取相机到物料前表面中心的距离为物料的深度  $D$ , 在抓取时, 对机械臂的运动坐标进行定值补偿, 简化运算与识别。具体实现如图 5 所示, 首先获取外接矩形框内的深度信息, 考虑到物料并非为规则的矩形其边缘与矩形框存在空隙, 该空隙对应的深度信息不是物料的深度信息需剔除; 本文在外接矩中心坐标附近选取一个圆, 以排除非物料像素的干扰, 再将该圆内的深度求均值获得深度  $D$ 。



图 5 深度信息的获取

## 3 实验验证

本文在基于 ROS 的移动搬运机器人上搭载 RGB-D 相机, 对搬运物料进行识别与位姿定位实验。通过与文献 [5] 的物料识别算法对比来验证本文识别算法的精确性; 而对于物料位姿定位, 通过对比传统几何矩算法来验证该算法的精确性, 并改变物料状态和环境进行反复实验, 验证该算法的有效性。

### 3.1 物料识别实验

对比文献 [5] 中基于 CIE-Lab 颜色空间的阈值分割算法, 该算法通过双阈值选择器, 选出特定阈值的色块。该算法能够快速计算出色块的位置和大小, 能对目标物料进行快速定位。当存在与目标物料同材质块状干扰时, 分别采用基于 CIE-Lab 阈值分割算法和基于 HSV 颜色空间自动阈值分割算法进行识别, 其识别效果如图 6 所示。

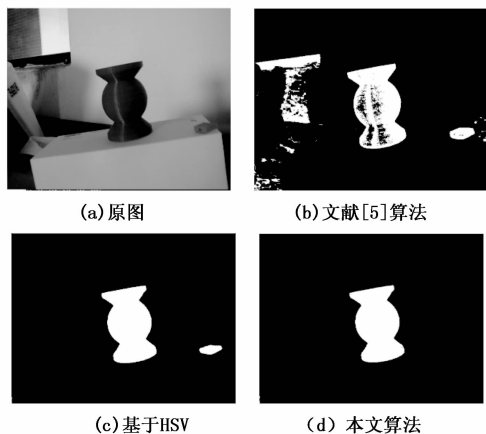


图 6 优化算法对强干扰的排除

从图 6 中可得原图中存在众多干扰, 如阴影、目标物料同颜色的小蓝块、反光等光照不均等。文献 [5] 中算法精度比较低, 需要事先取阈值, 受环境影响较大, 易造成误识别或识别失败, 无法消除阴影蓝斑效应等影响, 虽能分割出目标物料, 同时也分割出很多伪目标, 且对于反光部分目标缺失。基于 HSV 颜色空间的最大类间方差法能有效去除阴影等影响, “H 窄 S 宽 V 动态” 阈值选取能够同时解决鲁棒性与精确性的问题, 但与目标物料相同的小蓝块也被分割。本文算法进一步进行面积和形状处理去除小蓝块。其效果如图 5 所示。

当光照发生变化时, 如图 7 (a) 所示, 物料部分被自身阴影遮蔽, 环境亮度却很强。识别出的物料易形成高光区形成噪声、遮蔽处产生断裂甚至容易产生巨大的断裂误判为两个或多个不同的物体, 如图 7 (b) 所示。本文改进算法识别效果如图 7 (c) 所示, 改进后算法通过改进组合滤波算法对噪声进行滤波与补全处理有效消除噪声点的影响, 同时补全阴影断裂。

### 3.2 位姿识别实验验证

对实验一识别到的物料进行定位与姿态进行识别, 其效果对比如图 8 所示。

由图 8 可得, 传统几何矩算法只能定位物料的中心坐标, 无法识别物料姿态; 当出现干扰时, 其抗干扰能力弱, 输出的中心坐标失真; 当无明显干扰时, 传统算法得到的外接矩也不是最小矩, 其中心坐标也存在偏差。采用本文算法得到最小外接矩, 对物料定位更精准, 并能识别其姿态。



(a) 原图

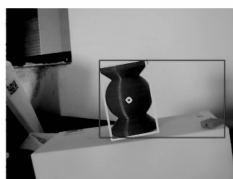


(b) 基于 HSV

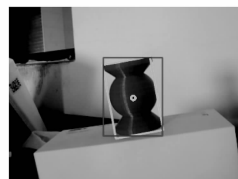


(c) 本文改进算法

图 7 局部阴影识别效果



(a) 存在蓝色块干扰



(b) 无明显干扰

图 8 物料姿态识别效果

对不同位姿的物料进行识别, 如图 9 所示。



(a) 物料左斜放置



(b) 物料竖直放置



(c) 物料右斜放置



(d) 物料水平放置

图 9 物料不同位姿识别效果

由图 9 可以看出, 采用本文算法可对不同位姿有效识别。该算法在不同环境下能准确识别物料的大小、位置、倾斜角等, 具有较高的准确度和鲁棒性。

## 4 结束语

本文采用 RGB-D 深度相机搭建移动机器人的视觉系统, 对搬运物料进行图像采集与深度信息获得。

结合 HSV 颜色空间的特点, 采用改进后的 Otsu 分割算法对目标物料进行分割, 然后采用高斯滤波与形态学低通滤波器 OC-CO 的组合滤波器对分割的特征集进行去噪与断裂补全处理, 最后对目标物料进行识别。实验结果表明,

该算法对存在与目标物料类似材质干扰、光照发生变化、物料部分被自身阴影遮蔽、高反光区形成噪声、遮蔽处产生断裂等复杂环境均能快速准确对目标物料进行识别。

提出了改进几何矩算法对物料的位置和姿态进行识别, RGB-D 深度相机结合几何矩获取深度信息。实验结果表明, 该算法对物料在不同环境下均能准确识别出物料的大小、位置、倾斜角、深度信息等, 具有较高的准确度和鲁棒性。

#### 参考文献:

- [1] 钟宇, 张静, 张华, 等. 基于目标检测的机器人手眼标定方法 [J/OL]. 计算机工程: 1-7 [2021-08-22]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0060670>.
- [2] XIAO H Z, LI Z J, YANG C G, et al. RGB-D sensor-based visual target detection and tracking for an intelligent wheelchair robot in indoors environments [J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2015, 13 (3): 521-529.
- [3] 王迷迷, 钱堃, 朱林, 等. 位置不确定下移动机器人自主抓取方法 [J]. 仪表技术与传感器, 2021 (5): 101-106.
- [4] 郑太雄, 江明哲, 冯明驰. 基于视觉的采摘机器人目标识别与定位方法研究综述 [J/OL]. 仪器仪表学报: 1-23 [2021-08-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2179.TH.20210826.1418.006.html>
- [5] JOSÉ JUAN HERNÁNDEZ LÓPEZ, ANA-LINET QUINTANILLA OLVERA, JOSÉ-LUIS LÓPEZ RAMÍREZ, et al. Detecting objects using color and depth segmentation with Kinect sensor [J]. Procedia Technology, 2012, 3: 196-204.
- [6] 刘阳, 刘超, 许宝卉. 视觉技术在圆孔识别定位中的应用

[J]. 仪表技术与传感器, 2021 (7): 108-111.

- [7] 杨桂华, 刘志毅, 王晓文. 基于机器视觉多目标工件分类识别和定位研究 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (11): 82-86.
- [8] 高智伟, 谭晓东, 刘客. 基于双目视觉的物体识别定位与抓取 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (20): 8285-8291.
- [9] 柴钰, 许继科. 基于机器视觉的目标识别与定位系统 [J]. 计算机工程与设计, 2019, 40 (12): 3557-3562.
- [10] 李国进, 姚冬宜, 艾娇燕, 等. 基于改进 Faster R-CNN 的水面漂浮物识别与定位 [J]. 信阳师范学院学报 (自然科学版), 2021, 34 (2): 292-299.
- [11] 马静怡, 崔昊杨, 张明达, 等. 基于改进 Faster RCNN 的小尺度入侵目标识别及定位 [J]. 中国电力, 2021, 54 (3): 38-44.
- [12] 邵勇, 张钰婷, 顾桂鹏, 等. 基于最小凸包的直齿圆柱齿轮检测方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31 (9): 1385-1393.
- [13] 舒子超, 曹松晓, 谢代梁, 等. 基于三维视觉特征的数字手势语义识别新方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (6): 124-130.
- [14] 孟浩, 尹维考, 李洪进, 等. 基于深度信息的指尖检测-跟踪-监督算法 [J]. 仪器仪表学报, 2019, 40 (6): 171-180.
- [15] 张勇, 杨傲雷. 基于凸包及最小面积外接矩形的 QR 码定位 [J]. 电子测量技术, 2017, 40 (4): 152-156.
- [16] 彭策, 胡伟. 复杂表面特征布料的定位算法研究 [J]. 传感器与微系统, 2021, 40 (5): 49-51.
- [12] 林平荣, 陈泽荣, 施晓权. 高并发多线程竞争共享资源架构 [J]. 计算机工程与设计, 2020, 41 (11): 3282-3288.
- [13] 王宇净. 基于 Redis 的高性能数据库引擎的研究和实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
- [14] 王一帆. 基于 Lua 虚拟机的通用业务引擎的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2016.
- [15] 伍华锋, 王小刚, 候劲, 唐小林. Redis 集群系统的优化研究与实现 [J]. 四川轻化工大学学报 (自然科学版), 2020, 33 (6): 39-45.
- [16] GRZESIK P, MROZEK D. Evaluation of Key-Value Stores for Distributed Locking Purposes [Z]. 2019: 70-81.
- [17] 陈鹏. 基于分布式缓存和消息中间件的选课系统的设计与实现 [D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [18] 王庆喜, 桑书娟. 一种基于 hebernate 乐观锁的信息系统开发模型 [J]. 软件, 2012, 33 (4): 72-73, 77.
- [19] 唐权, 周蓉, 张勇. RabbitMQ 消息中间件在 Spring Boot 教学中的应用 [J]. 现代信息科技, 2020, 4 (18): 125-127.
- [20] 黄少敏, 狄婷, 袁星雨, 等. JMeter 在医药行业性能自动化测试中的应用 [J]. 中国仪器仪表, 2021 (4): 45-49.

(上接第 238 页)

- [5] 孙浩. 基于 SpringMVC 及 MyBatis 框架的在线教育平台的设计与实现 [D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2019.
- [6] PINGPING LIU, JIAXING LU. Research on Enterprise Application Integration Platform Based on SOA Architecture [J]. International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls, 2020, 5 (1): 15-21.
- [7] 李明, 王伟, 张栋栋. 传统架构升级微服务的设计与实现 [J]. 科技传播, 2019, 11 (10): 140-142.
- [8] 冯硕, 李书琴, 杨会君. 基于 Web 挖掘的化学物质信息提取应用研究 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 33 (8): 3040-3046.
- [9] 陈冬梅, 常广炎. ZooKeeper 的开发和应用 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2017 (21): 35-36.
- [10] 吕盛泽. 基于数据挖掘的数据库索引优化方法研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2020.
- [11] JIA-SONG SUN, ZHI-YONG LIU, QIAO SUN, et al. Distributed Database Integrated Transaction Processing Technology Research [J]. Journal of Web Systems and Applications, 2017, 1 (1): 15-19.