

装备与成套技术

止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料方法及其装置的研制

李 蕾^{1,2}, 杨振宇¹, 李玉胜^{1,3}, 刘发英⁴

(1. 山东理工大学 机械工程学院, 山东 淄博 255000; 2. 滨州市技师学院 机械工程系, 山东 滨州 256600;
3. 山东工智科技有限公司, 山东 淄博 255000; 4. 山东理工大学 电气与电子工程学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 针对止血钳裙边冲裁工作效率低、劳动强度大、危险系数高等问题, 提出了一种基于视觉定位的止血钳裙边冲裁机器人上料方法。搭建了机器视觉试验台, 通过纠偏基准图像逆向采集策略完成图像采集, 对图像进行预处理并运用亚像素方法提高边缘精度; 通过模板匹配的方法获取止血钳抓取位与基准位的位置偏差, 并进行位置纠偏, 最后由机器人将止血钳送至冲床凹模完成上料。试验结果表明, 机器人自动上料的定位成功率可达96%以上, 可满足止血钳裙边冲裁机器人自动上料的需求, 平均日冲压量可达15000件, 显著提高了冲压效率。研究内容可为冲床自动上料提供技术支持。

关键词: 止血钳; 裙边冲裁; 图像处理; 视觉定位; 机器人上料

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.05.026

中图分类号: TP249 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2025) 05-0211-08

Feeding method of visual positioning robot for hemostatic forceps skirt edge trimming and development of its device

Li Lei^{1,2}, Yang Zhenyu¹, Li Yusheng^{1,3}, Liu Faying⁴

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;
2. Department of Mechanical Engineering, Binzhou Technician College, Binzhou 256600, China;
3. Shandong Industrial-intelligent Science & Technology Co., Ltd., Zibo 255000, China;
4. School of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: For the problems of low feeding efficiency, high labor intensity and high risk coefficient in the hemostatic forceps skirt edge trimming, a robot feeding method of hemostatic forceps skirt edge trimming based on visual positioning was proposed. The machine vision test platform was built, and the image acquisition was completed by the reverse acquisition strategy of correction reference image, then the image was preprocessed, whose edge accuracy was improved by the sub-pixel method. The position deviation between gripping position of hemostatic forceps and reference position was obtained by the template matching method, and the position deviation was corrected. Finally, the robot sent the hemostatic forceps to the die to complete the feeding. The experimental results show that the positioning success rate of the robot automatic feeding can reach more than 96%, which can meet the demand of the robot automatic feeding of hemostatic forceps skirt edge trimming. The average daily stamping capacity can reach 15000 pieces, and the stamping efficiency can be significantly improved. Thus, the research content can provide technical support for the automatic feeding of punch press.

Key words: hemostatic forceps; skirt edge trimming; image processing; visual positioning; robot feeding

止血钳是一种用于夹持和止血的小型医疗器械, 广泛应用于外科手术中。随着我国医疗水平的飞速

发展, 对于止血钳的需求量持续增加。止血钳的冲压加工中主要依靠人工手动上料定位, 存在工作效率低、劳动强度大、危险系数高等问题, 止血钳毛坯冲压加工中的上料定位是最需要却最难实现自动化的一道工序^[1-3], 亟待通过智能化改造来替代人工手动上料定位^[4-5]。机器视觉技术融合了图像处理、模式识别、精密测量等技术, 具有非接触、定位柔性好、采样周期短、信息量大、成本低、稳定性好、精度高和智能化等特性而被广泛应用于工业

收稿日期: 2024-06-04; 修订日期: 2024-09-12

基金项目: 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0981)

作者简介: 李 蕾 (1991-), 男, 硕士研究生

E-mail: boxinglei@163.com

通信作者: 杨振宇 (1973-), 男, 工学博士, 副教授

E-mail: 05338@163.com

生产作业中^[6-9]。引入机器视觉代替人工手动上料定位,理论上可以对止血钳的裙边冲裁进行自动冲压加工。国外学者 Khalili K 等^[10]和 Jiang T 等^[11]在加工工件的非接触视觉检测算法等方面进行了深入的研究。国内学者也对机器视觉技术进行了深入研究,黄柳倩^[12]对冲压件表面缺陷检测进行了研究;马超等^[13]对基于工业机器人的图像引导圆孔定位进行了研究,但在视觉纠偏技术方面的研究较少。

本文提出了一种止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料方法,通过工业相机和机器人相结合的方式替代传统人工手动上料定位,提出一种纠偏基准图像逆向采集策略,利用基于形态学梯度的样条插值亚像素边缘检测方法,提取纠偏基准特征区域的亚像素轮廓,通过基于形状的模板匹配方法获取止血钳毛坯的大圆和小圆的圆心坐标,机器人完成位置纠偏后将止血钳毛坯运送至放料位冲床凹模上,实现自动上料。

1 系统组成与工作原理

1.1 系统组成

止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料系统由机器人、光源、纠偏工业相机、分料架、冲床、冲裁模具和模口检测工业相机等部分组成,系统组成如图 1 所示。为有效应对冲压车间的恶劣环境,机器人选用防护等级高、数据传输可靠的 FANUC-LR-Mate-200iD 型六自由度机器人;光源系统选用海康威视 MV-LLDS-372-38 条形光源和 MV-LEVD-200-4-PY 光源控制器。冲压设备采用扬力集团股份有限公司的 JH21-45 型冲床,冲床的主要技术参数如表 1

所示。冲裁模具由凹模和凸模组成,其中,凹模是模具中的固定部分,凸模是模具中的活动部分,凹模和凸模的结构如图 2 所示。机器视觉系统主要包括工业相机、镜头和视觉控制器,工业相机和镜头直接影响机器视觉系统的识别精度,合理选用相机和镜头尤为重要,选取图像读取速度快、防护等级高、数据传输可靠的海康威视 MV-CS060-10GC 工业相机、MVL-MF3518M-5MPE 工业镜头和 MV-VC3701P-128G66 视觉控制器。整个系统不仅响应时间短,且稳定性高。

表 1 冲床的主要技术参数

Table1 Main technical parameters of punch press

参数	数值
公称力/kN	450
公称力行程/mm	4
滑块行程/mm	100
定速行程次数/min ⁻¹	80
调速选配行程次数/min ⁻¹	40~90
最大装模高度/mm	270
装模高度调节量/mm	60
滑块中心至机身距离/mm	230
工作台板尺寸(前后×左右)/(mm×mm)	440×810
机身工作台孔距离(前后×左右)/(mm×mm)	300×300
工作台板厚度/mm	110
滑块底面尺寸(前后×左右)/(mm×mm)	340×410
模柄孔尺寸(直径×深度)/(mm×mm)	Φ40×60
立柱间的距离/mm	550
主电机功率/kW	5.5
质量/kg	3450

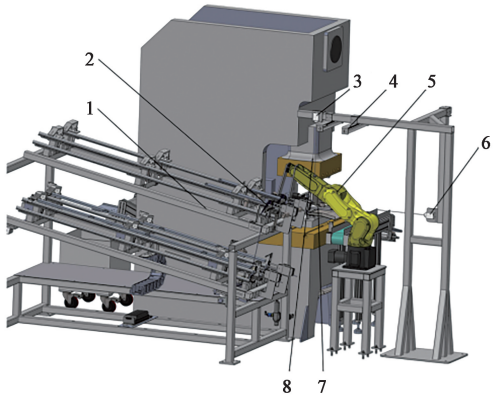


图 1 上料系统组成

1. 分料架 2. 止血钳毛坯件 3. 纠偏工业相机 4. 光源
5. 机器人 6. 模口检测工业相机 7. 冲裁模具 8. 冲床

Fig. 1 Components of feeding system

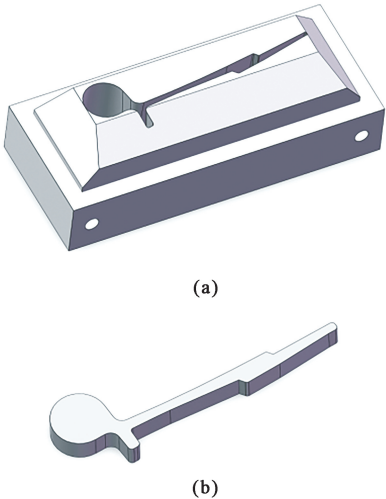


图 2 冲裁模具结构

- (a) 凹模 (b) 凸模

Fig. 2 Structures of blanking dies

- (a) Die (b) Punch

1.2 系统工作原理

止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料系统通过机器人、视觉系统以及 PLC 控制系统相互配合来完成自动上料。止血钳分料架将止血钳毛坯分料后经机器人运送至视觉系统图像采集位，执行视觉系统图像采集，处理图像后将止血钳的定

位坐标信息传输至 PLC 控制器，然后机器人根据 PLC 中所接收到的信号完成止血钳位置纠偏，随后机器人按照既定的路径到达冲床凹模放料位完成放料，最后机器人回到分料架取料位再次取料进入下一个工作循环。系统工作原理如图 3 所示。

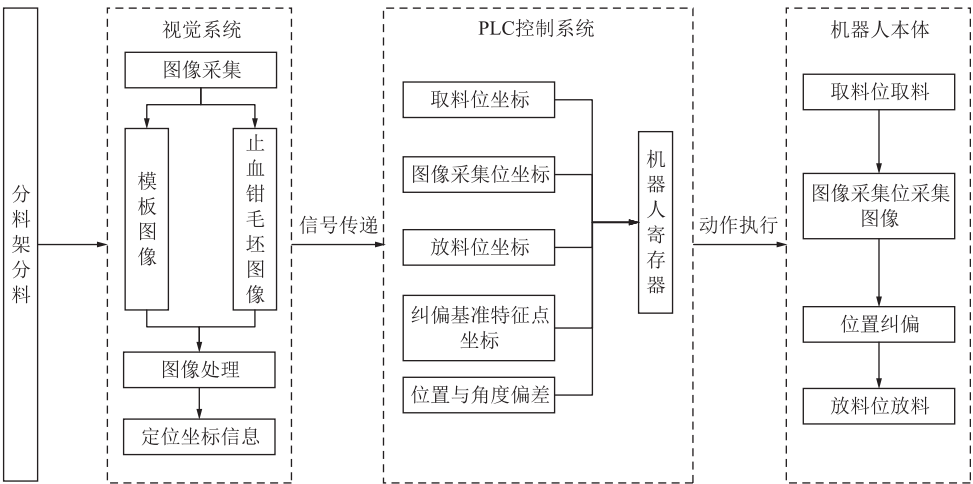


图 3 系统工作原理

Fig. 3 Working principle of system

2 定位点特征纠偏

2.1 纠偏基准特征参数提取

首先，将止血钳毛坯件放置于冲床凹模合格位置上；然后，引导机器人运行到冲床凹模上方，电

磁铁通电，吸取止血钳毛坯件，同时对机器人该位置的坐标进行标记，并设置为止血钳毛坯件放料位；最后，引导机器人运行至纠偏工业相机下方，完成纠偏基准图像采集，同时对机器人该位置的坐标再次进行标记，并设置为图像采集位。通过纠偏基准图像逆向采集策略获取的纠偏基准图像如图 4a 所示。

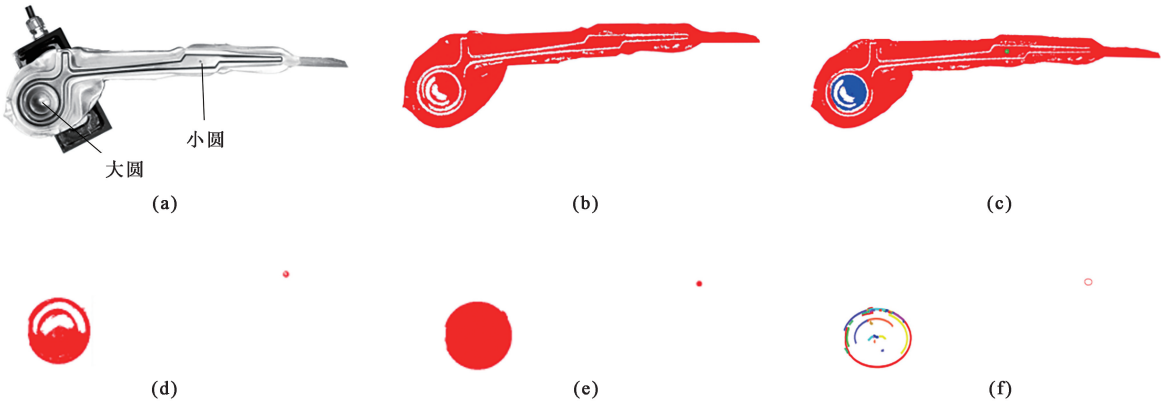


图 4 纠偏基准特征参数提取

(a) 纠偏基准图像 (b) 分割后的图像 (c) 连通区域标记 (d) 纠偏基准特征区域提取 (e) 纠偏基准特征区域形态学处理 (f) 纠偏基准特征轮廓亚像素拟合

Fig. 4 Extraction of feature parameters for deviation-correction datum

(a) Deviation-correction datum image (b) Segmented image (c) Connected area markers

(d) Feature area extraction of deviation-correction datum (e) Morphological treatment of feature area for deviation-correction datum

(f) Sub-pixel fitting of feature contour for deviation-correction datum

由纠偏工业相机采集到的止血钳毛坯件的纠偏基准图像不能直接提取纠偏基准特征点, 还需对图像进行处理, 提高纠偏基准特征点的提取精度。首先, 对原灰度图进行阈值分割, 分割出止血钳外形轮廓; 其次, 对分割后的止血钳外形轮廓进行连通区域标记, 进一步细化分割区域; 然后, 提取纠偏基准特征区域, 对纠偏基准特征区域进行形态学处理; 最后, 拟合纠偏基准特征轮廓, 获取纠偏基准特征点坐标。具体步骤如下。

(1) 图像阈值分割。在图像处理中, 为了获取特定区域的信息, 通常采用阈值分割技术对感兴趣区域 (Region of Interest, ROI) 进行处理, 从而将该区域从图像中分离出来, 形成一个或多个区域。

最大类间方差阈值选择法 (OTSU 法) 是一种基于直方图的算法, 通过最小二乘法原理推导出的阈值具有统计意义上的最佳分割效果。OTSU 算法的基本思想是: 假设图像中的像素点有 L 种不同的灰度级别, 对于每种灰度值 j , 其在图像中出现的频次为 n_j , 图像中的总像素公式为:

$$N = \sum_{j=0}^{L-1} n_j \quad (1)$$

式中: N 为图像中的总像素。

灰度值 j 的概率分布 p_j 可以表述为:

$$p_j = n_j / N \quad (2)$$

假定图像的灰度级别分布为 $[0, L]$, 并且将灰度级别 t 作为分界点, 将图像分割为两个类别 P_A 和 P_B , 具体如式 (3) 所示:

$$\begin{cases} P_A = \sum_{j=0}^t p_j \\ P_B = \sum_{j=t+1}^{L-1} p_j \end{cases} \quad (3)$$

这两个类别的灰度值均值 ω_A 和 ω_B 的计算公式如式 (4) 和式 (5) 所示。

$$\omega_A = \frac{\sum_{j=0}^t (p_j j)}{P_A} \quad (4)$$

$$\omega_B = \frac{\sum_{j=t+1}^{L-1} (p_j j)}{P_B} \quad (5)$$

通过公式可以计算出图像总体灰度值均值为 $\omega_T = P_A \omega_A + P_B \omega_B$, 根据方差计算公式可得出式 (6) [14]。

$$\delta^2 = P_A (\omega_A - \omega_T)^2 + P_B (\omega_B - \omega_T)^2 \quad (6)$$

式中: δ 为类内方差。

通过 OTSU 算法的基本原理可以得到 OTSU 求取图像最佳阈值的公式 (式 (7)), 方差越大, 效

果越好 [15]。

$$T = \max_{0 \leq j \leq L-1} [P_A P_B (\omega_A - \omega_B)^2] \quad (7)$$

式中: T 为类间方差。

OTSU 算法可有效分割出目标区域, 且执行时间短、效果明显。其分割效果如图 4b 所示。

(2) 连通区域标记。图像的连通区域是指具有相同像素值且位置相邻的像素点所组成的图像区域 [16]。数学表达上可以表述为: 如果两个目标像素 H 、 Q 是连通的, 则存在一条路径 H_1 、 H_2 、 H_3 、 \dots 、 H_n , 其中 $H_1 = H$, $H_n = Q$, 并且对任意的 $1 \leq i \leq n-1$ 有 H_i 与 H_{i+1} 相邻。其中, H_i 为第 i 个目标像素。连通区域分为 4-连通区域和 8-连通区域, 其数学描述如下。

若 $H_1(x_1, y_1)$ 和 $H_2(x_2, y_2)$ 两个像素点满足式 (8), 则 $H_1(x_1, y_1)$ 和 $H_2(x_2, y_2)$ 是 8 邻域相邻的。

$$1 \leq (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \leq 2 \quad (8)$$

若 $H_1(x_1, y_1)$ 和 $H_2(x_2, y_2)$ 两个像素点满足式 (9), 则 $H_1(x_1, y_1)$ 和 $H_2(x_2, y_2)$ 是 4 邻域相邻的。

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 = 1 \quad (9)$$

式中: (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 分别为像素点 H_1 和 H_2 的坐标。

连通区域标记就是将图像中相邻的且具有相同像素值的区域找出来并标记, 本文通过种子填充 (Seed-Filling) 算法实现连通区域标记。其中, 种子的选取是从前景中选择一个像素点, 然后将种子周围与其相邻且像素值匹配的前景像素汇聚到一个集合中, 形成一个连通区域。对阈值分割后的图像进行连通区域标记, 进一步细化图像分割区域, 效果如图 4c 所示。

(3) 纠偏基准特征区域提取。图像经过阈值分割与连通区域标记后, 有些区域不是目标区域, 还需要进一步处理来提取纠偏基准特征区域, 这时就需要用到特征直方图, 根据面积 *area*、行坐标 *row*、列坐标 *column* 来进行图像纠偏基准特征区域的提取。提取的纠偏基准特征区域如图 4d 所示。

(4) 纠偏基准特征区域形态学处理。特征直方图提取的图像中充斥着各种噪声, 严重影响后续的纠偏基准特征轮廓拟合。通过形态学的灰度膨胀、灰度腐蚀等对图像的噪声进行处理, 提高了后续纠偏基准特征轮廓的拟合精度, 形态学处理后的纠偏基准特征区域如图 4e 所示。

(5) 纠偏基准特征轮廓拟合。纠偏基准特征轮廓的实际边缘并不完全覆盖整个像素, 需要精确到浮点坐标位置。为了提高拟合的精度, 通过基于形

态学梯度的样条插值亚像素边缘检测方法提取纠偏基准特征区域的亚像素轮廓。

首先利用梯度函数式 (10) 获得像素点梯度幅值, 然后再代入插值公式 (式 (11)):

$$G(x, y) = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (10)$$

$$\varphi(x) = \sum_{u=0}^2 \sum_{v=0}^2 \frac{x - x_u}{x_u - x_v} \cdot y_u \quad (11)$$

式中: $G(x, y)$ 为边缘点梯度幅值; (x, y) 为图像像素点坐标; f 为边缘点, f_x 和 f_y 分别为边缘点的 x 方向梯度和 y 方向梯度; $\varphi(x)$ 为插值点的插值; x_u 和 x_v 为第 u 个和第 v 个插值点的横坐标; y_u 为第 u 个插值点的纵坐标。

令:

$$\frac{d\varphi(x)}{dx} = 0 \quad (12)$$

将式 (12) 所得值代入式 (10) 获得对应梯度函数, 再代入式 (13):

$$X_u = x + \frac{f(x-1, y) - f(x+1, y)}{2[f(x-1, y) - 2f(x, y) + f(x+1, y)]} \quad (13)$$

通过式 (13) 计算得到 x 方向的亚像素坐标 X_u , 同样可求得 y 方向的亚像素坐标 Y_u 。最后对亚像素点 (X_u, Y_u) 进行多项式拟合, 如式 (14) 所示:

$$L_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_mx^m \quad (14)$$

式中: $L_m(x)$ 为 m 次多项式函数, $a_0 \sim a_m$ 为 m 次多项式的拟合系数。

通过细化边缘, 拟合出高质量的亚像素级纠偏基准特征轮廓, 同时获取纠偏基准特征点坐标 (大圆和小圆的圆心坐标), 如图 4f 所示。

2.2 抓取件位置纠偏

2.2.1 形状模板创建与匹配结果

拟合出纠偏基准特征轮廓后需要将该区域裁剪出来用于形状模板的创建, 考虑到止血钳毛坯件在锻造及各个工序转运过程中会造成形状的微小变形, 所采集的图像会产生旋转和缩放, 这就需要创建带比例缩放的形状模板, 同时考虑到冲压车间环境的复杂性, 创建的模板要设置为即使局部对比度变化也能找到模型。

模板匹配要求每旋转一个角度, 每缩放一个尺寸, 就匹配一次。匹配成功得到大致的位置, 但由于此时分辨率较低, 所以结果并不够精确, 在得到大致的位置后再逐层返回精确匹配, 此时匹配的范围就在之前得到结果的某个邻域内, 从而节省时间, 匹配结果如图 5 所示。

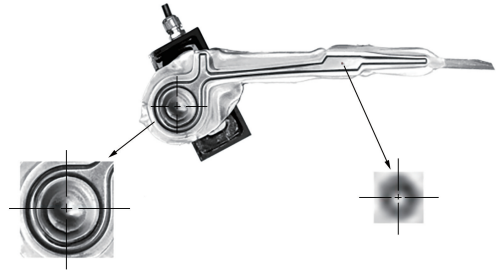


图 5 模板匹配结果

Fig. 5 Template matching result

2.2.2 位置纠偏

纠偏基准图像采集时设定止血钳毛坯以纠偏工业相机图像采集位的大圆和小圆的圆心为基准位, 基准位的止血钳大圆圆心坐标为 $A(x_{01}, y_{01})$ 、小圆圆心坐标为 $B(x_{02}, y_{02})$ 。通过模板匹配得到的抓取件位的止血钳毛坯大圆圆心坐标为 $A'(x'_{01}, y'_{01})$ 、小圆圆心坐标为 $B'(x'_{02}, y'_{02})$, 如图 6 所示。通过式 (15) 计算出抓取件位与基准位的位置偏差 Δx 、 Δy , 通过式 (16) 计算出抓取件位与基准位的角度偏差 $\Delta \theta$ 。

$$\begin{cases} \Delta x = x'_{01} - x_{01} \\ \Delta y = y'_{01} - y_{01} \end{cases} \quad (15)$$

$$\Delta \theta = \arctan \frac{y'_{02} - y'_{01}}{x'_{02} - x'_{01}} - \arctan \frac{y_{02} - y_{01}}{x_{02} - x_{01}} \quad (16)$$

其中, 位置偏差 Δx 、 Δy 的正、负代表在 X 轴与 Y 轴上的正负偏差, $\Delta \theta$ 的正、负代表角度修正的顺时针与逆时针旋转。首先, 机器人沿 X 轴与 Y 轴移动 Δx 与 Δy 完成位置偏差的纠偏; 然后, 机器人再以大圆圆心 A 为圆心旋转 $\Delta \theta$ 完成角度偏差的纠偏; 最后, 机器人将止血钳毛坯运送至放料位冲床凹模上。具体纠偏原理如图 6 所示。

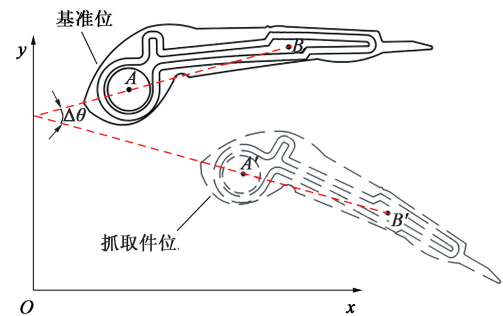


图 6 纠偏原理

Fig. 6 Principle of deviation-correction

3 控制系统

3.1 控制系统结构

止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料系统的

控制系统需运行稳定,且应具有较强的抗干扰能力,因此,本系统采用可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)进行控制^[17]。在如图7所示的控制系统结构中,通过人机界面(Human Machine Interface, HMI)和PLC接收来自外部的信号输入,进而操控步进电动机驱动器以驱动步进电动机以及电磁阀来控制气缸。机器人根据视觉系统所传递的坐标信息及位置偏差完成自动纠偏上料。

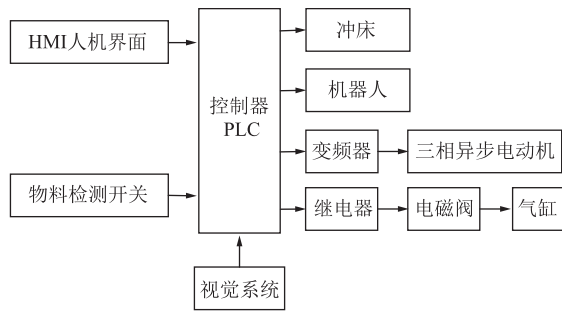


图7 控制系统结构图

Fig. 7 Structure diagram of control system

3.2 控制流程

通过机器人与视觉系统相互配合完成止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料。首先,机器人到取料位取料;其次,机器人到纠偏工业相机图像采集位采集图像;然后,获取抓取件位止血钳毛坯的大圆和小圆的圆心坐标;接着,计算抓取件位与基准位的位置与角度偏差,机器人完成位置纠偏;最后,引导机器人至放料位放料。整体控制流程如图8所示。

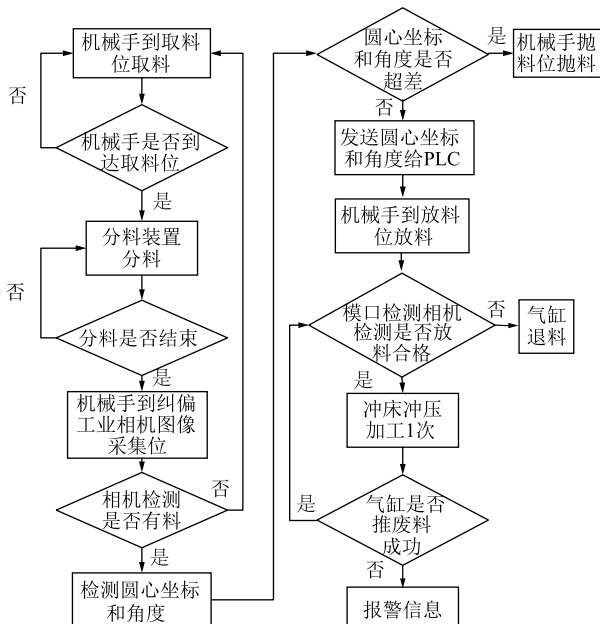


图8 控制系统流程图

Fig. 8 Flow chart of control system

4 试验与结果分析

4.1 试验材料与装置

试验材料为长度为200 mm的直止血钳锻压毛坯件,材质为316不锈钢,数量为12000件,止血钳毛坯如图9a所示。试验装置为止血钳自动上料定位冲压系统,由分料架、机器人、工业相机、冲床、模具等组成,如图9b所示。



(a)



(b)

图9 试验材料与装置

(a) 止血钳毛坯 (b) 试验装置

Fig. 9 Test materials and devices

(a) Hemostat forceps blank (b) Test set-up

4.2 视觉识别率试验

由于机器人执行位置纠偏动作时是根据抓取件位的止血钳大圆和小圆的圆心坐标信息来完成的,因此,视觉识别是一项必要的工作^[18-19]。将视觉识别率定义为:

$$\eta = \frac{Z - W}{Z} \times 100\% \quad (17)$$

式中: η 为视觉识别率; Z 为止血钳视觉识别试验总件数; W 为视觉未识别止血钳件数。

为了降低由于止血钳毛坯批次和规格对视觉识别率试验带来的影响,采用同批次、同规格的止血钳锻压毛坯共3000件进行视觉识别率试验,将试验样本分成3组(A、B、C),每组1000件。

A、B、C这3组样品的视觉识别率分别为98.18%、98.36%和98.23%。造成视觉识别失败的主要原因为止血钳毛坯件本身存在较大的翘曲变形,

导致视觉识别不到大圆和小圆。试验结果表明，止血钳平均视觉识别率为 98.26%，满足止血钳冲压加工要求。

4.3 上料合格率试验

机器人的上料合格率直接影响后续的冲压加工，是止血钳冲压系统性能试验的重要指标之一。以 9000 件同批次、同规格的止血钳毛坯为试验样本，将试验样本分为 9 组，每组 1000 件，分别对应机器人运动速度的 60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95% 和 100%，其中，机器人 100% 运动速度为 $1000\text{ (}^\circ\text{)}\cdot\text{s}^{-1}$ ，共进行 9 组视觉重复定位精度试验，以凹模定位情况来验证机器人不同运动速度下的上料合格率。试验数据如表 2 所示。

表 2 上料合格率试验数据
Table 2 Data of feeding qualification test

机器人运动速度/%	放置合格/件	放置不合格/件	放料合格率/%
60	979	21	97.90
65	980	20	98.00
70	981	19	98.10
75	978	22	97.80
80	975	25	97.50
85	971	29	97.10
90	926	74	92.60
95	883	117	88.30
100	817	183	81.70

表 2 中的试验数据表明，当机器人运动速度为 60%~85% 时，放料合格率为 97.10%~98.10%，放料合格率未达到 100%。分析原因为：车间光照强度的变化导致纠偏工业相机采集图像质量不稳定，从而使视觉纠偏不准确；邻近机器工作时产生的振动引起纠偏工业相机和机器人的振动，导致视觉定位出现偏差，造成放料合格率降低。当机器人运动速度为 85%~100% 时，放料合格率出现大幅度下降，出现这种情况的原因为机器人完成位置纠偏后，从基准位向放料位高速运动导致末端执行器上电磁铁吸附的止血钳毛坯出现滑移，使位置纠偏结果发生改变，导致机器人放料不合格。针对以上问题，通过在纠偏工业相机和光源支架上加装遮光罩、机器人底座和在相机支架底座增加防振橡胶垫、将机

器人的运动速度设置为 85% 等措施后，该自动上料冲压系统连续工作 20 h，放料合格率提高至 98.1%，成功冲压止血钳 15000 件，满足设计要求。冲裁后的止血钳和裙边如图 10 所示。

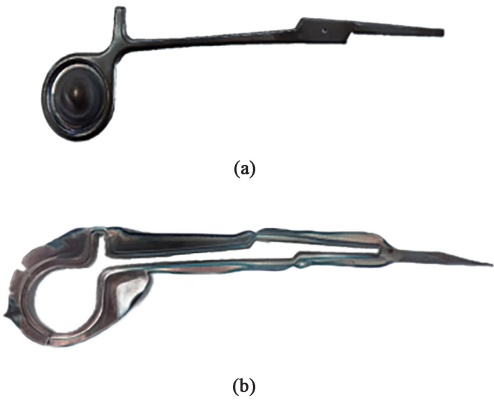


图 10 冲裁结果
(a) 止血钳 (b) 裙边
Fig. 10 Blanking results
(a) Hemostatic forcep (b) Skirt edge

5 结论

(1) 本文研究了一种止血钳裙边冲裁的视觉定位机器人上料方法及其装置，实现了止血钳裙边冲裁的自动上料定位，有效降低了工人劳动强度，降低了事故发生率，使生产效率大幅提升。

(2) 通过图像阈值分割和连通区域标记的方式，简化了纠偏基准特征区域的获取难度。提出了基于形态学梯度的样条插值亚像素边缘检测方法提取纠偏基准特征区域的亚像素轮廓，提高了边缘检测精度。

(3) 试制结果表明，该系统平均日冲裁量可达 15000 件，视觉识别率为 98.26%，且上料合格率大于 96%，满足目前止血钳裙边冲裁加工的自动上料定位需求。

参考文献：

[1] 石磊, 汪建余, 孙胜伟, 等. 基于视觉检测技术的冲压收料线监测系统开发 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (9): 184-189.
Shi L, Wang J Y, Sun S W, et al. Development on monitoring system for stamping receiving line based on visual inspection technology [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (9): 184-189.

- [2] 刘鹏祥, 王冰, 吕达. 基于机器人 3D 视觉引导的汽车空腔自动发泡研究 [J]. 机床与液压, 2023, 51 (1): 120-124.
Liu P X, Wang B, Lyu D. Automatic foaming application of automobile cavity based on robot 3D vision guidance [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2023, 51 (1): 120-124.
- [3] 李长安, 张丹, 隋文涛, 等. 基于机器视觉的曲轴圆度误差评定 [J]. 机床与液压, 2023, 51 (20): 77-80.
Li C A, Zhang D, Sui W T, et al. Evaluation of crankshaft roundness error based on machine vision [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2023, 51 (20): 77-80.
- [4] 王春光, 李俊杰, 王伟, 等. 基于机器视觉的机油冷却管圆度检测与分拣研究 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (15): 31-37.
Wang C G, Li J J, Wang W, et al. Research on roundness detection and sorting of oil cooling pipe based on machine vision [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50 (15): 31-37.
- [5] 金守峰, 焦航. 基于机器视觉的钢领内圈圆度检测方法 [J]. 毛纺科技, 2022, 50 (4): 83-88.
Jin S F, Jiao H. Detection method of roundness of steel collar inner ring based on machine vision [J]. Wool Textile Journal, 2022, 50 (4): 83-88.
- [6] Kshaurad K, Kiran M B, Shanmuganatan S P. Minimum zone tolerance algorithm to detect roundness error for machined rods using vision system [J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 46: 5997-6003.
- [7] 秦豆豆, 卢军. 工件外观识别与视觉检测技术的研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018 (9): 84-87, 91.
Qin D D, Lu J. The research on appearance recognition and visual inspection technology of workpiece [J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018 (9): 84-87, 91.
- [8] 巩育江, 庞亚军, 王承, 等. 基于几何特征的点云分割算法研究进展 [J]. 激光技术, 2022, 46 (3): 326-336.
Gong Y J, Pang Y J, Wang G, et al. Research progress of point clouds segmentation algorithms based on geometric features [J]. Laser Technology, 2022, 46 (3): 326-336.
- [9] 张杨, 高兴宇, 党艳阳, 等. 基于三维图像处理的车刀磨损缺陷检测方法研究 [J]. 机床与液压, 2023, 51 (24): 43-47.
Zhang Y, Gao X Y, Dang Y Y, et al. Research on tool wear defect detection method based on 3D image processing [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2023, 51 (24): 43-47.
- [10] Khalili K, Vahidnia M. Improving the accuracy of crack length measurement using machine vision [J]. Procedia Technology, 2015, 19: 48-55.
- [11] Jiang T, Cu H H, Cheng X S, et al. A measurement method for robot peg-in-hole prealignment based on combined two-level visual sensors [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2021, 70: 1-12.
- [12] 黄柳倩. 基于机器视觉的冲压件缺陷检测系统研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2012.
Huang L Q. Research on Stamping Parts Inspection Based on Machine Vision [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2012.
- [13] 马超, 曹国华, 丁红昌. 基于工业机器人的图像引导圆孔定位方法 [J]. 机床与液压, 2023, 51 (3): 50-56.
Ma C, Cao G H, Ding H C. Image guided circular hole positioning method based on industrial robots [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2023, 51 (3): 50-56.
- [14] 薛飞, 刘立群. 基于 OTSU 算法的苹果果实病斑图像分割方法 [J]. 计算机技术与发展, 2020, 30 (12): 181-185.
Xue F, Liu L Q. Image segmentation method of apple fruit spots based on OTSU algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2020, 30 (12): 181-185.
- [15] 路彬彬, 贾振红, 何迪, 等. 基于混合蛙跳算法改进的 OTSU 遥感图像分割方法 [J]. 计算机应用与软件, 2011, 28 (9): 77-79.
Lu B B, Jia Z H, He D, et al. Remote sensing image segmentation method based on improved OTSU and shuffled frog leaping algorithm [J]. Computer Applications Software, 2011, 28 (9): 77-79.
- [16] 梁宇宇, 王绍华, 金向明, 等. 基于区域划分与标准时间的手部异常行为检测 [J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47 (10): 1969-1979.
Liang Y N, Wang S H, Jin X M, et al. Abnormal hand behavior detection based on area division and standard time [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2021, 47 (10): 1969-1979.
- [17] 王树才, 陶凯, 李航. 基于机器视觉定位的家禽屠宰净膛系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2018, 49 (1): 335-343.
Wang S C, Tao K, Li H. Design and experiment of poultry eviscerator system based on machine vision positioning [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49 (1): 335-343.
- [18] 何红军, 张东宁, 马传宝. 机械手臂重复定位精度和运动速度测量实验研究 [J]. 微特电机, 2016, 44 (3): 35-37.
He H J, Zhang D N, Ma C B. Experimental study on the accuracy and speed of the mechanical arm movement based on actuating motor [J]. Small & Special Electrical Machines, 2016, 44 (3): 35-37.
- [19] 邓辉, 谢俊, 孟广月, 等. 基于机器视觉的重复定位精度测量技术 [J]. 电子测量技术, 2014, 37 (12): 45-48.
Deng H, Xie J, Meng G Y et al. Repeat positioning accuracy measurement technology based on machine vision [J]. Transactions of the Electronic Measurement Technology, 2014, 37 (12): 45-48.