

基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统

袁 欢, 包晓敏, 汪亚明, 徐 罕

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘 要: 计算机视觉技术的发展是许多自动化生产系统的前提与保证,机械零件的自动识别和分拣是生产自动化和智能化的重要手段之一。然而,目前提出的大多数方法都围绕零件的类别检测进行,并无零件方位朝向自动分拣输出这一应用研究。针对这一问题,设计了一套基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统,系统分为视频采集与图像转换系统、图像处理系统和分拣输出执行机构三部分;集图像采集、处理和输出于一体,实现各类零件方位朝向的自动识别和实时分类输出。实验结果表明,所提出的方法是可行和有效的。

关键词: 计算机视觉技术; 图像处理; 机械零件; 方位朝向; 自动分拣; 分拣输出执行机构

中图分类号: TP319 **文献标志码:** A

0 引 言

随着现代化工业生产水平的提高和当今社会对产品需求以及产品质量要求的提高,自动化和智能化生产已经成为一个必然的趋势^[1],机械零件方位朝向的自动识别和分拣也随之成为一项亟待解决的问题^[2]。20世纪50年代以来,随着数字成像、图像处理等技术的迅猛发展,计算机视觉技术逐步走进工业市场,并成为许多自动化、智能化生产系统的重要组成部分^[3]。20世纪90年代后,计算机视觉技术在零件识别领域上得到了广泛应用,主要有基于零件边界形状的识别和基于零件所覆盖区域的形状识别^[4]。边界形状识别的描述特征主要有周长、角、宽度、高度、直径等^[5],覆盖区域形状识别的描述特征主要有面积、圆度、矩特征等^[6];边界形状识别的描述方法主要有 Hough 变换^[7]、B 样条函数、傅立叶描述子(FDs)、自回归模型(AR)、链码等^[8],覆盖区域形状识别的描述方法主要有行程编码、二叉树、矩描述子等^[9]。

然而,诸如此类的基于视觉技术的零件检测等应用都是处理零件的轮廓或形状特征,进而在零件类别、尺寸^[10]以及缺陷上加以检测,多数没有零件方位朝向

分拣输出这一功能,目前工业生产现场中零件的方位朝向分拣通常由大量分拣人员来完成^[11-12]。而长期以来,零件方位朝向分拣是一件耗费人力、物力和时间的工作,由于人工视觉检测结果的不一致性,结果也常因检测人员的主观感受、视觉疲劳以及不同检验人员的主观标准之间的细微误差等导致多种检测错误,不仅效率低、可靠性差,且存在劳动强度大、客观性差、非实时性等问题,已不能满足当前工业生产的需求^[13]。

针对这一问题,本文设计了一套基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统,系统将计算机视觉技术与分拣机构相结合,采用图像角点^[14-15]特征提取和模板匹配^[16]相结合的方法完成零件方位朝向检测并得到检测结果标号,根据标号执行分拣指令并完成零件分拣与实时输出。系统实用意义在于:由于在流水线上的零件可能存在多种摆放方式,系统在实现不同朝向的零件自动识别与实时分拣输出的基础上,全程保持零件的朝向而非掉落式收集,使得零件后续的装配和收集效率大大提高。

1 系统的设计与实施

基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统

收稿日期: 2014-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(61272311)

作者简介: 袁 欢(1988-),女,湖北黄冈人,硕士研究生,主要从事图像处理方面的研究。

通信作者: 包晓敏, E-mail: zjhzbxm@gmail.com

由视频采集与图像转换系统、图像处理系统以及分拣输出执行机构组成,主要完成生产现场视频的在线采集、图像的实时处理以及对应输出的执行。视频采集与图像转换系统利用 CCD 工业相机实时拍摄生产线上零件流动的视频,并从中定时提取载有某零件的特定帧图像;图像处理系统提取图像角点特征制定模板图像,并采用模板匹配方法完成零件方位朝向检测并得到对应标号;分拣输出执行机构根据标号打开对应的传感器使其感应零件到来并发送电平控制信号,气缸收到控制信号后发出推送指令完成零件朝向的分类输出。系统架构如图 1 所示。

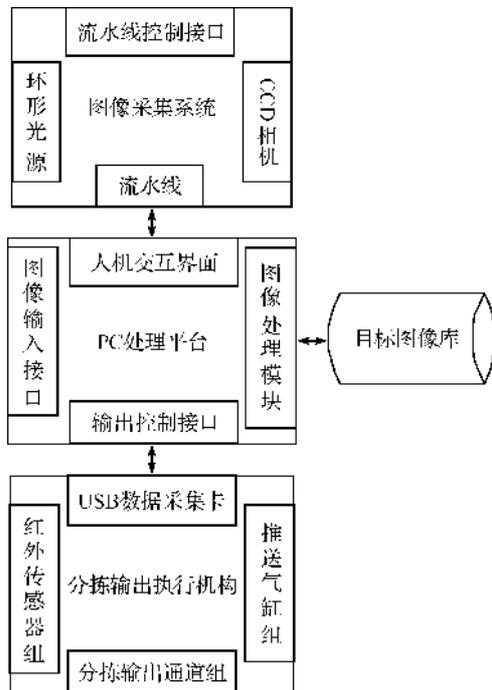


图 1 系统架构

图 1 中,图像采集系统与 PC 处理平台的连接方式为:图像采集系统通过 CCD 工业相机的网线与 PC 机的网孔终端相连,即 CCD 相机所拍零件图像通过图像输入接口传入 PC 处理平台交由图像处理系统完成零件方位朝向检测。PC 处理平台与分拣输出执行机构的连接方式为:分拣输出执行机构通过 USB 采集卡与 PC 机的 USB 口相连,即图像处理系统完成零件方位朝向检测后通过 USB 采集卡将标号信息传给分拣输出机构,交由分拣输出机构完成零件自动分类输出。

系统流程分为以下几步:

a) 视频采集与图像转换系统完成流水线零件视频的在线拍摄与特定帧图像定时提取,得到各类零件的各方位朝向的零件图像。

b) 图像处理系统完成图像预处理与角点检测,

通过角点信息预估待检零件的位置得到目标区域,裁剪目标区域得到模板图像,以模板图像作为相似度度量准则在目标库图像上搜索,匹配完成得到零件方位朝向的检测结果以及朝向标号。

c) 分拣输出执行机构得到朝向标号后,打开该标号引脚对应的传感器,待零件由流水线传到传感器前触发传感器,传感器发出电平控制信号触发气缸推送零件至对应通道,完成各类零件朝向的分拣。

2 视频采集与图像转换系统

视频采集与图像转换系统由环形光源,型号为 DFK23G445 的 CCD 工业相机组成。系统中,CCD 相机位于流水线上,环形光源位于相机镜头上方,各类零件依次逐个位于流水线上随其流动。

在工业现场中,一方面,流水线速度以及零件之间间距大小均固定,因此系统抽取前后两帧零件图片的间隔时间也固定;另一方面,设计要求实时在线检测,则必须即拍图片即读取图片,处理整个过程于一体。而零件在流水线上动态流走,通过实演分析,如若单纯定时摄取零件图片,则待检图片效果不理想。故系统采取从实时视频中定时提取某帧图片的方法得到载有零件的特定帧图像传给图像处理系统处理。定时时间可由人机交互界面输入。

3 图像处理系统

图像处理系统得到载有零件的特定帧图像后,首先提取零件图像中的角点,并根据角点坐标信息预估零件在整幅零件图像中的目标区域位置;其次根据目标区域位置裁剪出包含待检零件的模板图像,并从目标库中搜索与所述模板图像相似度最高的目标图像;最后根据目标图像标号得到模板图像所对应的零件朝向并将标号传递给分拣输出执行机构。

3.1 角点检测

采用基于灰度图像的角点检测,即基于梯度、模板、模板梯度组合,对灰度图 I 的每一点采取类似卷积的方式。

分别使用模板 dx, dy 计算对应中心像素的梯度值:

$$dx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, dy = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

得到在 x, y 方向上的一阶导数 I_x, I_y 以及二者的乘积 I_{xy} 。

建立相关矩阵 M :

$$M = mbys \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_{xy} \\ I_{xy} & I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_{xy} \rangle \\ \langle I_{xy} \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix}。$$

其中: $mbys$ 为高斯模板, 通常为 $e^{-(x^2+y^2)/\sigma^2}$; $\langle \cdot \rangle$ 表示高斯模板与函数卷积; $\langle I_x^2 \rangle = mbys \otimes I_x^2$, $\langle I_y^2 \rangle = mbys \otimes I_y^2$, $\langle I_{xy} \rangle = mbys \otimes I_{xy}$ 。

令 λ_1, λ_2 是 M 的两个特征值, 当两个特征值都非常大时, 则局部自相关函数曲线是突变的山峰形状, 即图像窗口区域的亮度变化值在任何方向的偏移都很大, 即为角点。为了避免求解矩阵的特征值, 现定义角点响应函数如下:

$$CRF(x, y) = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2。$$

其中:

$$\det(M) = \lambda_1 \lambda_2 = I_x^2 * I_y^2 - I_{xy} * I_{xy},$$

$$\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2 = I_x^2 + I_y^2。$$

当角点响应函数 CRF 为一个很小的值时, 认为检测点在区域内部, 即灰度相对无变化的区域, 当 CRF 局部极大值点大于给定阈值 $thresh$ 时, 认为此点正是角点。

待检零件图像角点坐标位置如表 1 所示, 角点分布示意图如图 2 所示。

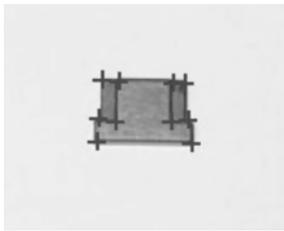


图 2 零件图像角点分布

3.2 预估目标区域制作模板图像

在所提取的待检零件角点图像中将零件左上角角点分别向上和向左移 N 个像素点得到目标区域左上角顶点, 以宽和高大于目标库图像宽和高 N 的矩形区域作为目标区域, 以裁剪待检零件图像, 得到模板图像。其中, N 的取值范围为 10~20。具体方法如下:

假设目标库图像宽为 $width$, 高为 $Height$ 。提取待检零件角点图像中所有角点横纵坐标中最小横坐标值(即表 1 中 210)和最小纵坐标值(即表 1 中 344), 并将分别减去 N 得到的横纵坐标(210- N , 344- N)作为目标区域顶点。裁剪出宽为 $width+10$, 高为 $Height+10$ 的模板图像。其中, 最小横纵坐标减去 N 和目标区域的宽高大于目标库图像宽高 N 个像素点的作用是保证模板图像载有完整零件图像。待检零件图像角点坐标位置表如表 1 所示。

由于本系统采用的模板图像大小为 $320 * 480$ 。最后将得到的目标区域进行图像伸缩处理得到大小与要求一致的模板图像。

表 1 角点坐标位置

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	210	211	212	212	233	234	235	235	247	248
y	347	357	389	396	345	398	355	388	344	400

3.3 模板匹配

基于图像灰度的匹配方法是最常用的匹配算法思想。图像记录的所有信息全都包含于图像的像素灰度值信息中, 故匹配过程能够充分利用全部可用的图像灰度信息而不需对图像做特征提取, 能提高估计的精度和鲁棒性。基于图像灰度的匹配方法通常直接利用整幅图像的灰度信息建立两幅图像之间的相似性度量, 然后采用某种搜索方法寻找使相似性度量值最大或最小的变换模型的参数值。

本系统采用 ABS(absolute balance search)法, 用待匹配图像上的搜索窗口和模板图像之间的像素灰度值的差别表示二者的相关性。假设模板图像为 $T(m, n)$, 待匹配图像为 $S(W, H)$, 即模板图像大小为 $m \times n$, 待匹配图像大小为 $W \times H$, 则在待匹配图像中共有 $(W-m+1) \times (H-n+1)$ 个可能的匹配点存在, 每一个可能的匹配点对应一个 $m \times n$ 的搜索窗口。故系统匹配过程也可以看作是大小等于模板图像的搜索窗口在待匹配图像上按照某一顺序滑动, 每滑动一次就进行一次模板图像和搜索窗口之间的相关计算。计算过程如下:

设模板 T 叠放在搜索图 S 上平移, 模板覆盖下的那块搜索图称为子图 $S^{i,j}$, i, j 为这块子图的左上角角点在 S 图中的坐标, 称为参考点, $1 \leq i, j \leq n-m+1$ 。比较 T 和 $S^{i,j}$ 的内容, 若两者一致, 则 T 和 $S^{i,j}$ 之差为零。测度方法为:

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - T(m, n)]^2。$$

以此来判断当前的搜索窗口是否匹配。若差别小于预定阈值, 认为匹配成功, 否则匹配失败。

4 分输出执行机构

4.1 结果标号输出

本系统采用目标库图像大小为 $1280 * 960$ 。每类零件朝向共 8 种, 即目标库排列零件图像朝向顺序分别为正上、正下、反上、反下、正左、正右、反左、反右, 故采用模板图大小为 $320 * 480$, 其中某种零件的目标库图像如图 3 所示, 对应制作完成的模板图像如图 4 所示。

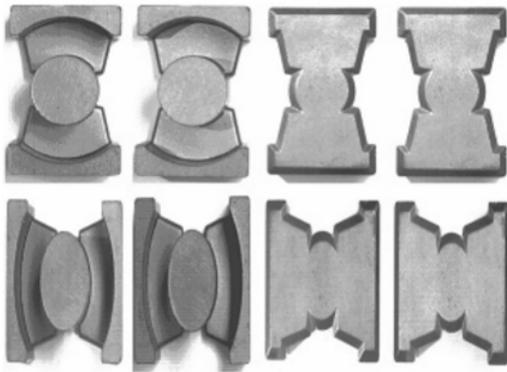


图3 某种零件目标库图像

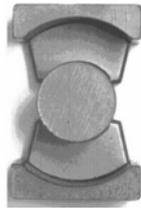


图4 模板图像

图像匹配完成后,搜索框窗口会停留在匹配成功的目标图像处,继而完成匹配结果标号的确认,具体做法如下:

假设匹配成功后,搜索框中心的纵横坐标分别为 X_{pos} 与 Y_{pos} 。

a) 当 $0 < X_{pos} < 320$ 且 $0 < Y_{pos} < 480$ 时,输出匹配结果标号 1,表明待检零件正面朝上;

b) 当 $320 < X_{pos} < 640$ 且 $0 < Y_{pos} < 480$ 时,输出匹配结果标号 2,表明待检零件正面朝下;

c) 当 $640 < X_{pos} < 960$ 且 $0 < Y_{pos} < 480$ 时,输出匹配结果标号 3,表明待检零件反面朝上;

d) 当 $960 < X_{pos} < 1280$ 且 $0 < Y_{pos} < 480$ 时,输出匹配结果标号 4,表明待检零件反面朝下;

e) 当 $0 < X_{pos} < 320$ 且 $480 < Y_{pos} < 960$ 时,输出匹配结果标号 5,表明待检零件正面朝左;

f) 当 $320 < X_{pos} < 640$ 且 $480 < Y_{pos} < 960$ 时,输

出匹配结果标号 6,表明待检零件正面朝右;

g) 当 $640 < X_{pos} < 960$ 且 $480 < Y_{pos} < 960$ 时,输出匹配结果标号 7,表明待检零件反面朝左;

h) 当 $960 < X_{pos} < 1280$ 且 $480 < Y_{pos} < 960$ 时,输出匹配结果标号 8,表明待检零件反面朝右。

4.2 分拣执行

分拣输出执行机构首先将型号为 MC100 的数据采集卡通过 USB 接口与 PC 相连,其次将 8 个红外传感器分别连接 MC100 的 PA0-PA7 的 8 个引脚。MC100 是一款工业级 USB 控制 IO 引脚专用芯片,提供 14 路 IO 引脚,可以通过上位机软件控制每个 IO 引脚的状态。红外传感器具有一对红外线发射与接收管,发射管发射出一定频率的红外线,当检测方向遇到障碍物(反射面)时,红外线反射回来被接收管接收,经过比较器电路处理之后,绿色指示灯会亮起,同时信号输出接口输出数字信号(一个低电平信号)。

执行机构得到检测标号后,假设此时标号为 K ($K=1,2,3,4,5,6,7,8$),将 MC100 对应标号的通用 IO 引脚,即 $PA(K-1)$ 打开,对应红外传感器使能,当零件流到传感器感应范围时,传感器指示灯点亮,信号端输出低电平控制气缸推送零件至对应通道,从而完成各类零件方位朝向的分拣输出。

5 实验结果及数据分析

通过以上的算法,实现了基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统的设计。实验采用了 6 种零件,分别在有环形光源和自然光条件下,通过 CCD 相机的 8 mm 镜头和 16 mm 镜头拍摄一段零件视频,从中抽取获取了 240 帧零件图片,对系统进行了测试,图 5 为使用环形光源下零件匹配结果以及处理时间示意图,图 6 为实验室自然光照条件下零件匹配结果以及处理时间示意图。表 2 和表 3 分别记录与统计了部分实验结果。

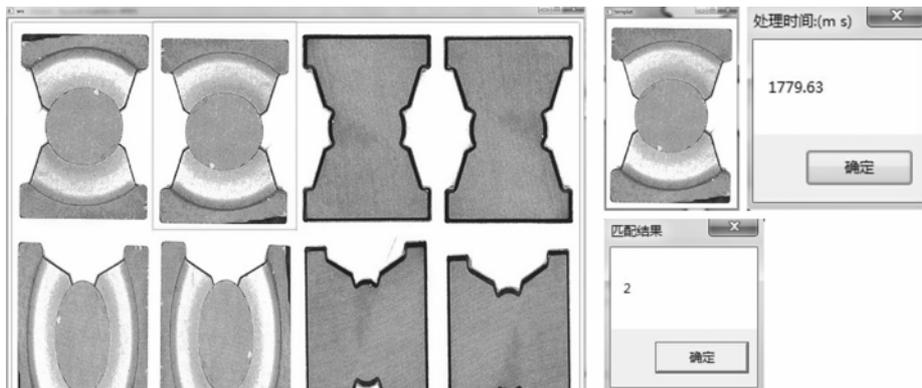


图5 环形光源照射下零件匹配结果以及处理时间示意

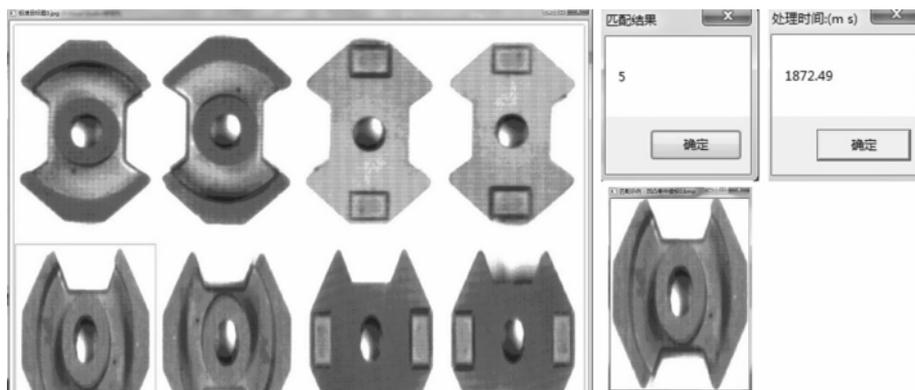


图6 自然光照条件下零件匹配结果以及处理时间示意

表2 环形光源及8 mm镜头下零件方位朝向分拣实验参数及结果

实验样本种类	零件尺寸 长×宽×高/cm	外观	零件间隔 距离/cm	传送带 速度/(mm/s)	采样时间 间隔/s	拍摄样 本数/张	匹配成 功数/张	识别精 度/%
零件1	4.0×2.5×1.5	规则长方体	20	50	4	40	40	100.0
零件2	4.5×3.0×1.0	不规则长方体	20	50	4	40	39	97.5
零件3	1.0×0.8×0.4	不规则长方体	20	50	4	40	39	97.5
零件4	3.2×2.2×1.5	不规则长方体	20	50	4	40	39	97.5
零件5	2.5×2.5×0.9	规则长方体	20	50	4	40	40	100.0
零件6	2.2×0.5×0.3	不规则长方体	20	50	4	40	39	97.5

表3 各实验环境下零件方位朝向分拣统计结果

序号	实验 环境	CCD相机镜头 焦距/mm	实验样本图 片总数/张	匹配成功图 片总数/张	总识别 精度/%	平均处理 时间/s
1	环形光源	8	240	236	98.33	1.479
2	自然光照	8	240	233	97.08	1.723
3	环形光源	16	240	234	97.50	1.501
4	自然光照	16	240	230	95.83	1.816

由表2可知,当实验环境在环形光源以及相机镜头8 mm下,零件间距及传送带速度两项参数控制为20 cm和50 mm/s时,则提取两帧图片间隔时间为4 s(零件间距/传送带速度),而系统分拣速率约为2 s以内,即系统能达到实时性要求。故以此推算,当零件间距为20 cm时,传送带最大速度可调至约100 mm/s(此时拍摄间隔时间为最小值约2 s)。同时,由表2可知,各种零件分拣效果略有不同,外观较规则一些的零件由于角点提取时干扰较少,匹配准确率较高。

由表3可知,在实验环境下,光照不论是有环形光源或自然光条件、CCD相机镜头不论是8 mm或16 mm,系统分拣准确率都较高,但如表3中1、2、3、4所示的实验结果可知,当光线较好时,即零件图像质量较高,那么角点提取更精确,提取目标区域更精确时,匹配效果更好,分拣准确率较高。而通过CCD相机8 mm镜头比16 mm镜头采集的图片匹配效果更好,因为实验零件尺寸较小,视野广度要求

较窄,更适合小焦距的镜头。

实验结果证明,基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统在准确率和效率上都是可行的。

6 结 语

工业现场中,流水线上的零件可能存在多种摆放方式,为了在分拣过程中保持零件的朝向并将不同朝向的零件分拣输出,提高零件后续的装配和收集效率,本文设计了一套基于计算机视觉的零件方位朝向自动分拣系统。系统利用VS2010工具开发了专门针对机械零件的自动分拣软件,利用该软件分别对拍摄的4组共960张图片进行零件分类检测并与人工检测相比较,发现该软件可以较好的完成对零件的分拣,并且准确率达到90%以上,速度也达到时效性要求。该软件的实现,不仅适合各种类零件的方位朝向的自动分拣,还可实现生产自动化以及工业操作的智能化。本文只是提出一种方法并通过实验验证零件分拣的准确率和效率,从而证明

其可行性,为确保应用于工业现场中的使用情况,还需进一步研究算法的稳定性。

参考文献:

- [1] 唐四春,袁保宗. 计算机视觉研究进展与展望[J]. 通讯学报, 1993, 14(4): 55-62.
- [2] 查英,刘铁根,杜东. 图像识别技术在零件装配自动识别中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 32(10): 178-185.
- [3] 李介谷. 在应用中成长着的计算机视觉[J]. 模式识别与人工智能, 1992, 5(4): 266-271.
- [4] Batchelor B G. Automated visual inspection in industry [J]. The Industrial Robot, 1978, 5(4): 174-176.
- [5] Malamas E N, Petrakis E G M, Michalis Z, et al. A survey on industrial vision systems[J]. Application and Tools, Image and Vision Computing, 2003, 21(2): 171-188.
- [6] Burges C J C, Usama F. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2001, 2(2): 121-167.
- [7] 高隽,曹先彬,王煦法. 基于 Hough 变换的并行光电形状识别系统[J]. 电子学报, 1999, 27(7): 121-123.
- [8] Perkins W A. A model-based vision system for industrial parts[J]. Computers, IEEE Transactions on, 2006, 27(2): 126-143.
- [9] Azriel R. Image analysis and computer vision; 1995[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 63(3): 568-612.
- [10] 李绍辉. 机械零件位置尺寸的视觉检测[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [11] 夏庆观,盛党红,路红. 零件图像特征提取和识别的研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(22): 2031-2033.
- [12] 刘喆. 基于机器视觉零件识别的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.
- [13] 卢奇武. 图像处理技术在机器零件检测系统中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [14] 曹晓光,徐琳,郁文霞. 基于角点检测的高精度点匹配算法[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 1269-1272.
- [15] 王玉珠,杨丹,张小洪. 基于 B 样条的改进型 Harris 角点检测算法[J]. 计算机应用研究, 2007(2): 192-193.
- [16] 崔政,李壮. 两种改进的模板匹配识别算法[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 1083-1085.

Automatic Sorting System for Parts Orientation Based on Computer Vision

YUAN Huan, BAO Xiao-min, WANG Ya-ming, XU Han

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The development of computer vision technology is a prerequisite and guarantee of many automated production systems. Automatic identification and sorting of mechanical parts is one of the important means of production automation and intelligence. However, most methods proposed currently focus on category detection of mechanical parts. There is no applied research on automatic sorting and output of orientation of mechanical parts. To solve this problem, a set of automatic sorting system of parts orientation based on computer vision is designed. The design consists of three parts: video capture and image conversion system, image processing system, sorting output executing agency. It integrates image capture, handling and output and achieves automatic identification and real-time classification and outpour of orientation of various parts. The results indicate the method proposed is feasible and effective.

Key words: computer vision technology; image processing; mechanical parts; orientation; automatic sorting; sorting output executing agency

(责任编辑: 陈和榜)