

# 基于视觉的连接器特征辨识 \*

乔景慧,赵校伟,何鑫达

(沈阳工业大学 机械工程学院,辽宁 沈阳 110870)

**摘要:**单目视觉识别系统中,工件的高度不同会导致测量直径尺寸的误差。通过单目相机识别图像的高度特征信息与直径特征信息,完成工件的准确测量识别。提出了一种工件多特征组合辨识的方法识别连接器。通过识别工件中心以及对工件所形成的阴影在指定的测量方向进行阴影长度测量,通过工件的高度和直径两个特征元素,识别工件的尺寸及类型。采用形态学闭运算对图像处理,而后获取工件的中心。在测量的方向上采用Halcon封装的边缘检测算法检测到亚像素边缘,而后处理获得阴影的长度尺寸。再根据组合特征确定工件类型。实验表明,所提出的工件多特征组合辨识的方法能够准确识别工件的特征,此方法能够准确区分不同工件,完成自动化生产的辨识工作。

**关键词:**单目视觉;连接器;工件特征识别;形态学闭运算;Halcon

中图分类号: TN06; TP271

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191427

中文引用格式: 乔景慧,赵校伟,何鑫达. 基于视觉的连接器特征辨识[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 97–101, 105.

英文引用格式: Qiao Jinghui, Zhao Xiaowei, He Xinda. Feature identification of connector based on vision[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 97–101, 105.

## Feature identification of connector based on vision

Qiao Jinghui, Zhao Xiaowei, He Xinda

(College of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** In the monocular vision recognition system, the measuring error of the diameter can be caused due to the different height of the workpiece. Accurate recognition of workpiece is completed by measuring the height and diameter feature information of the workpiece. A methodology was proposed by integrating with multi-feature, that is the height and diameter feature. The length of the shadow in the specified measuring direction is measured by identifying the center of the workpiece. The size and type of the workpiece are identified by the height and diameter of the workpiece. The closed operation of morphology is used to process the image, and then the center of the workpiece is obtained. In the direction of measurement, the edge detection algorithm with Halcon package is used to detect the subpixel edge, and then the length of the shadow is obtained by post-processing. The workpiece type is determined according to combining features. A test show, the method of multi-feature combination identification of the workpiece proposed in this paper can accurately identify the characteristics of the workpiece, and this method can accurately distinguish different workpiece to complete the identification of automatic production.

**Key words:** monocular vision; connector; workpiece recognition; morphological closed operation; Halcon

## 0 引言

目前在产品的自动化生产中视觉系统占据了很大的比重。采用图像的测量技术不需要直接接触测量对象效率高,同时视觉系统的采用可以极大提高自动化程度<sup>[1-2]</sup>,图像的采集、处理、分析可由计算机程序设定,极大地提高生产效率<sup>[3-4]</sup>。而在自动化生产领域,视觉系统应用范围很广,应用范围涵盖到工业元件的尺寸测量、物体形状检测、模式识别、模板匹配等诸多方面<sup>[5-6]</sup>。但是目前自动化生产中所采用的视觉系统,由于存在相机

和镜头加工误差、装配误差、光源选用,都会对检测结果造成影响,影响到视觉系统的检测精度<sup>[7]</sup>。

在多产品的自动化生产中,对工件的辨识是至关重要的步骤<sup>[8]</sup>,本文针对自动化生产的连接器组件的类型辨识进行研究。在不同型号的连接器类型中,有一些型号直径尺寸特征相近,在对其采取直径特征检测时,不同测量时多方面因素影响而产生的误差,导致对直径的测量出错。而直径尺寸相近的连接器,高度有明显的区别,尺寸相差较多。

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61573249);辽宁省自然科学基金项目(2019-MS-246);辽宁省教育厅基金项目(LZGD2019002);辽宁省高等学校创新人才项目(LR2019048)

本文针对上述情况,提出通过连接器的组合特征辨识连接器的类型,采用单目相机通过对工件进行单侧光源投影,利用产生的阴影,结合几何数学的思想,对工件的尺寸和种类进行识别,其中通过形态学识别工件中心,其次确定测量矢量方向,沿着矢量方向通过边缘检测得出工件尺寸测量结果,辨识出工件种类。

## 1 单目相机检测原理

### 1.1 问题描述

(1) 问题 1: 采用单个工业相机,对不同类型的工件进行信息识别和采集,在相机对标定平面进行标定完成后,所检测的图像为图像平面上的信息,在不同高度工件的直径尺寸的检测上,会存在直径尺寸误差的情况。如图 1 所示,工件 1 的直径小于工件 2,但是工件 1 的高度高于工件 2,在相同的位置识别采集工件的直径信息,存在误差。因为光线传播特点和相机成像原理,最终采集到的图像信息为投影到标定平面的图像。从视觉采集到的数据分析,两个工件的直径相等。

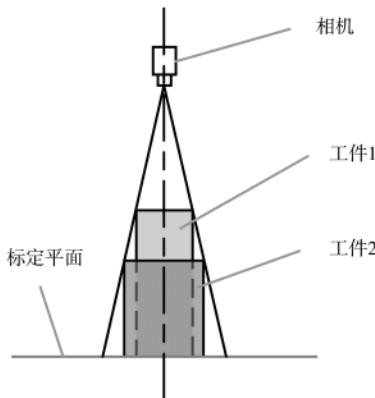


图 1 单目视觉检测问题描述

(2) 问题 2: 本文所研究目标为连接器元件,为圆形工件,需要对其进行识别,而对于不同产品型号的工件之间,有很多工件存在直径和高度尺寸相近的特点,如果按照常规尺寸测量,只通过单一的直径特征来识别工件的种类,在存在误差的前提下会出现识别出错的问题。

靠单目相机来采集工件信息,只能对平面元素进行分析,在高度的检测上比较麻烦,一般的工件的三维信息检测方式是采用双目相机的方式,从两个方向对目标进行检测,通过两个相机采集到的目标信息,经过组合处理变换,得到检测物体的 3D 信息<sup>[9]</sup>。远心镜头虽然可以解决高度不同而导致的直径尺寸变化的问题,但是由于其结构特点,其视野面积小,同时成本价格高昂。

本文所述研究为针对连接器自动化生产的产品识别,实验台为桁架三坐标工作台,相机型号为 Basler Aca2500-14gc,所用全光源为两排放置的 LED 白色条状灯光,投影光为单光源 LED 白色灯光,操作软件为 Halcon。

### 1.2 检测原理

采用单目相机作为视觉检测设备,如图 2 所示,假

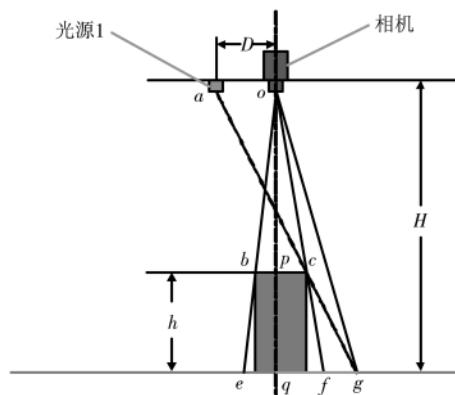


图 2 阴影检测原理

设工件的真实直径  $\overline{bc}=d$ , 相机投影检测到的直径  $\overline{ef}=D_z$ , 工件高度  $\overline{pq}=h$ , 相机距离标定平面高度  $\overline{oq}=H$ , 在光源 1 的照射下检测到的 c 点的投影在 g 处, 相机检测的图像为  $\overline{fg}=m$ 。由此可以得到直径与工件的高度的算法如下。

在实际工程中,直线光源与相机的当量距离  $\overline{oa}=D$  通过检测可以获得,相机检测时距离标定面的高度  $H$  可知,通过几何关系可以知道,  $\Delta oac$  相似于  $\Delta fgc$ , 由此得到以下关系:

$$\frac{\overline{pq}}{\overline{oq}} = \frac{\overline{fg}}{\overline{oa}} \Rightarrow \frac{h}{H-h} = \frac{m}{D} \quad (1)$$

得:

$$h = \frac{mH}{m+D} \quad (2)$$

根据光的直线传播,可以得到  $\Delta obc$  相似于  $\Delta oef$ 。由此得到以下关系:

$$\frac{\overline{op}}{\overline{oq}} = \frac{\overline{bc}}{\overline{ef}} \Rightarrow \frac{H-h}{H} = \frac{d}{D_z} \quad (3)$$

得:

$$d = \frac{DD_z}{D+m} \quad (4)$$

由此得到工件高度和直径:

$$\begin{cases} h = \frac{mH}{m+D} \\ d = \frac{DD_z}{D+m} \end{cases} \quad (5)$$

当光源与工件出现不在同一高度的情况,而大多时候为不在同一高度,假设光源距离工件距离为 a, 光源高度为 S, 相机高度为 H, 光源在镜头高度的当量距离为 D, 此时需要加上以下公式:

$$D = \frac{aH}{S} \quad (6)$$

## 2 图像分割及测量

本文所述的检测识别算法是利用对目标阴影部分的操作,通过测量的阴影长度。根据本文所述的工件特性,对不同工件的阴影以及工件进行测量,所以对工件阴影的边缘需要采用边缘检测算法来识别工件的边缘,

提取阴影的边缘信息,测量出尺寸结果。相机采集工件图像如图 3、图 4 所示。



图 3 工件原图



图 4 工件阴影原图

## 2.1 算法步骤

检测流程如图 5 所示。

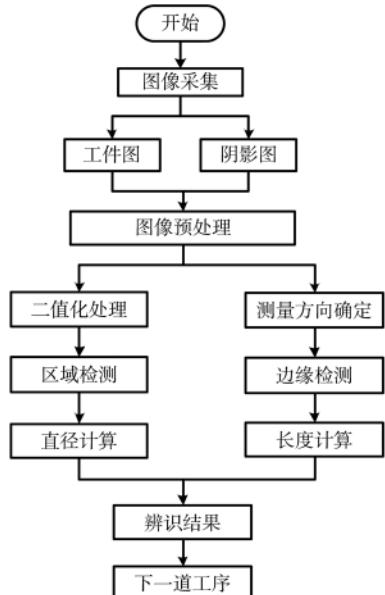


图 5 检测流程图

- (1) 开启均匀光照的光源,由 CCD 采集工件无阴影的图像;
- (2) 对采集进行滤波去除噪声,二值化图像提取形态特征,对图像采用形态学闭运算处理;
- (3) 对处理后的形态区域图像,对图像目标进行运算得到圆心和检测直径  $D_z$ ;
- (4) 切换工作台上的投影光源,采集有阴影图像;
- (5) 对图像进行高斯滤波去除噪声平滑图像;
- (6) 根据光源与相机的空间位置确定阴影测量方向;
- (7) 在测量方向上按照插值方法提取亚像素边缘组合,得出阴影长度测量结果;
- (8) 将测量数据及其他参数代入 1.2 节的算法中;
- (9) 得出工件的最终直径和高度的尺寸特征;
- (10) 通过组合特征完成对工件种类的辨识。

## 2.2 工件特征提取

针对本文研究的连接器对象,目标工件的形状为规整的圆形,通过形态学进行处理,而后获取相关参数。通过光学知识可以知道,在光线照射到工件上时,会产生阴影,通过阴影的长度可以得出工件的实际高度。将得到的两个特征图像进行处理分析,获得工件的实际特征尺寸。

### 2.2.1 获取圆心位置及检测直径 $D_z$

对工件的图像进行形态学处理,形态学是基于集合论的,可以把一幅图像看作是一个集合,最基本最常用的数学形态学运算主要有膨胀、腐蚀、开启、闭合等。通过形态学各种基本运算的组合来进行图像形状和结果的分析及处理,可以解决图像滤波、图像恢复与重建、图像边缘检测、图像分割、图像纹理分析等各种图像处理领域的问题<sup>[10-11]</sup>。

采用形态学闭运算,形态学闭运算是结构元素对图像目标进行闭运算,是指结构元素对图像目标先进行膨胀再进行腐蚀,可以平滑图像的轮廓线,它通常可以消除狭窄的间断和细长的凹槽,填充细小的孔洞,并且弥补轮廓线的断裂。图 6 所示为工件灰度图像。

如图 7 和图 8 所示,经过内部孔洞填充操作,再以半径为 5.5 像素的圆形结构元素进行形态学闭运算。通过结果显示可以明显地观察到,提取的区域边缘平滑了,边缘小的缺陷得到填补优化。本文形态特征的圆度为 0.998 6。

图 6 工件  
灰度图像

图 7 形态提取结果



图 8 形态学闭运算结果

图 9 所示为对区域进行中心位置的获取的结果,因为是圆形的连接器,故而中心位置即为圆心的位置,其圆心坐标为中心在图像坐标系上的坐标位置,也可得到此时的工件测量直径  $D_z$ 。

### 2.2.2 工件阴影测量

如图 10 和图 11 所示,光源对工件进行投影之后,在与工件连接位置有一个半圆形的边

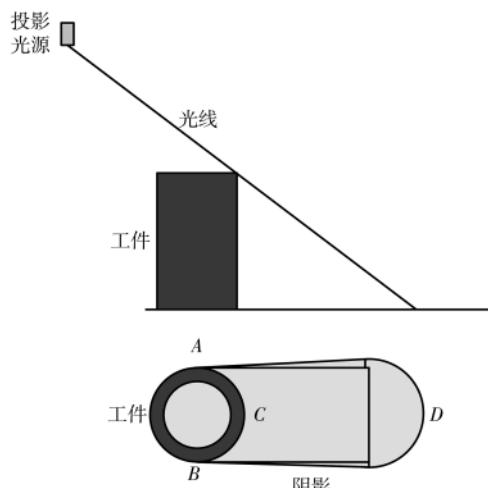
图 9 中心  
提取结果

图 10 阴影成像示意图

界,这个边界是工件的形状。而在工件与阴影的两端处,A、B为投影与工件交接的点,D点为工件的边缘所投影的点,即最能反映真实的高度的位置。

根据2.2节所述的测量原理,需要测量的尺寸有 $\overline{AB}$ (即工件直径)、 $\overline{CD}$ (即工件的阴影长度)。根据分析图12发现,在阴影和工件的位置有比较明显的边缘分界,可以明显地区分开来,图12中,X、Y轴两个横坐标为像素尺寸,纵坐标为灰度值。

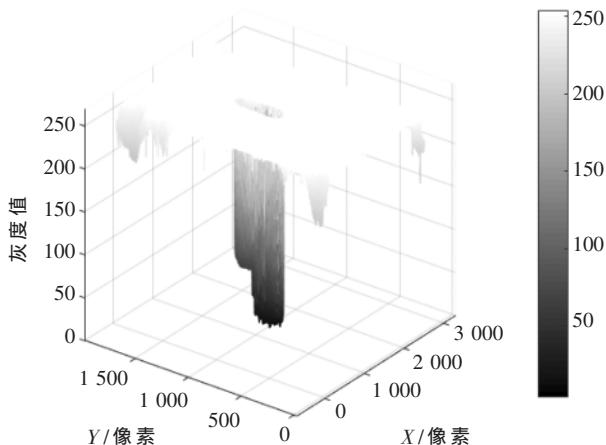


图 12 灰度分布图

本文中工件和相机的位置没有发生变化,只是切换了光源,故而对相机采集工件的尺寸影响不大,工件的圆心位置已经提前计算出,所以阴影的矢量方向确定为通过圆心的光线方向,在测量方向上,对图像的边缘进行检测提取,以作为测量边界。

### 2.2.3 确定测量方向

从光线传播以及测量系统的分布来看,测量方向可以通过空间位置到图像的转换获取,在空间中,相机安装在三坐标桁架机器人的Z轴末端位置,相机在桁架上的坐标确定为 $(X_i, Y_i, Z_i)$ ,光源在桁架上的坐标位置是 $(X_a, Y_a, Z_a)$ ,设镜头采集图像所形成的图像坐标系为 $o-xyz$ ,其中心位置通过调整至与相机的镜头中心相符合,当镜头移动至工件正上方时,即镜头中心与工件中心相对应,此时光线的矢量方向 $\mathbf{l}=(X_a-X_i, Y_a-Y_i)$ ,需要将此矢量方向反映至图像坐标系中。对比矢量与X轴方向的夹角,图像坐标中的光线方向夹角与实际中的光源镜头矢量夹角是相同的,通过圆心的矢量方向与中心轴的夹角来确定图像中的矢量方向。假设在图像中的矢量为 $\mathbf{n}=(x, y)$ ,对应关系如下:

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{Y_a - Y_i}{X_a - X_i} \quad (7)$$

如本文所述图像特点,先确定光线的方向,即确定阴影的矢量方向,然后在矢量方向上,检测到工件阴影



图 11 实际阴影成像图

的边缘信息。图13为确定测量的矢量方向,矢量方向边缘信息如图14所示,横坐标 $P$ 表示所设置矢量方向的距离信息,纵坐标表示灰度值。

### 2.2.4 阴影尺寸检测

视觉测量需要对测量目标进行边缘检测,以确定所需测量工件的边缘位置,达到获取测量边缘之间的距离。其中常用的像素级边缘检测算法包括一阶导数边缘检测算法有Roberts算子、Sobel算子、Prewitt算子、Canny算子;二阶导数边缘检测算子,有Laplacian算子、LOG算子<sup>[12]</sup>;亚像素边缘检测方法,有基于矩法、基于拟合法和基于插值法<sup>[13]</sup>。基于插值法亚像素边缘检测计算效率高,适用性比较好,本文采用Halcon中的亚像素边缘检测算法,利用算法对目标的亚像素边缘进行提取。



图 13 测量的矢量方向

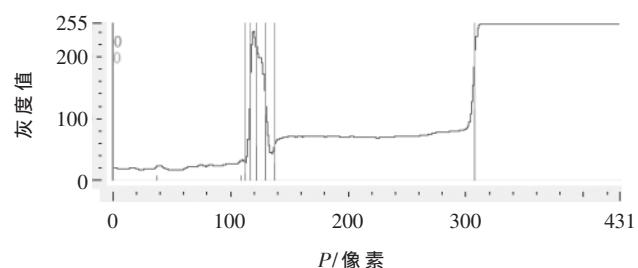


图 14 矢量方向边缘信息

在确定测量方向之后,在测量方向上得到检测的边缘、阴影以及工件形成两个圆弧边缘,而所需要检测的距离是测量方向上对边切线之间的距离。

图15为边缘检测结果,图16所示为检测边缘的放大图,在检测方向上,根据设定的边缘选择标准得出边缘检测结果。从图16中可以看出,在检测矢量方向上,由于工件的特性,外壳体部分与绝缘体部分以及外壳体与阴影部分形成多条边缘,本文所需的两条边缘为从外

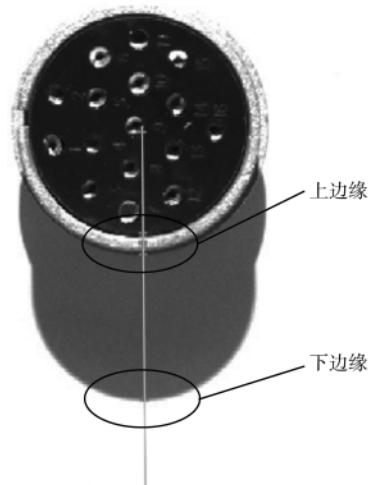


图 15 测量方向边缘检测结果

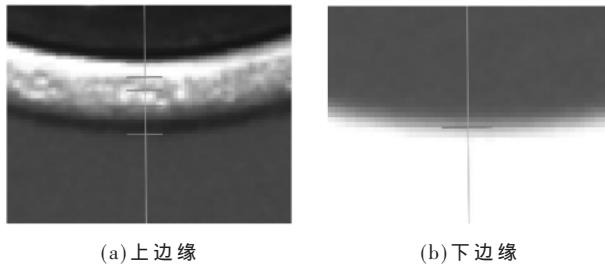


图 16 边缘检测结果放大图

壳体到阴影的边缘和阴影到背景的边缘,为保证能提取出所需的边缘,根据本文所述工件图像的特性,在设置边缘检测的最小边缘阈值为7,从检测出的所有边缘中,忽略上方的所有边缘,只留下最下方的一组边缘对,即为所需要的边缘组合。如图17所示,图中结果L为测量阴影的长度结果,将相机的标定结果加入到程序内部,将像素数据经过变换矩阵,转换为实际物理尺寸,最后得出工件实际的高度和直径信息,确定工件的种类,为下一工序做好准备。

### 3 实验结果

在实验平台上测量得到投影灯中心的位置坐标,其

余参数根据三维平台内坐标参数得出,最后采集获取到实验所需要的尺寸参数,代入本文所述算法中。采用本文所述的工件多特征组合辨识的方法,针对同一个工件,多次摆放调整工件进行测试,采集图像信息,检验本文所述方法的重复测量精度,同时对生产的部分不同型号规格的工件进行测量,以检验其通用性。针对同一工件产品进行的测量结果如表1所示,针对不同工件的测量结果如表2所示,其中误差=实际尺寸-测量尺寸。

根据表1结果可以看出,针对同一工件的反复检测实验,直径测量误差 $\varepsilon_D < \pm 0.1$ ,高度测量误差 $\varepsilon_H < \pm 0.1$ 。

根据表2结果可以看出,在针对不同工件的测量时,工件的直径测量误差 $\varepsilon_D < \pm 0.1$ ,高度测量误差 $\varepsilon_H < \pm 0.1$ 。通过阴影综合测量的方法,可以有效解决不同高度工件对直径所产生的误差,获得高度和直径特征之后,利用直径和高度两个特征可以准确地区分工件的类型。

### 4 结论

为了解决决定焦距单目视觉识别下,不同高度的工件,相机对直径尺寸识别有变化,本文设计了结合工件阴影长度和测量直径的方法,从而测量所需识别的工件的真实直径和高度,进而确定工件种类。实验结果表明,采用本文的方法,可以用单目相机准确地测量工件尺寸,识别出工件的种类,不需要调整相机的高度,一定程度上避免了标定平面不同所产生的误差。相比于双目相机和

表1 同一工件的测量结果

(mm)

实验次数	实际直径	测量直径	实际高度	测量高度	直径误差	高度误差
1	41.50	41.453	37.00	37.031	0.047	-0.031
2	41.50	41.425	37.00	37.015	0.075	-0.015
3	41.50	41.583	37.00	36.927	-0.083	0.073
4	41.50	41.521	37.00	36.935	-0.021	0.065
5	41.50	41.532	37.00	37.058	-0.032	-0.058
6	41.50	41.418	37.00	37.086	0.082	-0.086
7	41.50	41.427	37.00	37.030	0.073	-0.030
8	41.50	41.448	37.00	37.093	0.052	-0.093
9	41.50	41.541	37.00	36.958	-0.041	0.042
10	41.50	41.592	37.00	36.923	-0.092	0.077

表2 不同工件的测量结果

(mm)

工件序号	实际直径	测量直径	实际高度	测量高度	直径误差	高度误差
1	23.30	23.385	29.70	29.685	-0.085	0.095
2	27.91	27.838	19.50	19.580	0.072	-0.080
3	29.36	29.277	21.03	21.051	0.083	-0.021
4	31.06	31.123	19.50	19.552	-0.063	-0.052
5	31.74	31.817	22.63	22.547	-0.077	0.083
6	33.45	33.431	21.10	21.013	0.019	0.087
7	34.92	34.825	23.39	23.357	0.095	0.033
8	40.90	41.037	29.70	29.755	-0.037	-0.055
9	44.71	44.624	33.00	33.012	0.086	-0.012
10	45.65	45.683	31.70	31.717	-0.033	-0.017

(下转第105页)

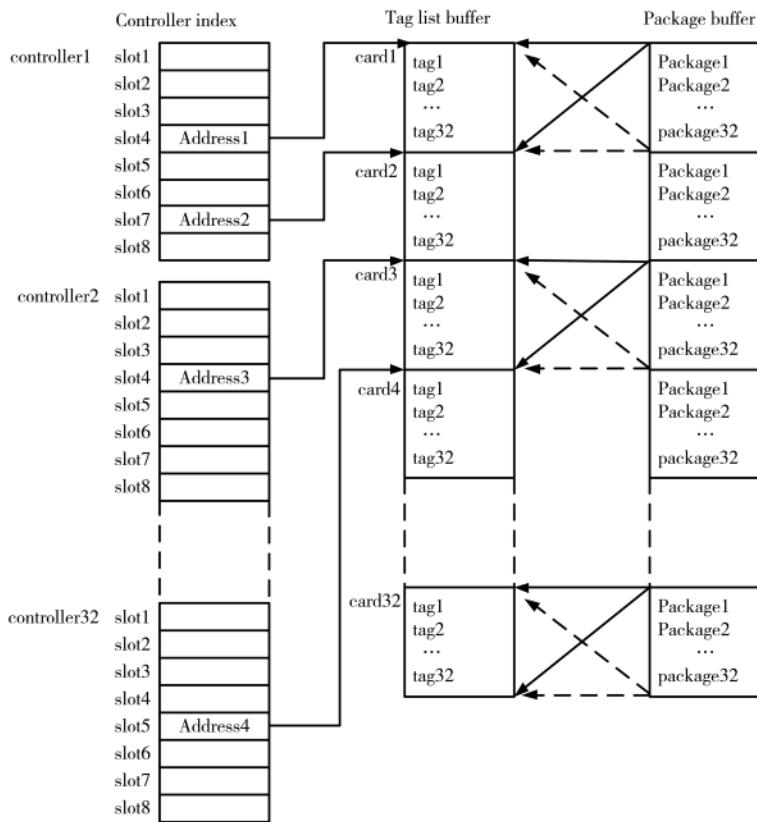


图 9 测点索引关系图

引, 上位机软件通过解析收到的数据包, 从而准确定位

具体跳变的测点。

## 8 结论

本文结合工程实践, 设计了一套 SOE 跳变信息的收集方法, 主要从算法上详细介绍了 SOE 时间标签的计算方法。该套系统实时性高、算法合理、准确, 成为 DCS 系统故障原因分析的一个必要工具, 已在电力行业获得广泛应用。

## 参考文献

- [1] 王常力, 罗安. 分布式控制系统设计与应用实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 徐一凤, 丰大军, 王皓, 等. 基于麒麟系统的 SCADA 状态诊断系统的设计与实现 [J]. 电子技术应用, 2018, 44(5): 134–136, 143.
- [3] 张志良. 单片机原理与控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] 李泽智. 基于 GPS 授时同步技术的小型 SOE 系统的研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2015.

(收稿日期: 2020-05-14)

## 作者简介:

荆宇辰(1999-), 男, 本科, 主要研究方向: 计算机算法、软件开发技术。

张元岩(1970-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 大型 DCS 控制系统、PLC 系统、智能控制系统等。

(上接第 101 页)

远心镜头, 本文所用方案成本更低, 操作简单, 能够准确识别工件类型, 识别精度和识别效率上符合生产要求, 可以应用于本文连接器生产线的工件识别, 具有较高的应用价值。

## 参考文献

- [1] 贾丙西, 刘山, 张凯祥, 等. 机器人视觉伺服研究进展: 视觉系统与控制策略 [J]. 自动化学报, 2015, 41(5): 861–873.
- [2] 高正中, 赵晨晖, 薛寒, 等. 基于图像处理的产品表面缺陷检测系统研究 [J]. 电子技术应用, 2017, 43(5): 64–66.
- [3] 徐德. 单目视觉伺服研究综述 [J]. 自动化学报, 2018, 44(10): 1729–1746.
- [4] 乔景慧, 李岭. 基于机器视觉的电视机背板检测及自适应抓取研究 [J]. 工程设计学报, 2019, 26(4): 452–460.
- [5] 俞洋, 陈佐政, 陈祝洋, 等. 机器视觉在电容器外观缺陷检测中的应用 [J]. 电子技术应用, 2019, 45(9): 97–100, 105.
- [6] 李佩宇, 董蓉, 李勃. 基于机器视觉的食用油装箱自动清点系统的设计及实现 [J]. 现代制造工程, 2018(5): 17–20.
- [7] 王才东, 李志航, 王新杰, 等. 基于手眼关系的机器人TCP 自标定方法 [J]. 机床与液压, 2019, 47(17): 6–11.

[8] 刘畅. 基于匹配定位的目标尺寸测量算法 [J]. 控制工程, 2018, 25(5): 729–732.

[9] 周科杰, 冯常. 基于双目视觉的三维测量技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(1): 22–25, 31.

[10] 陈春谋. 基于机器视觉与图像分割的工件表面残胶识别算法 [J]. 电子测量技术, 2019, 42(15): 74–78.

[11] 王颖, 王鹏飞, 杨余旺. 基于图像分割的目标尺寸特征测量 [J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(2): 191–195.

[12] 化春键, 熊雪梅, 陈莹. 基于 Sobel 算子的工件圆弧轮廓特征提取 [J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(2): 239–246.

[13] 陈璐, 关立文. 基于改进 Zernike 矩的亚像素钻孔圆孔检测方法 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2019, 59(6): 438–444.

(收稿日期: 2019-12-30)

## 作者简介:

乔景慧(1976-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 复杂工业过程/机电系统建模与控制、机器学习。

赵校伟(1994-), 通信作者, 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 机电系统控制、图像处理, E-mail: 1434809445@qq.com。

何鑫达(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 机电系统控制、图像处理。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所