

[自控·检测]

DOI: 10.3969/j.issn.1005-2895.2019.04.013

# 基于 HALCON 的光纤收发 PCB 板贴片 目标检测与校正系统设计

张吉春, 张森林, 何 衍

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘 要:** 针对光纤收发 PCB 板的传统手工检测与校正中存在的检测速度慢、检测效率低和校正效率低等问题, 课题组提出一种基于 HALCON 的检测与校正方案。通过图像降噪、截取模板和模板匹配等处理手段快速定位目标位置并计算标准位置; 通过比较识别位置与标准位置的坐标差, 进而判断贴片位置是否合格; 对于不合格产品可由电机平台重复推动与检测直至产品合格。实验结果表明: 新系统能够快速、准确、有效地检测出不合格品; 检测准确率达 99.4%, 平均检测时间约为 367 ms, 校正后合格率为 100%。新系统的检测精度、检测速度以及校正后产品合格率均符合工业生产的要求, 能够应用于工业生产。

**关 键 词:** 机器视觉; 模板匹配; 图像降噪; HALCON 机器视觉软件

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2019)04-0067-06

## Design of PCB Patch Target Detection and Correction System Based on HALCON

ZHANG Jichun, ZHANG Senlin, HE Yan

(College of Electrical Engineering Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** To solve the problems of low detection speed, low detection efficiency and low correction efficiency in traditional manual detection and correction of optical fiber transceiver PCB, a detection and correction scheme based on HALCON was proposed. The target position was quickly located and the standard position was calculated by image denoising, template interception and template matching. The coordinate deviation between the identified position and the standard position was compared to determine whether the patch position was qualified. For the unqualified product, the motor platform could be repeatedly pushed and tested until the product was qualified. The experimental results show that the system can detect the unqualified products quickly, accurately and effectively. The detection accuracy is 99.4%, the average detection time is about 367 ms, and the qualified rate after correction is 100%. The detection accuracy and speed of the system and the qualified rate of the products after correction meet the requirements of industrial production and can be applied in industrial production.

**Keywords:** machine vision; template matching; image denoising; HALCON

自光纤通信技术自问世以来, 其相关产业及技术得到飞速发展<sup>[1]</sup>。这使得大规模、高速率的通信变成了现实, 它使整个通信领域发生了革命性的变化, 目前已成为最主要的信息传输技术之一<sup>[2]</sup>。在生产光纤收发印刷电路板 (printed circuit board, PCB) 的过程中, 需要采用自动贴片机在 PCB 板上进行点胶与贴

片。在实际生产中, 因为要求产品贴片定位精度极高, 而传统的自动贴片机无法保证贴片精度是否符合厂家要求, 所以在贴片工序后要进行贴片位置检测。传统的贴片位置检测主要依靠人工操作, 不仅工作效率低、检测误差大, 而且对于位置不合格贴片的手工校正需要耗费极大工作量, 所以人工检测的方法已不能满足

收稿日期: 2018-12-21; 修回日期: 2019-05-08

第一作者简介: 张吉春(1990), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要研究数字图像处理、机器视觉。E-mail: 691343958@qq.com

光纤收发 PCB 板的大规模生产要求。因此,非常有必要开发一套精度高并能实现自动化生产的检测与校正的系统。HALCON 作为工业上最常用的机器视觉软件,已经被广泛应用于产品检测领域<sup>[3-5]</sup>。其中唐松<sup>[6]</sup>等提出的基于 HALCON 的阀芯尺寸亚像素级测量方法,其测量误差已达到亚像素精度。于涛<sup>[7]</sup>等提出的基于 HALCON 的缝纫机针外观质量检测系统,其检测准确率已达到 99.99%。在李锦珑<sup>[8]</sup>等提出的基于机器视觉的铁轨扣件边缘检测研究中,单幅零件图像的边缘提取时间均值为 25.7 ms。以上的研究表明,基于 HALCON 实现的视觉检测技术可以达到高速度、高精度和高准确度的要求,同时也为基于 HALCON 软件来解决产品检测问题提供了值得借鉴的思路。

为解决光纤 PCB 板贴片手工检测环节中存在的检测误差大、检测效率低等问题,同时为满足工业上对于检测与校正环节的自动化生产需求,课题组构建一种基于 HALCON 的光纤收发 PCB 板特定目标检测与校正系统。

## 1 检测与校正系统构成

### 1.1 检测对象

单片光纤收发 PCB 板如图 1 所示,其中方框标注的区域为待检测区。该区域由 3 块黑色贴片组成,其中左右两端为单独的矩形贴片,中部为 1 块 4 连体贴片。

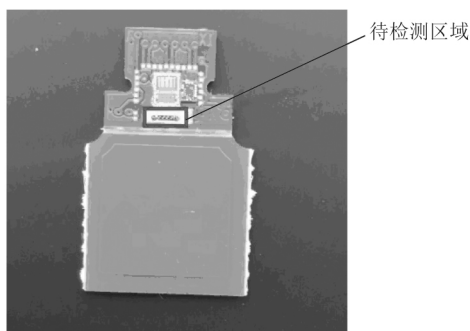


图 1 光纤收发 PCB 板

Figure 1 Optical fiber transceiver PCB

工业相机下待检测部分如图 2 所示。图中箭头所指中间 4 连体贴片中 B 圈中心点在同一直线且等间距,均为 250  $\mu\text{m}$ ;要求左边贴片 A 圈中心点与右边贴片 C 圈中心点与中间四连体贴片 B 圈中心点在一条直线并等间距 250  $\mu\text{m}$ ,且左右中心点距离标准中心点误差不超过 3  $\mu\text{m}$ 。

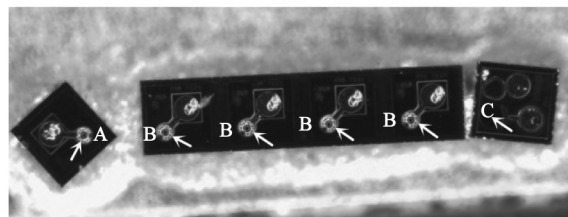


图 2 待检测区域

Figure 2 Untested region

### 1.2 硬件系统

基于 HALCON 的光纤收发 PCB 板特定目标检测与校正系统由硬件系统与桌面应用端构成。其中硬件系统实物组成如图 3 所示,分为检测系统与校正系统 2 部分。检测系统由工业相机、镜头、光源和计算机组成;校正系统由三轴滑台、五相步进电机和步进电机控制器组成。硬件系统结构图如图 4 所示。

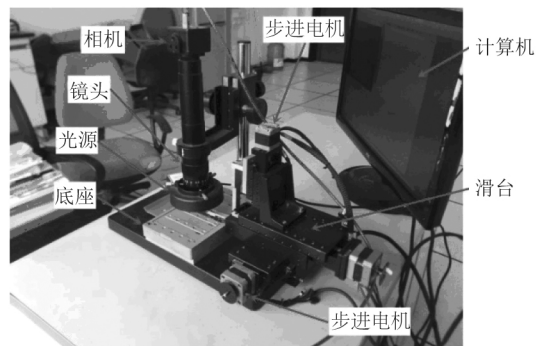


图 3 硬件系统实物图

Figure 3 Figure of hardware system

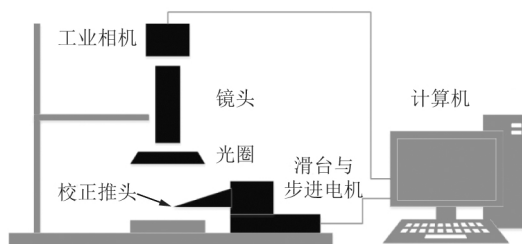


图 4 硬件系统结构图

Figure 4 Structure figure of hardware system

相机采用迈德威视公司生产的 MV-GE500C-T 工业相机,其有效像素为 500 万,分辨率达到 2 592 dpi  $\times$  1 944 dpi。由于待检测区长约为 1 500  $\mu\text{m}$  且测量精度要求为 3  $\mu\text{m}$ ,故相机采集的图片长边至少为 500 像素,同时工业相机选型时普遍将这一像素值乘以 3,因此所选相机能够满足检测精度要求。镜头采用 0.7  $\times$  ~4.5  $\times$  单筒显微镜镜头,搭配环形光源以及支架共同组

成图像采集系统。

校正系统由 MMT 公司生产的三轴滑台、2 台韩国奥托尼克斯 A1K-S543W 五相步进电机及 1 台日本东方 PK523HPA 五相步进电机等组成。其中 2 台 A1K-S543W 电机作为滑台  $X$ 、 $Y$  轴的驱动电机,另 1 台 PK523HPA 电机作为滑台  $Z$  轴驱动电机。上述电机通过控制器与电脑相连。滑动平台可实现单步给进  $0.2\ \mu\text{m}$ ,可以满足校正精度要求。

### 1.3 图像处理软件

图像处理软件对于光纤 PCB 板上的特定模块进行识别定位从而检测出模块位置是否合格。目前,常用开源的机器视觉软件是 OpenCV,而工业上最常用的机器视觉软件是德国 Mvtec 公司开发的 HALCON 系统。它是一套完整的图像处理软件库,由一千多个各自独立的函数以及底层的资料管理核心构成。其中包含了各类滤波、形态学分析、分类辨识以及形状搜索等几何与图像计算功能,应用范围涵盖医学、遥感探测和自动化检测等各个领域<sup>[9]</sup>。

与 OpenCV 相比,HALCON 具有以下优点:代码精简运行速度快;与工业相机兼容性好;算子功能齐全,在满足应用开发的同时能有效缩短开发周期;算子封装性好易于调用且无漏洞。基于以上理由,选用 HALCON 图像处理软件来完成本文所述系统,同时联合 C#进行桌面应用程序的开发。

## 2 目标检测算法流程

基于 HALCON 的光纤收发 PCB 板特定目标检测算法流程如图 5 所示。首先将待检测的 PCB 板放在镜头下的工作台上,打开相机后获取图片,将获取到的原始图片传给计算机,然后将图片进行降噪处理。在进行模板匹配前首先要确定是否已有待匹配的模板图片,如果已有模板图片则可用已有图片生成模板,如果没有则要截取得识别目标的模板,截取后的模板可保存起来供以后再检测时使用。截取好模板图片后先选择模板参数,再生成模板。有了模板之后可选择匹配参数进行模板目标匹配,需要匹配出 PCB 板上的 5 个圈(A 圈和 B 圈)和 1 个 C 圈。之后使用匹配出的模板中心点坐标进行误差计算并将结果显示出来。

## 3 目标检测主要步骤

### 3.1 获取图像

检测系统首先获取图像。为保证图像质量,要求相机成像平面、镜头与待检测 PCB 板所在平面平行,否则会产生径向畸变,对检测结果产生较大影响。相机通过 RJ-45 水晶接头与计算机连接。应用 open\_

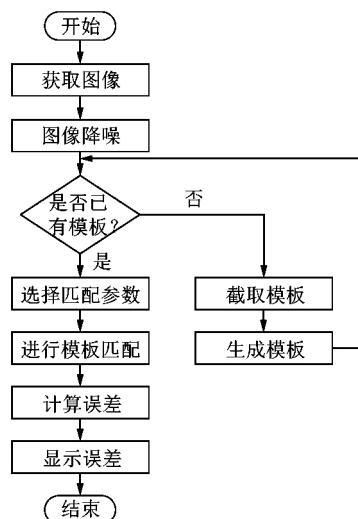


图 5 目标检测算法流程图

Figure 5 Target detection algorithm flow chart

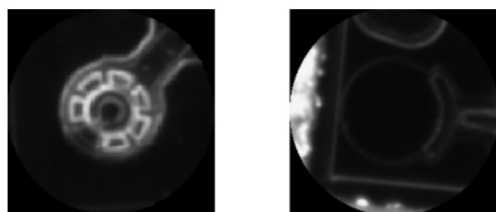
framegrabber 算子可打开工业相机,建立相机与计算机的通信通道。之后通过 grab\_image\_async 算子获取相机图像,并通过 disp\_obj 算子将图像显示在打开的主窗口中。

### 3.2 图像降噪

受外部环境的影响,比如 PCB 板表面厚度不均匀、有灰尘颗粒或者小块腐蚀的斑点,这些因素都会造成相机所采集到的原始图片含有一定的噪声。而噪声的出现会极大地影响检测目标轮廓的提取与定位,进而影响整个系统的检测结果。常用的图像降噪方法有均值滤波、中值滤波和高斯滤波等。经过试验比较,发现均值滤波可以获得较好的降噪效果,故本系统采用 mean\_image 算子,也就是均值滤波的方式对原始图片进行降噪处理。

### 3.3 截取模板

在截取模板工作中,如何选定模板的中心点最为关键,因为后续的模板匹配结果返回的就是所匹配到模板的中心点。本系统所要进行模板匹配的形状均为正圆形图案,而传统的 Blob 方式提取轮廓会存在较大误差,故课题组采用矩形最小外接圆的方式获得模板中心点。smallest\_circle 算子用于选定圆周内的一个内接矩形,其返回值为该矩形的最小外接圆的中心点坐标与半径。最后采用该中心点坐标与所得半径的 2 倍值,应用 gen\_circle 算子生成模板所需圆周区域;reduce\_domain 算子截取出模板图片,crop\_domian 算子裁剪掉模板之外的区域。最终形成的模板图片可保存,用于相同批次光纤 PCB 板的检测,模版图片如图 6 所示。



A圈和B圈模板

C圈模板

图 6 模版图片

Figure 6 Template image

### 3.4 生成模板

HALCON 提供的 `create_shape_model` 算子用于将模板图片进行边缘提取,并生成模板文件。其中包含 `AngleStart` 参数用于确定模板的初始角度; `AngleExtent` 参数用于确定模板的终止角度; `AngleStep` 参数用于确定模板旋转步长; `Optimization` 参数用于选择减少模板特征点的多少,以减少匹配时间,因检测精度要求较高,此处采用 `none` 方式; `Metric` 参数用于确定是否使用相同对比度极性,此处采用 `use_polarity` 方式,即表示采用相同的对比度极性,排除对比度完全反转的情况。 `MinContrast` 参数用于将模板从待匹配图像的噪声中分离出来,如果灰度值的波动范围是 10,则 `MinContrast` 应当设为 10,因为原始图片已经过降噪处理,故将此处参数设置为 `auto`。

`Contrast` 参数用于确定边缘检测的算法,选择 `auto_contrast_hyst` 方式,即经典 Canny 算法。采用双阈值法从候选边缘点中检测和连接出最终的边缘。算子根据图像灰度直方图自动设置高阈值与低阈值。高于高阈值的点被认为是边缘点,低于低阈值的点被认为是非边缘点。而介于高低阈值之间的点进行二次判断,若该像素点的邻接像素中有边缘点,则认为该点也为边缘点,否则认为该点为非边缘点。应用 Canny 算法可以得到较好的边缘检测结果。

如图 7 所示,图像金字塔<sup>[10]</sup>是一种多分辨率的图像采样方法,原始图片经过采样之后获得不同分辨率的图片。金字塔底部是待处理的原始图像,顶部图像为原始图像的低分辨率版本。 `NumLevels` 参数用于确定模板的在图像金字塔中的生成级数,从而在接下来的模板匹配中可采用低分辨率模板进行快速匹配,再用高分辨率模板在目标区域进行二次匹配,从而缩小了精确匹配的范围。对于高分辨率大尺寸图片,该方法能够有效地节省匹配时间,故将此参数设置为 1。

### 3.5 模板匹配

`find_shape_model` 算子根据上一步生成的模版在

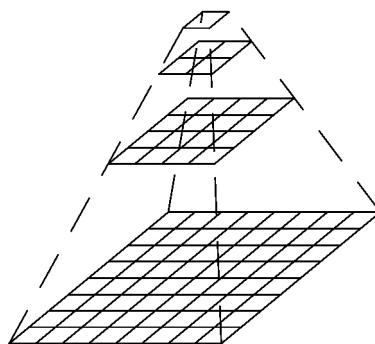
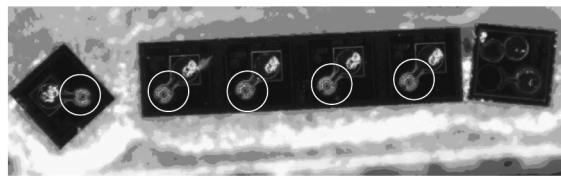


图 7 图像金字塔示意图

Figure 7 Image pyramid sketch

目标图片中进行模版匹配。其中 `AngleStart` 参数用来确定模版的初始角度; `AngleExtent` 参数用来确定模板的最大旋转范围; `MinScore` 用来排除分数低于此参数的匹配区域; `NumMatches` 参数用来确定所需要的匹配区域的个数,并按得分排序; `MaxOverlap` 参数用来确定最大允许重叠程度,因为待检测区域无重叠故此参数设置为 0; `SubPixel` 参数决定匹配是否精确到亚像素级,为提高检测精度,将此参数设置为 `least_squares_very_high`; 图像金字塔参数已在 3.4 节介绍,此处将 `NumLevels` 参数设置为 1; `Greediness` 参数确定在搜索时的“贪婪程度”,如果 `Greediness` 为 0,将不采用局部最优解的方式进行匹配,随着 `Greediness` 数值的提高,匹配速度将提高,但漏匹配的可能性也在增加,为保证匹配可靠性,此参数设置为 0。匹配结果如图 8 所示,图 8(a) 中白圈部分为对 A 圈和 B 圈模板选取相似度最高的前 5 个区域;图 8(b) 中白框部分为对于 C 圈模板选取相似度最高的区域。



(a) A圈和B圈模板匹配结果



(b) C圈模板匹配结果

图 8 匹配结果图片

Figure 8 Matching result image

### 3.6 计算偏差

该光纤收发 PCB 板中间的四连体贴片不可再分割, 其上的 4 个圈中心坐标在一条直线上且坐标等间距为  $250\ \mu\text{m}$ 。设第 1 个圈中心像素坐标为  $C_1(X_1, Y_1)$ , 第 4 个圈中心像素坐标为  $C_4(X_4, Y_4)$ 。由中心点间的几何关系, 可以推算出左侧 A 圈的标准点坐标为  $C_0(X_0, Y_0)$ :

$$X_0 = X_1 + \frac{1}{3}(X_1 - X_4);$$

$$Y_0 = Y_1 + \frac{1}{3}(Y_1 - Y_4)。$$

右侧 C 圈的标准点坐标为  $C_5(X_5, Y_5)$ , 公式为:

$$X_5 = X_4 + \frac{1}{3}(X_4 - X_1);$$

$$Y_5 = Y_4 + \frac{1}{3}(Y_4 - Y_1)。$$

设匹配到的左侧 A 圈中心点坐标为  $C'_0(X'_0, Y'_0)$ , 右侧 C 圈中心点坐标为  $C'_5(X'_5, Y'_5)$ , 则可计算出像素坐标下匹配点距离标准点的偏差。下面引入像素坐标系与世界坐标系的转换比率, 即第 1、第 4 中心点像素坐标距离与实际距离  $750\ \mu\text{m}$  的比值

$$R = \frac{\sqrt{(X_1 - X_4)^2 + (Y_1 - Y_4)^2}}{750}。$$

得到  $R$  值, 可以计算出待检测光圈中心点与标准中心点的偏差:

1) 左侧 A 圈偏差为  $D_0(X_{D_0}, Y_{D_0})$ , 其中:

$$X_{D_0} = \frac{X'_0 - X_0}{R}; Y_{D_0} = \frac{Y'_0 - Y_0}{R}。$$

2) 右侧 C 圈偏差为  $D_5(X_{D_5}, Y_{D_5})$ , 其中:

$$X_{D_5} = \frac{X'_5 - X_5}{R}; Y_{D_5} = \frac{Y'_5 - Y_5}{R}。$$

最终标注出检测中心点与标准中心点, 并将偏差计算结果显示在屏幕左上角, 如图 9 所示, 白色直线穿过中间 4 个标准中心点并止于两侧标准中心点, 叉线标记出检测中心点。

### 3.7 检测结果

首先随机选取 500 块光纤收发 PCB 板进行人工检测, 后利用该检测系统对此批光纤收发 PCB 板进行检测试验。检测正确率达到 99.4%, 其中试验中出现的 3 例误判为假阳性误判。试验结果表明: 检测系统敏感度大于人工检测方式; 此外从图像开始检测到显示检测结果所需时间平均约为 367 ms。该检测系统相较于传统人工检测方式在检测时间上有大幅减少,

右点横向误差  $1.26\ \mu\text{m}$ , 右点纵向误差  $-1.10\ \mu\text{m}$   
左点横向误差  $3.99\ \mu\text{m}$ , 左点纵向误差  $-1.87\ \mu\text{m}$   
误差向下、向右为正值

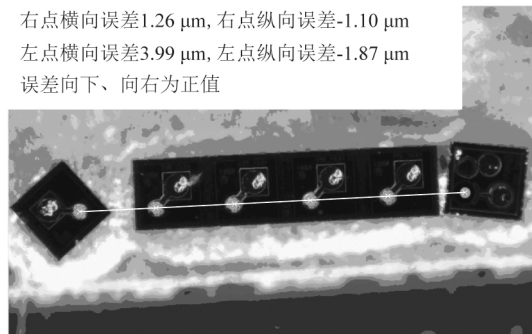


图 9 检测结果图片

Figure 9 Detection result image

同时检测精度能够满足工业生产要求。试验结果准确率如表 1 所示, 检测速度如表 2 所示。

表 1 检测试验结果表

Table 1 Test result table

检测方式	合格品/件	不合格品/件	误判/件	正确率/%
人工	489	11	0	100.0
系统	486	14	3	99.4

表 2 检测速度统计表

Table 2 Test speed table

PCB 板/件	最少耗时/ms	最多耗时/ms	平均耗时/ms
500	245.8	482.4	367.0

## 4 校正系统工作方式

根据检测结果, 将对偏差超过  $3\ \mu\text{m}$  的贴片进行校正。首先将滑台校正推头置于需要校正的位置上, 之后系统调用 C# 中的 timer 控件重复执行给进动作与检测动作。每次给进的步长为 5 步, 即  $1\ \mu\text{m}$ , 给进之后进行检测, 如果偏差依旧超过  $3\ \mu\text{m}$  则重复以上步骤; 当误差小于  $3\ \mu\text{m}$  时步进电机停止运动, 校正结束。校正系统工作流程如图 10 所示。

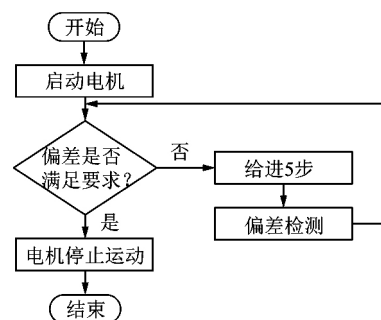


图 10 校正系统工作流程图

Figure 10 Correction system flow chart

对实验中检测系统判定的 14 件不合格品进行自动校正,并对校正后的光纤收发 PCB 板进行人工检测与系统检测。检测结果表明经过校正后的光纤收发 PCB 板合格率达 100%。

## 5 结语

课题组根据企业生产需求设计出了光纤收发 PCB 板特定目标检测系统;同时设计出了步进电机校正系统;讨论了硬件系统组成,并分析了图像处理软件的选择。重点分析了利用 HALCON 进行光纤收发 PCB 板贴片位置检测的步骤与方法,最后对该系统进行测试。测试结果表明:该系统能够快速检测出不合格品,且准确率达到较高水平;实现了光纤收发 PCB 板贴片位置的自动化检测,解决了人工检测中效率低、主观性强等问题,为光纤收发 PCB 板贴片检测提供了一个新思路。随着机器视觉的不断发展,机器视觉技术在解决各类产品的缺陷检测问题上将发挥更为重要的作用。

## 参考文献:

- [1] TOMKOS I, MUKHERJEE B, KOROTKY S K, et al. The evolution of optical networking[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(5): 1017 - 1022.
- [2] 崔秀国, 刘翔, 操时宜, 等. 光纤通信系统技术的发展、挑战与机遇[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 34 - 43.
- [3] 吴秀东, 李东兴, 常晓刚, 等. 基于 HALCON 的钢球表面缺陷检测系统设计[J]. 轴承, 2018(10): 53 - 58.
- [4] 陈岚萍, 刘寒寒, 马正华. 基于 HALCON 的普通工件目标检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(8): 2576 - 2581.
- [5] 王文成. 基于 HALCON 的齿轮缺陷检测系统设计[J]. 机械传动, 2014, 38(9): 60 - 63.
- [6] 唐松, 杨其华, 刘刚海. 基于 HALCON 的阀芯尺寸亚像素级测量[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(3): 237 - 241.
- [7] 于涛, 刘卫国, 朱淑亮, 等. 基于 HALCON 的缝纫机针外观质量检测系统设计与研究[J]. 现代制造工程, 2015(3): 103 - 109.
- [8] 李锦琰, 马宏锋, 张维昭, 等. 基于机器视觉的铁轨扣件边缘检测研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(5): 45 - 48.
- [9] 刘国华. HALCON 数字图像处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018: 13.
- [10] 金勇俊, 李言俊, 张科. 一种透视变换图像金字塔匹配改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(24): 78 - 80.

(上接第 66 页)

## 4 结语

课题组将蚁群、粒子群算法相结合,整合了蚁群算法的正反馈机制和粒子群算法的全局搜索能力的优点,提出了蚁群粒子群混合算法。与传统单一蚁群算法相比,可以准确地解决堆垛机路径优化问题,得到更优的结果。实验数据也为自动化立体库的设计规划提供了参考。研究中发现混合算法较单一算法运行时间长,在下一步的研究中,准备引入精英策略用于信息素的更新,以提高混合算法运行的效率。

## 参考文献:

- [1] 朱文海, 张维刚, 倪阳咏. 从计算机集成制造到“工业 4.0”[J]. 现代制造工程, 2018(1): 151 - 159.
- [2] 黄阳华. 德国“工业 4.0”计划及其对我国产业创新的启示[J]. 经济社会体制比较, 2015(2): 1 - 10.
- [3] 李巧玲, 倪益华. 基于改进的蚁群算法的复杂制造系统物流配送路径优化[J]. 轻工机械, 2015, 33(2): 106 - 109.
- [4] 卫三军, 李蓓智, 吕志军, 等. 基于遗传退火算法的堆垛机路径优化研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(12): 204 - 207.
- [5] 庞龙, 陆金桂. 基于蚁群遗传算法的自动化立体仓库拣选路径优化[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(3): 148 - 152.
- [6] 李擎, 张超, 陈鹏, 等. 一种基于粒子群参数优化的改进蚁群算法[J]. 控制与决策, 2013, 28(6): 873 - 878.
- [7] 夏辉, 王华, 陈熙. 一种基于微粒群思想的蚁群参数自适应优化算法[J]. 山东大学学报(工学版), 2010, 40(3): 26 - 30.
- [8] ENAGLS C, MANTHEY B. Average-case approximation ratio of the 2-opt algorithm for the TSP[J]. Operations Research Letters, 2009, 37(2): 83 - 84.
- [9] BLUM C, VALLES M Y, BLES A M J. An ant colony optimization algorithm for DNA sequencing by hybridization[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(11): 3630 - 3635.
- [10] 李宝顺. 基于遗传算法的自动仓储系统的优化[D]. 青岛: 山东科技大学, 2004: 19.
- [11] 姜山, 季业飞. GASA 混合优化算法在自动化立体仓库堆垛机作业调度问题中的应用[J]. 制造业自动化, 2010, 32(10): 6364.