

八角光纤端面几何参数测量算法设计

徐云洁, 陈晓荣, 徐挺, 王原野, 王子旋

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

✉ xyjrx0226@163.com; cxrsjtu@163.com; 3382971175@qq.com; 1002692687@qq.com; xrlmxx@163.com



摘要:针对传统的八角光纤端面的几何参数测量效率低下且精度不高的问题,设计了一种基于机器视觉的八角光纤端面几何参数测量算法。使用数字图像处理技术,利用亚像素轮廓检测算法对八角光纤包层端面进行边缘提取与分割,设计有效轮廓筛选算法,设定相关筛选参数以去除无效边缘,提出辅助线参数测量法,完成八角光纤端面几何参数测量。为验证算法重复性,针对多组图像进行几何参数测量实验,测量结果显示几何参数的重复性平均值约为 $0.015 \mu\text{m}$;实验结果表明:该算法易于操作且达到企业技术指标要求。

关键词:机器视觉;八角光纤端面几何参数;轮廓检测;有效轮廓筛选算法;辅助线参数测量法

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

Algorithm Design for Measuring Geometric Parameters of Octagonal Optical Fiber Endface

XU Yunjie, CHEN Xiaorong, XU Ting, WANG Yuanye, WANG Zixuan

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

✉ xyjrx0226@163.com; cxrsjtu@163.com; 3382971175@qq.com; 1002692687@qq.com; xrlmxx@163.com

Abstract: Aiming at the low efficiency and accuracy of the traditional geometric parameters measurement of octagonal optical fiber endface, this paper proposes to design a geometric parameter measurement algorithm for octagonal optical fiber endface based on machine vision. Digital image processing technology and sub-pixel contour detection algorithm are used to extract and segment the edges of the octagonal optical fiber cladding endface so that the effective contour filtering algorithm is designed. Relevant filtering parameters are set to remove the invalid edges, and the auxiliary line parameter measurement method is proposed to complete the measurement of geometric parameters of the octagonal optical fiber endface. To verify the repeatability of the algorithm, geometric parameter measurement experiments are carried out for several groups of images, and the measurement results show that the average repeatability of the geometric parameters is about $0.015 \mu\text{m}$. The experimental results show that the algorithm is easy to operate and it meets the requirements of the enterprise's technical specifications.

Key words: machine vision; geometric parameters of the octagonal optical fiber endface; contour detection; effective contour filtering algorithm; auxiliary line parameter measurement method

0 引言(Introduction)

随着信息化时代的到来,光纤被应用到越来越多的场合,尤其是光纤通信等方面,开展光纤端面几何参数的研究对于促

进该领域的发展有着重要作用^[1-3]。有关几何参数的研究中,首要步骤为测量光纤几何参数,而传统的几何参数测量方法多为人工测量,该方式费时费力且误差较大^[4];实验室基础测量

方法操作又较为复杂。

随着科技的发展,国内外提出了多种数字化方法对光纤端面几何参数进行检测。杨远^[5]基于机器视觉设计算法,完成了对D型光纤侧面抛磨深度的测量,但测量内容较单一,且稳定性有待提升。ZHANG等^[6]通过综合阈值边界提取和改进的曲线拟合算法进行截面重建,得到多芯光纤几何参数,但在边缘拟合方面仍有待改进。

为实现特殊形状光纤端面几何参数的数字化检测与计算,本文采用数字图像处理技术,设计一种基于机器视觉的八角光纤端面几何参数测量算法。测量算法经多组图像测试后,得出的数据精确度较高,符合工业需求。

1 光纤端面及几何参数简介 (Introduction of optical fiber endface and geometric parameters)

光纤主要分成涂覆层、包层、纤芯等部分。八角光纤端面的中间为纤芯,其外为包层,含干扰的八角光纤端面图如图1所示。

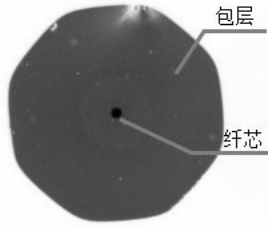


图1 含干扰的八角光纤端面图

Fig. 1 Endface diagram of octagonal optical fiber with interference

本算法针对包层为八角形的光纤,检测其包层轮廓,主要测量内切圆直径(即包层直径)、对角距离等几何参数,重点研究包层部分的边缘提取、有效轮廓筛选、辅助线参数测量等内容。

2 算法实现及分析 (Algorithm implementation and analysis)

2.1 实验软件及算法流程

本文使用的软件为Halcon,全称及版本号为HDevelop 18.05 Progress (64-bit)。本算法实现的功能为通过运行程序快速测量八角光纤端面几何参数。

本文采用的算法流程图如图2所示。首先进行图像预处理,其次使用亚像素轮廓检测算法,针对包层端面进行边缘提取及分割,设计有效轮廓筛选算法去除干扰轮廓,提出辅助线参数测量法,最后完成八角光纤几何参数的测量,并显示检测结果。



图2 算法流程图

Fig. 2 Algorithm flow chart

2.2 图像预处理及包层边缘提取

首先使用中值滤波^[7]的方法对图像进行预处理,滤除采集图像时因光线和环境等因素引入的噪声。

定义输入图像的灰度值为 $x_{i,j}$,则有中值滤波后输出灰度值为 $y_{i,j}$ ^[8]:

$$y_{i,j} = \text{med}(r, s) \in W(x_{i+r,j+s}) \quad (1)$$

其中, W 为中值滤波中使用窗口的阶数。

中值滤波的数学表达式如公式(2)所示:

$$\hat{y}(n) = \text{med}\left(y\left(m - \frac{M-1}{2}\right) \dots y(n) \dots y\left(n + \frac{M+1}{2}\right)\right) \quad (2)$$

其中: $\hat{y}(n)$ 为滤波后的数据, $y(n)$ 为观测数据。中值滤波可在滤除噪声的同时,较好地保留图像中的边缘和锐角等细节信息^[9-10]。

其次进行亚像素轮廓边缘提取^[11-12]。本算法中,使用中值滤波后的包层部分与包层外两个区域的阈值进行计算,分别设为 T_{mean} 与 T_{mean_0} ,如公式(3)所示,定义分界点阈值 T ,并以此为基准将这两个区域分开,对两种背景图像进行交叉分割。可从滤波后的图像中提取出包层区域的亚像素精密轮廓,分割的结果为以亚像素形式存在的分割线。按长度筛选后,即得到八边形包层亚像素轮廓。

$$T = \frac{1}{2}(T_{\text{mean}} + T_{\text{mean}_0}) \quad (3)$$

提取出的八角光纤包层亚像素轮廓示意图如图3所示。以此亚像素轮廓为基准,计算绘制出八角光纤包层的内切圆与外接圆,并求出对应的半径。

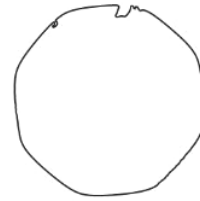


图3 八角光纤包层亚像素轮廓示意图

Fig. 3 Sub-pixel contour diagram of octagonal optical fiber cladding

2.3 有效轮廓筛选算法

在八角光纤端面几何参数测量过程中,所需轮廓为八边形轮廓的八条直边,本文提出一种有效轮廓筛选算法,将有效的包层边缘轮廓段筛选出来。

2.3.1 有效轮廓筛选

将提取出的八角光纤包层亚像素轮廓进行分割,结果如图4所示。

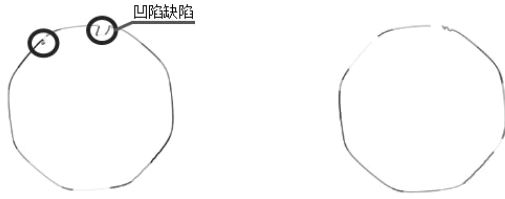


图4 分割后的八角光纤包层亚像素轮廓

Fig. 4 Sub-pixel contour diagram of segmented octagonal optical fiber cladding

八角光纤本身可能存在不同种类的缺陷,例如光纤本身质

量问题引入的缺陷、为拍摄端面图像而对光纤端面进行切割时引入的缺陷等。这些缺陷的存在可能会影响八边形亚像素轮廓,导致在提取轮廓时会出现如图 5(a)所示的向内凹陷的缺陷干扰。计算每段轮廓到中心的距离,设计参数,保留距离包层中心较远的轮廓,筛选掉向内凹陷的干扰缺陷段,结果如图 5(b)所示。



(a)存在向内凹陷的缺陷示意图 (b)筛除凹陷后的八边形轮廓结果图
图 5 筛除向内凹陷示意图

Fig. 5 Diagram of screening out inward recesses

设八边形亚像素轮廓段总条数为 $n(n=1,2,\dots,N)$,外接圆半径为 r_o ,内切圆半径为 r_i ,八边形亚像素轮廓段各像素点到区域中心的距离为 d_n 。可知,当确定八边形亚像素轮廓后,对应的 r_o 与 r_i 为定值,同时 d_n 的值随着所取的轮廓段的不同而改变。求出各轮廓段中各像素点到区域中心的最大距离 $d_{n_{\max}}$ 与最小距离 $d_{n_{\min}}$,定义外接圆半径与最小距离之间差的绝对值为 cou_n ,即

$$cou_n = |r_o - d_{n_{\min}}| (n=1,2,\dots,N) \quad (4)$$

按照有效轮廓筛选步骤,将有效轮廓逐步筛选保留,有效轮廓筛选步骤详见表 1。

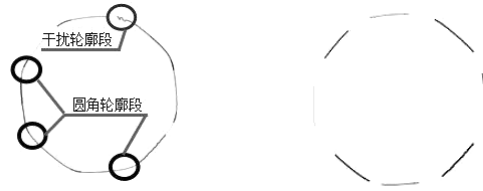
表 1 有效轮廓筛选步骤

Tab.1 Valid contour screening steps

有效轮廓筛选步骤 (其中 $n=1,2,\dots,N$)
步骤 1:求各轮廓段 cou_n 值并放入集合 sub_c 中,求出 $\max(sub_c)$ 。
步骤 2:求各轮廓段长度 L_n 并放入集合 $Length$ 中,求出 $\max(Length)$ 。
步骤 3:按以下条件筛选符合的轮廓段,并保存至新集合中。 当 $n=1,2,\dots,N$: (1)当 $cou_n > 0.64\max(sub_c)$ 时,保留该段轮廓。 (2)当 $cou_n \leq 0.64\max(sub_c)$ 时,若 $cou_n > 0.5\max(sub_c)$,且 $L_n > 0.5\max(Length)$ 时,保留该段轮廓。
步骤 4:循环处理,直到将所有轮廓段都判断完毕,并将不符合条件的轮廓去除

2.3.2 有效轮廓再筛选

原始图像中,八角光纤的八个内角受制作工艺因素的影响,通常多为圆角,这给分离八边形直边轮廓段带来了困难。使用有效轮廓筛选算法后,仍会有如图 6(a)所示的缺陷,以及无法通过算法筛选的圆角轮廓段及干扰轮廓段等。此时,需要进行再筛选操作,筛选后的结果如图 6(b)所示。再筛选步骤可以有效去除形状特殊的干扰轮廓段以及较平缓的圆角轮廓段,进一步完善有效轮廓筛选结果。



(a)圆角及干扰轮廓段示意图 (b)再筛选后的八边形轮廓结果图

图 6 再筛选轮廓段示意图

Fig. 6 Diagram of re-screening contour segments

有效轮廓再筛选算法可将影响计算的圆角及干扰轮廓删除,保留近似于八边形的直边轮廓,方便之后以该组直边轮廓为基础,使用辅助线参数测量法测量几何参数。

2.4 辅助线参数测量法

八角光纤形状较为特殊,其几何参数的判断可以从更多的维度进行,通过测量八角光纤独有的几何参数,例如计算八角光纤包层对角顶点之间的距离(简称对角距离)等判断光纤的状态及质量等。对角距离测量示意图如图 7 所示。本文提出辅助线参数测量法,主要通过构造辅助线的方式求得八角光纤几何参数。

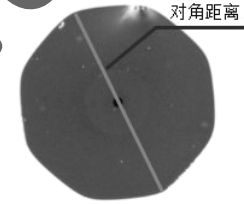
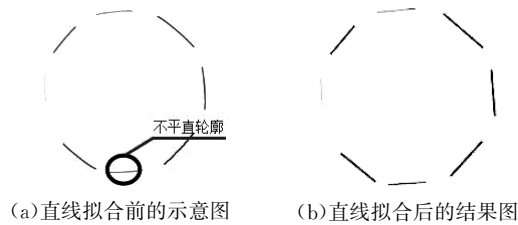


图 7 对角距离测量示意图

Fig. 7 Diagram of diagonal distance measurement

如图 8(a)所示,为了减少不平直轮廓因素的干扰,要先进行直线拟合^[13]。取每条直边轮廓段的起始与终止坐标,使用数组的形式指定坐标,创建不带圆角的多边形轮廓,可有效修正直边轮廓段有凹凸部分的问题,直线拟合后的结果图如 8(b)所示。



(a)直线拟合前的示意图 (b)直线拟合后的结果图

图 8 直线拟合示意图

Fig. 8 Diagram of straight line fitting

2.4.1 固定延长线交点

如图 9 所示,做一条过区域中心的水平线作为水平角度为 0° 的基准线 l_0 。逆时针求得相邻直边的延长线交点,标记为 A, B, C, D 及与之中心对称的 A', B', C', D' 。过交点做与区域中心的连线 $l_s (s=1,2,\dots,8)$, 求出连线 l_s 与基准线 l_0 的夹角,记为 $\alpha_s (s=1,2,\dots,8)$,若有负值则加 360° 将其换算成正值,并按照 α_s 的大小进行排序。

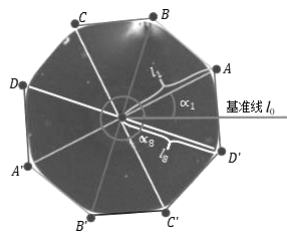


图 9 延长线交点及夹角测量示意图

Fig. 9 Diagram of measuring intersection points and included angles of extended lines

2.4.2 求对角距离连线

确定 l_s 和八边形亚像素轮廓线的交点 A_{PP} 、 B_{PP} 、 C_{PP} 、 D_{PP} 、 A'_{PP} 、 B'_{PP} 、 C'_{PP} 、 D'_{PP} 并求出坐标,共 8 个点,分成 4 组。求点 A_{PP} 到其对面的点 A'_{PP} 的距离,即为一组对角距离。重复操作直至完成所有的对角距离测量。本算法最终结果图如图 10 所示。

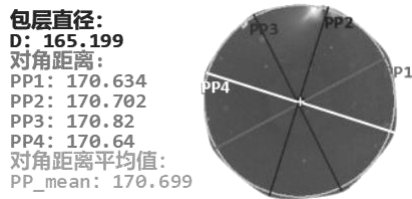


图 10 八角光纤几何参数检测结果

Fig. 10 Detection results of octagonal optical fiber geometric parameters

3 实验结果分析(Analysis of experimental results)

为保证实验的普遍性,避免选取到特例影响实验的准确性,本文随机选取三组八角光纤端面图,每组随机抽取五张原始图像进行测试,测量八角光纤的包层直径 D 、四个对角距离 d_{pp_n} ($n=1,2,3,4$) 及对角距离平均值 $\bar{d}_{pp}$,共 6 个几何参数,如表 2 所示。

表 2 八角光纤几何参数测量结果

Tab.2 Measurement results of octagonal fiber geometric parameters							
光纤编号	图像序号	$D/\mu\text{m}$	$d_{pp_1}/\mu\text{m}$	$d_{pp_2}/\mu\text{m}$	$d_{pp_3}/\mu\text{m}$	$d_{pp_4}/\mu\text{m}$	$\bar{d}_{pp}/\mu\text{m}$
1	1	165.199	170.634	170.702	170.820	170.640	170.699
	2	165.199	170.708	170.701	170.827	170.666	170.726
	3	165.199	170.660	170.695	170.851	170.682	170.722
	4	165.199	170.689	170.695	170.810	170.693	170.722
	5	165.199	170.652	170.689	170.824	170.618	170.696
	平均值	165.199	170.669	170.696	170.826	170.660	170.713
	重复性	0	0.030	0.005	0.015	0.031	0.014
2	1	166.303	171.835	171.987	172.102	171.959	171.971
	2	166.303	171.880	171.984	172.111	171.943	171.980
	3	166.303	171.897	172.021	172.141	171.977	172.009
	4	166.303	171.850	171.951	172.102	171.928	171.958
	5	166.303	171.918	172.024	172.150	171.968	172.015
	平均值	166.303	171.876	171.993	172.121	171.955	171.986
	重复性	0	0.034	0.030	0.023	0.020	0.025

续表

光纤编号	图像序号	$D/\mu\text{m}$	$d_{pp_1}/\mu\text{m}$	$d_{pp_2}/\mu\text{m}$	$d_{pp_3}/\mu\text{m}$	$d_{pp_4}/\mu\text{m}$	$\bar{d}_{pp}/\mu\text{m}$
3	1	165.929	170.129	170.633	170.548	168.909	170.055
	2	165.929	170.084	170.584	170.541	168.968	170.044
	3	165.929	170.134	170.618	170.542	168.897	170.048
3	4	165.929	170.075	170.594	170.556	168.919	170.036
	5	165.929	170.134	170.618	170.542	168.897	170.048
	平均值	165.929	170.111	170.609	170.546	169.918	170.046
	重复性	0	0.029	0.020	0.006	0.029	0.007

由表 2 可知,在随机选取三组八角光纤图,每组随机抽取五张原始图像进行测试后,通过组内对比可知,测量得到的包层直径 D 并无较大偏差,其对角距离的几何参数测量值的重复性也无较大偏差。重复性数据经数据处理后,平均值约为 $0.015\mu\text{m}$ 。

本算法依托于电缆厂测量项目,其精度需求数据如表 3 所示。

表 3 八角光纤测试精度需求数据

Tab.3 Requirement data of octagonal optical fiber testing accuracy		
参数	性能/ μm	重复性要求/ μm
八角光纤包层直径	≤ 125	≤ 0.05
	125~250	≤ 0.08
	250~500	≤ 0.20
八角光纤包层对角距离	—	≤ 0.20

对比分析表 2 及表 3 中数据可知,本文提出的算法可有效测量八角光纤端面几何参数,重复性符合项目测量精度需求及目前现行的电缆参数需求,也可以较好地测量不同八角光纤的几何参数^[14]。

4 结论(Conclusion)

本文通过数字图像处理的方法,实现八角光纤端面几何参数测量的算法设计,填补了八角光纤端面几何参数测量方法的空白。主要通过亚像素轮廓检测算法提取包层轮廓,提出有效轮廓筛选算法缩小轮廓范围,使用辅助线参数测量法测量八角光纤几何参数。实验证明,本测量算法获得的重复性符合使用需求,重复性平均值约为 $0.015\mu\text{m}$,同时操作简便,数据响应速度快,能提高几何参数测量的精准度。

在后续算法设计中,应更多考虑可能发生的八角光纤端面的其他缺陷情况,完善有效轮廓筛选算法,提高程序的普适性与鲁棒性,进一步优化算法结构,提升测量精度与效率。

参考文献(References)

[1] 宋敏毓,陈力荣,梁建安,等. 轻量化改进网络的实时光纤端面缺陷检测模型[J]. 激光与光电子学进展,2022,59(24):201-211.

[2] YUAN B J,CAI H. Research on the current situation and development trend of optical fiber communication technology[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1873:012013.

[3] KAREEM F Q,ZEEBAREE S R M,DINO H I,et al. A

- survey of optical fiber communications; challenges and processing time influences[J]. Asian Journal of Research in Computer Science, 2021, 7(4): 48-58.
- [4] 周猛, 杨兰玉, 王超. 基于机器视觉的光纤端面缺陷检测技术应用[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(7): 129-131, 136.
- [5] 杨远. 基于机器视觉的光纤几何参数检测研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [6] ZHANG C B, NING T G, LI J, et al. Image processing method for multicore fiber geometric parameters[J]. Optical Fiber Technology, 2016, 29: 84-89.
- [7] LI N Z, LIU T, LI H Q. An improved adaptive median filtering algorithm for radar image co-channel interference suppression[J]. Sensors, 2022, 22(19): 7573.
- [8] 苏育挺, 张天娇, 张静, 等. 基于局部二值模式的中值滤波检测算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(1): 258-261.
- [9] AGARWAL S, JUNG K H. Median filtering forensics based on optimum thresholding for low-resolution compressed images[J]. Multimedia Tools and Applications, 2022, 81: 7047-7062.
- [10] ESAN D, A OWOLAWI P, TU C L. Anomalous detection in noisy image frames using cooperative median filtering and KNN[J]. IAENG International Journal of Computer Science, 2022, 49(1): 1-10.
- [11] WANG J N, CHEN J N. Subpixel edge detection algorithm based on improved Gaussian fitting and Canny operator[J]. Academic Journal of Computing & Information Science, 2022, 5(7): 33-39.
- [12] FANG Y T, WANG X D, XIN Y P, et al. Sub-pixel dimensional and vision measurement method of eccentricity for annular parts[J]. Applied Optics, 2022, 61(6): 1531-1538.
- [13] 白广东, 张禹, 孙建建, 等. 基于视觉的麻花钻头自动定位系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(5): 81-85.
- [14] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 光纤试验方法规范 第20部分: 尺寸参数的测量方法和试验程序 光纤几何参数: GB/T 15972.20—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 4.

作者简介:

- 徐云洁(1999-), 女, 硕士生。研究领域: 图像处理, 机器视觉。
- 陈晓荣(1974-), 女, 博士, 副教授。研究领域: 图像处理, 在线检测。本文通信作者。
- 徐挺(2003-), 男, 本科生。研究领域: 图像处理。
- 王原野(2003-), 男, 本科生。研究领域: 机器视觉。
- 王子旋(2003-), 男, 本科生。研究领域: 在线检测。

(上接第16页)

5 结论(Conclusion)

本文首先针对服装生产线中现有的人员调度问题进行建模, 其次提出了基于熟练度的人员调度策略和基于遗传算法的人员调度方法对该问题进行求解, 最后采用服装厂实际生产数据对策略方法进行验证。实验证明, 本文提出的策略与方法能够有效地解决服装生产线中的人员调度问题, 提高生产线生产效率。此外, 为了验证本文所提出的策略与方法在不同规模场景下的有效性, 开展了实验进行策略的性能评估, 实验结果表明, 在部分规模场景下, 遗传算法在实际总工序时间上稍优于粒子群算法, 但最大工序时间和运行时间明显优于其他算法。

参考文献(References)

- [1] 杨文理, 李长云, 李亭立, 等. 瓶颈工序影响下服装柔性生产车间排产研究[J]. 现代电子技术, 2022, 45(13): 145-151.
- [2] 陈洪倩, 陈雁, 丁佳, 等. 服装吊挂线生产组织分析[J]. 丝绸, 2012, 49(1): 30-32.
- [3] 刘锋, 徐杰, 柯文博. 基于深度强化学习的服装缝制过程实时动态调度[J]. 纺织学报, 2022, 43(9): 41-48.
- [4] 谢子昂, 杜劲松, 赵国华. 衬衫吊挂流水线的自适应动态调度[J]. 纺织学报, 2020, 41(10): 144-149.
- [5] 李彬彬. 订单型服装企业生产作业计划智能调度[J]. 物流工程与管理, 2013, 35(12): 160-161.
- [6] 郑卫波, 周俊, 许正良. 基于遗传算法的服装企业计划调度建模与求解[J]. 江苏纺织, 2009(1): 59-60.
- [7] WONG W K, CHAN C K, IP W H. A hybrid flowshop scheduling model for apparel manufacture[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2001, 13(2): 115-131.
- [8] 谢子昂, 杜劲松, 余雅芸, 等. 西服定制吊挂生产线的筛选秩序优化[J]. 纺织学报, 2021, 42(10): 150-156.
- [9] 张旭靖, 王立川, 陈雁. 基于遗传算法的服装缝制生产线平衡优化[J]. 纺织学报, 2020, 41(2): 125-129.
- [10] XU W, SUN H Y, AWAGA A L, et al. Optimization approaches for solving production scheduling problem: a brief overview and a case study for hybrid flow shop using genetic algorithms[J]. Advances in Production Engineering & Management, 2022, 17(1): 45-56.
- [11] 金锋, 吴澄. 大规模生产调度问题的研究现状与展望[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(2): 161-168.
- [12] 梁旭, 王佳, 黄明. 解决大规模生产调度问题的一种新编码方法[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(10): 1974-1977, 1982.

作者简介:

- 张文豪(1996-), 男, 硕士生。研究领域: 生产调度, 强化学习。
- 王无双(1997-), 女, 硕士生。研究领域: 强化学习, 车间调度。
- 王成群(1981-), 男, 博士, 讲师。研究领域: 工业互联网。
- 骆淑云(1986-), 女, 博士, 讲师。研究领域: 工业智能边缘计算, 网络经济。