

# 基于色选技术的建筑垃圾分选系统研发

马浩<sup>1,2</sup>, 毛龙林<sup>1,2</sup>, 戴厚德<sup>1</sup>, 韩军<sup>1</sup>, 曾现萍<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海西研究院泉州装备制造研究所, 福建泉州 362000

2. 厦门理工学院电气工程与自动化学院, 福建厦门 361000)

**摘要:** 针对建筑垃圾中烧结砖块和混凝土块的混合物的分离难题, 介绍了一种基于色选技术的建筑垃圾自动化分选系统软件设计实现及其实验验证; 该系统基于机器视觉求取传送带上目标烧结砖块的质心坐标的方法, 通过在上位机上编写相应的 C++ 算法程序, 利用 OPC 客户/服务器模式和 PLC 进行通讯, 以实现高压气阀的实时控制; 为了提高系统的实时性, 采用了环形队列数据存取方式; 最后介绍了通过计算目标物的质心坐标, 以实现其精确的定时和定位; 实验结果表明: 在传送带速度为 1.00 m/s 时, 分拣系统的识别率为 96.8%, 分选率为 91.7%; 烧结砖块和混凝土块高效分离回收后的经济价值将得到极大的提高, 有助于解决目前城市固体建筑垃圾围城的环境难题。

**关键词:** 色选技术; 质心坐标; PLC; 环形队列; 建筑垃圾分选

## Research of Sorting System for Construction Waste Based on Color Selective Technology

Ma Hao<sup>1,2</sup>, Mao Longlin<sup>1,2</sup>, Dai Houde<sup>1</sup>, Han Jun<sup>1</sup>, Zeng Xianping<sup>1</sup>

(1. Quanzhou Institute of Equipment Manufacturing, Hercynian Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Quanzhou 362000, China

2. School of Electrical Engineering and Automation, Xiamen University of Technology, Xiamen 361000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of separation of mixture of sintered bricks and concrete blocks in the construction waste, this paper introduces the design of prototype implementation of a construction waste automatic sorting system based on color selection technology and its experimental verification. Machine vision approach is adopted to get the mass center of the target block on the conveyor belt, By performing the corresponding color selecting algorithm on the computer and using the OPC client /server mode and PLC (programmable logic controller) to communicate, the real-time control of high-pressure air valve is achieved. To improve the real-time performance, a circular queue of data access mode is employed. Finally, the precise timing and positioning is carried out by calculating the center of coordinate of the target. Experimental results show that the recognition rate is 96.8% and the separation rate is 91.7% when the conveyor speed is 1.00 m/s. The economic benefits will be greatly improved after the efficient separation and recovery of sintered bricks and concrete blocks. At the same time, it will help solve the current garbage siege problems.

**Keywords:** color selective technology; centroid coordinate; PLC; circular queue; construction waste sorting

## 0 引言

我国建筑垃圾资源化水平较低, 对建筑垃圾的利用大部分局限于简单处理, 建筑垃圾中无法精细分拣, 经过简单粉碎、过滤而制成的再生骨料, 无法保证质量稳定<sup>[1-2]</sup>。因现有的国产建筑垃圾分拣设备存在分离不同材质物质难度大等问题, 尤其是相近比重的不同物质难度大成本高等技术问题, 实现建筑垃圾的精细分拣比较困难(典型的, 混凝土的比重是 1.6 t/m<sup>3</sup>, 而烧结砖块的比重 1.3 t/m<sup>3</sup>, 两者比重相近), 故如何从沙石骨料中有效分离出砖块和

混凝土是提高资源再利用品质需要解决的一个关键技术难点。

虽然当前我国基于机器视觉的检测技术比较成熟, 用于分选的范围也比较广泛, 特别是在食品行业和烟草行业<sup>[3-6]</sup>, 但几乎没有用于建筑垃圾中烧结砖块和混凝土的混合物的分选。况且两者比重相近, 传统的分选方法如风选、电磁分选、振动筛分选和比重差分分选等都不适合此混合物的分选。因烧结砖块和混凝土块颜色上存在差异, 故本系统提出了一种基于机器视觉求取目标烧结砖块的质心坐标的方法, 采用在机械输送分散装置相应部位放置视觉传感器和 PLC 控制器, 并在传送带末端安装高压气阀阵列以实现实时的图像采集、处理与分拣控制。

## 1 系统的工作原理

本系统的总体组成主要包括: 机械传送分散装置、上位机 VC、光源、图像采集和处理系统及 PLC 控制系统。系统工作原理如图 1 所示。当平整随机分布的混凝土和烧结砖

收稿日期: 2018-05-07; 修回日期: 2018-06-11。

基金项目: 国家自然科学基金(61501428); 泉州市科技计划项目(2016G006, 2017G014)。

作者简介: 马浩(1992-), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要从事电器智能化技术及应用方向的研究。

通讯作者: 戴厚德(1982-), 男, 湖南邵阳人, 博士/研究员, 主要从事机器人定位导航与智能传感技术创新应用等方向的研究。

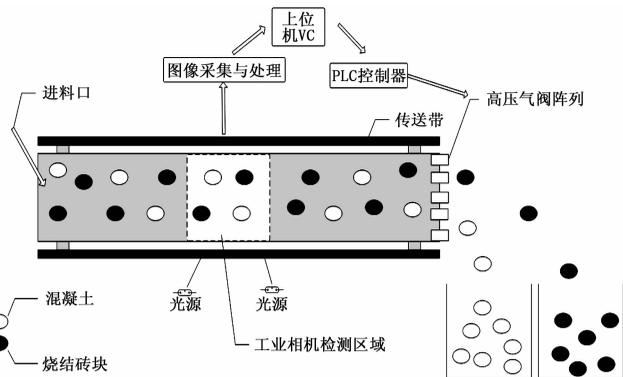


图 1 系统的工作原理

块随传送带运动到两个工业相机组成的面阵检测区域时,相机把采集到的图像经上位机 VC 图像识别处理后,将处理信号发送给 PLC 以驱动相应的气阀动作,从而实现准确地分选出目标砖块的目的。

## 2 系统的硬件设计

### 2.1 整机系统设计

整机系统包括板式输送机、遮光罩、条形 LED 光源、相机支架和端部的线阵列高压气阀。板式输送机作为输送装置主体,用于对平铺开的建筑垃圾物料进行输送,可以方便快速地将被测物料输送到检测模块下对其进行检测识别。遮光罩可以减小周围环境的干扰光对物料的影响,而遮光罩里的 LED 光源则可以克服环境光的干扰来提高图像信噪比,突出检测物料的特征以简化图像处理算法。相机架和输送机相互分离设计,可以防止输送物料时输送机抖动对检测结果的影响。每两个高压气阀的距离为 20 mm,共 25 个,并与平面形成一定的仰角,这样便于目标物吹落到相应的收料箱中。

### 2.2 PLC 控制系统设计

本系统的气动部分主要由 PLC 控制器控制完成,为了能精准地喷走烧结砖块,在传送带末端装有 25 路高压气阀,结合系统的实际需求,选用了西门子 S7-1200 PLC。该控制器具有结构紧凑、最优模块化、开放式通讯和杰出的实时响应,在任何时候均可对整个过程进行完全控制,从而提高了质量、效率和安全性。该控制器使用的是博图 V13 编程软件,运用此软件可以对底层应用进行梯形图编程和操作,采用 OPC 客户/服务器的模式和上位机 VC 进行通讯。其中 OPC 是 Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control 的缩写,它是微软公司的对象链接和嵌入技术在过程控制方面的应用。OPC 以 OLE/COM/DCOM 技术为基础,采用客户/服务器模式,为工业自动化软件面向对象的开发提供了统一的标准<sup>[7-8]</sup>。系统的通讯原理如图 2 所示。

### 2.3 目标检测区域设计

本系统使用的是 Sony IMX174 相机,采用 CMOS 工

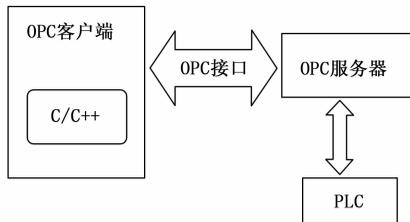


图 2 PLC 控制系统通讯原理图

艺,USB3.0 接口,分辨率为  $1\ 920 \times 1\ 200$ ,最高帧率可达 163 fps。在检测区域两侧上方分别安装一个长为 500 mm 的 LED 灯,用于给检测区域提供稳定的光源。

由于传送带宽度为 500 mm,为使得相机的拍摄效果最佳,采用两个相机同时拍摄,每个相机负责对应的区域。为了提高检测的准确性,两相机拍摄部分要有重合区域,至于重合区域的面积大小可由具体情况而定,本系统的检测部分重合区域为 50 mm,而每个相机的拍摄长度调节为 275 mm,这样就可以刚好拍摄完整个传送带的宽度。系统实物如图 3 所示。



图 3 分选系统实物图

## 3 图像处理算法

本系统图像处理算法的对象主要是偏红色的烧结块,将相机采集的图像经过滤波、二值化、边缘检测等相应算法,识别出需要喷走的烧结块,求取其像素质心,获取烧结块的位置信息。

### 3.1 图像预处理

为提高信噪比及算法效率,首先要对获取的图像进行预处理以去除噪声干扰、增强图像等。在烧结块散落在传送带上的过程中,多少会有一些粉尘掉落,这些细小的颗粒,在图像中表现为无关的噪声点,对图像精准分割形成干扰。通过中值滤波对图像进行平滑处理,可以使周围的像素值更接近真实值,从而消除孤立的噪声点并可保护信号边缘。

### 3.2 基于 HSV 的阈值分割

本系统图像处理采用了比较直观的 HSV 颜色空间模型,HSV 颜色空间中的 H、S、V 分别表示色调、饱和度和亮度。其中色调和饱和度包含了图像的彩色信息,改变色调 H 值的范围会影响图像的整体颜色偏于某一色区,改变饱和度 S 值的范围会决定颜色的深艳或浅淡,亮度则和

物体的透射或反射比相关, 比较受光照的影响, 不易调控, 在此我们对 V 值保留, 因此我们主要提取色调和饱和度这两个分量作为颜色特征<sup>[9]</sup>。

当将 RGB 图像取值归一化到  $[0, 1]$  时, HSV 颜色空间中的 H、S、V 分量与 RGB 之间的关系如下:

$$H = \arccos \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]/2}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\} / 360 \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (3)$$

在 HSV 颜色空间中, 每种颜色会对应一定的色区, 可以调节 H 和 S 的取值范围, 保留目标颜色, 将非目标物和噪声融于背景。

由于建筑垃圾材料的颜色特征信息明显, 易于根据样本的颜色信息确定 H 取值应该在红色区域附近, 先确定 H 的合适范围, 再确定 S 的阈值区间来实现图像的分割。通过多次试验统计可得出最终理想的 H 取值范围为  $0 \sim 0.08$ , S 的取值范围为  $0.35 \sim 1$ , 如图 4 (b) 所示, 通过这两个阈值可以很好地保留烧结块所在的区域, 而混凝土所在的区域基本上被消融掉, 稍作处理即可融入背景当中, 从而达到对烧结块和混凝土进行颜色识别与分类的目的。

### 3.3 后续处理

#### 3.3.1 图像二值化与去除小面积区域

对图像二值化, 即用黑色 (像素数值设为 0) 表示背景, 白色 (像素数值设为 255) 表示前景感兴趣区域, 可以大大减少计算量, 方便后续图像处理。

图像经过颜色阈值分割后, 会存在一定数量的小面积区域, 这些区域主要集中在原混凝土块所在的位置, 因为不排除混凝土上存在小部分区域颜色特征与烧结块颜色特征相似, 阈值后会变成较小的斑点。为了去除图像中的小面积区域, 可以对图像依次行扫描标记和统计各个白色区域中的像素个数并设定合适阈值  $T$ , 对小于阈值  $T$  的区域进行 0 填充, 大于阈值  $T$  的区域则保留, 结果如图 4 (c) 所示。

#### 3.3.2 凸包拟合

对于一个区域 A 的凸包可以想象成一个多边形大小刚好能够将区域 A 包裹住, 即对 A 中所有的点  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  当任取两点  $a_1, a_2$ , 由它们构成的整个线段  $a_1a_2$  必须在凸包内。由凸包的定义可知, 图像中的每一个目标区域内部点不会对凸包形成产生影响, 区域的凸包大小和位置主要由区域边缘上的点集决定, 所以我们只需对每个目标区域提取边缘点集, 再进行凸包计算。实际上采用凸包算法可以很好地对多边形进区域行拟合, 填补凹口, 图 4 (d) 为采用凸包拟合方法生成的目标石块的轮廓, 与图 4 (c) 凸包前的图像对比, 凸包拟合可以有效地填补目标区域内的黑洞, 使得区域轮廓更完整光滑。

#### 3.3.3 canny 边缘检测

图像中边缘可以很好的来界定感兴趣区域的结构轮廓, 其主要存在于前景和背景的交界地方。在边界附近图像的像素值变化明显, 是高频信号, 很容易受到白噪声的影响而误判, canny 算法<sup>[10-11]</sup>能精准定位边缘同时还能抑制白噪声。首先对图像进高斯滤波, 令  $F(x, y)$  为原始图像函数,  $G(x, y)$  为高斯函数, 其表达式为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x+y)}{\sigma^2}}$$

用  $G(x, y)$  与  $F(x, y)$  卷积对原图模糊平滑得到  $f(x, y)$ :

$$f(x, y) = G(x, y) * F(x, y)$$

求取边缘的梯度幅值和方向:

$$M(x, y) = (\sqrt{g_x^2 + g_y^2}), \alpha(x, y) = \arctan \left[ \frac{g_x}{g_y} \right]$$

其中:  $g_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, g_y = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$ ,  $M(x, y)$  在局部

的最大值即是边缘的位置。可以用非最大值抑制方法来确定当前位置是不是最大值, 即将一个像素点的八邻域划分为  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  和  $135^\circ$  4 个方向, 选择最接近当前梯度方向的那个方向, 最后通过双阈值去掉一些伪边缘点, 完成边缘检测任务。

#### 3.4 质心计算

由于本系统中烧结块是随机分布在传送带上的, 气阀和烧结块的位置至关重要, 理想状态下, 气阀的喷嘴中心应该与烧结块质心在一个垂直面上, 此时烧结块所受的推力最大, 最容易被喷走, 在实际运行中, 并不能保证每个被喷的烧结块处于理想位置, 本文解决的方法是确定烧结块的质心位置, 以质心位置寻找最近的气阀, 图像中的区域质心可以通过计算统计学中在矩特征来获取。

在处理图像时, 可以将图像中的像素坐标可以看做为一个二维的随机变量, 非零的像素值表示目标区域, 则一幅灰度图像可以用二维随机变量的概率密度函数来表示,  $(p+q)$  阶矩则依赖图像尺度、平移等变换。其表达式如:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (4)$$

将公式 (4) 离散化, 便可应用于数字图像处理。比如一幅  $M \times N$  数字灰度图像, 其  $p+q$  阶矩为:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N i^p j^q f(i, j)$$

其中:  $(i, j)$  表示像素坐标,  $f(i, j)$  是图像像素坐标  $(i, j)$  处的灰度值, 区域的质心可由零阶矩和一阶矩来计算获取。

$$\bar{i} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{j} = \frac{m_{01}}{m_{00}}, \text{点坐标 } (\bar{i}, \bar{j}) \text{ 即为几何矩的质心。}$$

如图 4 (e) 所示, 图 4 (f) 为分离后的结果图。

## 4 分选系统的精确控制实现

本系统的程序部分主要是在上位机 VC 上完成的。采用

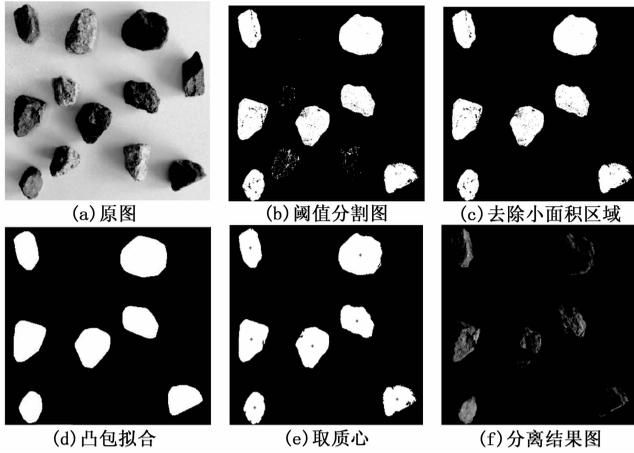


图 4 基于 HSV 的阈值分割算法

多线程技术，主线程主要完成图像的采集与处理，副线程主要完成对 PLC 的控制工作。因烧结砖块和混凝土块的混合物料是随机平铺的，这样每次图像拍摄的目标物料的个数不同，导致图像处理的时间不同。

故本系统图像采集和处理部分采用双线程，并定义一个全局变量，一个线程负责不断采集图像，并每隔一定的帧数发送一个触发事件，在另一个线程里调用一个 Wait-ForSingleObject 函数，线程在没有检测到触发事件时一直被挂起，当检测到触发事件时就立即处理图像，这样理论上可得到空间上连续而无冗余的序列图像。

#### 4.1 环形队列存取技术

为了提高系统的实时性，本系统采用环形队列<sup>[12-13]</sup>的数据存取方式，环形队列的特点是，不需要进行动态的内存释放和分配，使用固定大小的内存空间反复使用。当控制 PLC 的线程检测到队列中有数据时，以先入先出的方式从队列中取出数据并进行分析处理后，控制对应的气阀动作。

#### 4.2 精确定位与定时

PLC 控制线程可以从环形队列以出队的方式取出目标物料的质心坐标 (X, Y, T1)，利用 X 值可以得到目标物料延迟的时间，利用 Y 值经过计算可得到与气阀相对应的位置，T1 值为相机拍摄时的绝对时间。

##### 4.2.1 精确定位

本系统使用的传送带宽度为 500 mm，采用 25 路气阀实现控制功能，故每个气阀相距 20 mm。通过对坐标值 Y 的计算可以得到与气阀相对应的位置，便可以实现精确定位的目的。系统的定位示意图如图 5 所示。

##### 4.2.2 精确定时

本系统通过调用相关函数得到相机的拍摄时间，由于每次采集图像的时间都是绝对时间，即使有时存在系统误差，也不会造成系统误差累加。系统的定时示意图如图 6 所示。

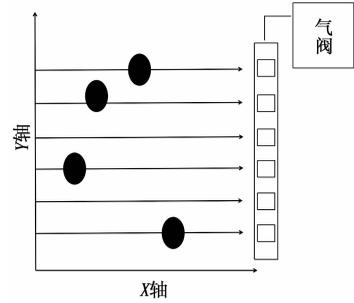


图 5 系统的定位示意图



图 6 系统的定时示意图

$$T2 = T1 + \Delta T \tag{5}$$

$$\Delta T = \frac{S - X}{V} \tag{6}$$

利用公式 (5) 和 (6) 可以得到系统精确定时的目的，式中 T2 为工控机系统的当前时间，T1 为相机的拍摄时间，ΔT 为目标砖块到气阀的延迟时间，S 为坐标系原点到气阀的距离，X 为目标烧结砖块的质心横坐标，V 为传送带运行时的速度。当工控机系统的当前时间 T2 等于相机的拍摄时间 T1 与目标砖块到气阀的延迟时间 ΔT 之和时，对应的气阀被打开，使目标砖块落入到相应的回收箱里。

## 5 实验结果分析

为了得到分选系统对目标砖块的识别率和分选率，选取目标砖块和混凝土块各 300 个作为试验样品，则不同带速下分选结果如表 1 所示。其中识别数为分选系统识别出的目标砖块的数量；喷离数为分选系统从两者的混合物料中分离出目标砖块的数量。

表 1 不同带速下的分选结果

实验序列	传送带速度/(m/s)					
	0.80		1.00		1.20	
	识别数	喷离数	识别数	喷离数	识别数	喷离数
1	294	281	293	280	279	261
2	289	276	291	271	276	247
3	293	284	287	277	281	253
均值	292	280.3	290.3	276	278.7	253.7
	识别率: 97.3%	分选率: 93.4%	识别率: 96.8%	分选率: 91.7%	识别率: 92.9%	分选率: 84.6%

实验结果表明，传送带的速度会影响分选系统的对目标砖块的识别率和分选率。带速过大时，考虑到图像采集

和处理需要时间以及高压气流作用在目标砖块的时间过短等都会降低分选系统对目标砖块的识别和分选, 故带速不宜过大。通过对比发现, 在带速分别为 0.80 m/s 和 1.00 m/s 时, 带速对分选结果的影响不大, 且系统的识别率和分选率都较高, 故本系统把传送带速度固定为 1.00 m/s, 测得系统的识别率为 96.8%, 分选率为 91.7%。

## 6 结束语

本系统通过改进检测方法并优化控制算法, 实现一种优化的用于区分烧结砖块和混凝土块的在线检测技术。实验结果表明, 当传送带速度为 1.00 m/s 时, 分拣系统的识别率为 96.8%, 分选率为 91.7%。本系统提出的基于机器视觉求取目标物质心的方法, 实时性好、分选率高且简单实用; 同时, 烧结砖块和混凝土块高效分离回收后的经济价值将得到极大的提高, 有助于解决我国城市固体建筑垃圾围城的环境难题。

### 参考文献:

- [1] 肖绪文, 冯大阔, 田 伟. 我国建筑垃圾回收利用现状及建议 [J]. 施工技术, 2015, 44 (10): 6-8.
- [2] 刘 昕, 张 雄, 李雯霞, 等. 国内外再生粗骨料研究新进展 [J]. 建筑技术, 2010, 41 (1): 63-66.

- [3] 郑志军, 张乐年, 李世平, 等. 基于图像处理的烟叶分拣系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006 (4): 467-469.
- [4] 王卫翼, 张秋菊. 基于机器视觉的虫蚀葵花籽识别与分选系统 [J]. 食品与机械, 2014, 30 (2): 109-113.
- [5] 王文君, 宋端坡, 孟凡菲, 等. 基于 RGB 法的回收塑料瓶自动颜色分选系统开发 [J]. 仪表技术与传感器, 2010 (3): 92-94.
- [6] 陈 红, 夏 青, 左 婷, 等. 基于机器视觉的花菇分选技术 [J]. 农业机械学报, 2014, 45 (1): 281-287.
- [7] 西门子 (中国) 有限公司. PG/PC 工业通信第 2 卷-接口 [S]. 北京: 西门子 (中国) 有限公司自动化部, 2016.
- [8] 西门子 (中国) 有限公司. 深入浅出西门子 S7-1200 (第一版) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [9] Carsten S, Markus U, Christian W. 机器视觉算法与应用 [M]. 杨少荣, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [10] Milan S, Vaclav H, Roger B. 图像处理、分析与机器视觉 (第四版) [M]. 兴军亮, 艾海舟译. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [11] Blasco J, Cubero S, Gomez J, et al. Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate arils based on computer vision [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 90 (1): 27-34.
- [12] 孙 鑫. VC++ 深入详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [13] Sartaj S. 数据结构、算法与应用: C++ 语言描述 (第二版) [M]. 王立柱, 刘志红译. 北京: 机械工业出版社, 2015.

(上接第 232 页)

## 4 结束语

针对从任务的角度出发生成双机 ETV 任务序列较困难的问题, 提出一种基于 ETV 载物台货位生成任务链的算法。和文献[7]所述算法相比, 不仅降低了模型的复杂程度, 而且可以方便的计算每个时刻载物台货位的状态和任务序列的执行时间。针对双机 ETV 求解最优序列过程中极易陷入局部最优的问题, 将共享适应度概念应用到了模型的求解。仿真结果表明, 和标准 PSO、混沌优化粒子群算法相比, 改进的共享适应度粒子群算法所得结果更优, 稳定性更好。

### 参考文献:

- [1] 郭春晖. 大型机场货运站 ETV 单机调度优化问题研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- [2] 季 琼. 基于分配法的机场物流货运站双升降式转运车任务调度研究 [J]. 物流技术, 2015, 34 (10): 128-131.
- [3] Sun Y B. Study of location optimization scheduling with multiple storage tasks at container storage area of airport freight station

- [J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 220-223: 132-136.
- [4] 刘 露, 陈 赞, 刘世劫, 等. 一种新型粒子群改进遗传算法 [J]. 信息技术与网络安全, 2017, 36 (23): 17-20.
- [5] 李建美, 高兴宝. 基于自适应变异的混沌粒子群优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (10): 44-49.
- [6] 黄 松, 田 娜, 纪志成, 等. 基于自适应变异概率粒子群优化算法的研究 [J]. 系统仿真学报, 2016, 28 (4): 874-879.
- [7] 邱建东. 大型机场货运站核心物流装备调度优化问题研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
- [8] 谢志强, 张晓欢, 辛 宇, 等. 考虑后续工序的择时综合调度算法 [J]. 自动化学报, 2018, 44 (2): 344-362.
- [9] Khare A, Rangnekar S. A review of particle swarm optimization and its applications in Solar Photovoltaic system [J]. Applied Soft Computing Journal, 2013, 13 (5): 2997-3006.
- [10] Wang G G, Gandomi A H, Yang X S, et al. A novel improved accelerated particle swarm optimization algorithm for global numerical optimization [J]. Engineering Computations, 2014, 31 (7): 1198-1220.