

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2210623

自动化药房多个出药单据的调度优化*

景会成 李嘉琪 王福斌 曾凯
(华北理工大学电气工程学院 唐山 063210)

摘要: 为了提高自动化药房的出药速率,实现多个出药单据药品出库时间最短。以某医院自动化药房出药系统结构为基础,建立多个出药任务单据的时间调度模型。针对此模型设计了改进的混合鲸鱼优化算法(H-WOA)。首先对多个出药单据进行整合分组,融入了遗传算法的交叉、变异,来提高种群探索的多样性;其次引入了免疫克隆算法的抗体与抗体的亲和力判定原理,来帮助构建最佳执行序列;最后结合鲸鱼算法的包围收缩和螺旋更新机制来保证种群最终收敛于最佳鲸鱼位置。实现结果表明,以3个出药单据为例,H-WOA优化算法相比原算法和未含优化算法效率分别提高了6.11%和18.11%。在4个、5个出药单据调度优化上,具有同等的优化效果。证明改进算法具有很好的寻优能力。

关键词: 自动化药房;鲸鱼优化算法;调度模型;遗传算法;免疫克隆算法

中图分类号: N945.12;TP278 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 413.10

Scheduling optimization of multiple delivery documents in automated pharmacy

Jing Huicheng Li Jiaqi Wang Fubin Zeng Kai

(School of Electrical Engineering, North China University of Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: In order to improve the delivery rate of automated pharmacies and realize the shortest delivery time of drugs with multiple delivery documents. Based on the structure of a hospital automated pharmacy delivery system, a time scheduling model of multiple delivery task documents is established. An improved hybrid whale optimization algorithm (H-WOA) is designed for this model. Firstly, multiple drug delivery documents are integrated and grouped, and the crossover and mutation of genetic algorithm are integrated to improve the diversity of population exploration. Secondly, the affinity determination principle of antibody and antibody of immune cloning algorithm is introduced to help construct the best execution sequence. Finally, the encirclement contraction and spiral update mechanism of the whale algorithm are combined to ensure that the population finally converges to the best whale position. The implementation results show that the efficiency of H-WOA optimization algorithm is improved by 6.11% and 18.11% respectively compared with the original algorithm and the algorithm without optimization. It has the same optimization effect on the scheduling optimization of 4 or 5 delivery documents. It is proved that the improved algorithm has good optimization ability.

Keywords: automated pharmacy; whale optimization algorithm; scheduling model; genetic algorithm; immune clonal algorithm

0 引言

自动化药房技术发展至今,研究问题已从药房系统技术的研发转为对自动化药房中的药品实际优化调度问题的研发。目前,国外自动化药房技术日趋发展成熟,始终掌握着核心技术,在药单取药优化调度方面,国内相比国外还是

有一定差距,且国内学者研究数量比较缺少,因此研究出药或进药算法优化调度十分有必要^[1-3]。

在货物仓储优化管理调度方面,Yan等^[4]提出了一种改进的离散帝王竞争算法应用在货品订单出入库调度,融入了遗传算法,以同化或革命的手段来确定帝国与殖民地的关系,来实现对目标函数的探索,但该算法在探索过程中缺乏

收稿日期:2022-07-09

* 基金项目:河北省自然科学基金(E2019209492)项目资助

多样性,收敛精度不够;Xu 等^[5]提出改进的遗传算法应用到仓库系统任务调度,该算法使用改进的交叉变异和精英策略保留机制,虽然有很好的寻优能力,但是容易使种群过早走向趋同,陷入局部最优;姜兴宇等^[6]提出了改进的免疫克隆算法,针对药品仓库出入库进行了时间调度优化,其使用的克隆算子对任务序列复制会使种群过早的趋同,缺乏多样性。同时算法设计非常复杂不适合应用在实际问题;张奇净等^[7]提出蚁群粒子群混合优化算法,应用于智能立式储药发药系统的药品出库路径规划策略,其虽然结合了两种算法的优点,但还是保留了连续扰动系数,不适合药房中药品序列的离散调度;熊军华等^[8]提出了基于混沌粒子群算法对自动化药房路径优化的一种方法,同样该算法虽然具有很好的遍历性,但是具有连续性扰动参数,不适合药房中药品优化调度等等。以上作者代表所研究的优化调度算法都存在着寻优精度不足、收敛速度慢或者不适合实际问题应用。

本文章将从应用在医院当中的具体形式的自动化药房出发,以唐山市某医院中自动化药房为背景,结合医院发展情况和自动化药房模型结构,提出了结合遗传算法、免疫克隆算法和鲸鱼算法混合优化算法(hybrid improved whale optimization algorithm, H-WOA),对所得数学模型进行求解,对某一时间段接收到多个出药单据进行时间调度优化,得到合理的任务执行序列。

1 问题描述及模型建立

1.1 问题描述

文章以唐山市某医院的自动化药房控制系统为例,所研究的自动化药房控制系统模型布局如图 1 所示。分为上药系统、斜槽式储药架、出药系统,其中上药系统和出药系统分别独立运行,且各自含有一个机械臂实现相应动作。图 1 中机械臂①到②的描述是机械臂的抓取存放运动。

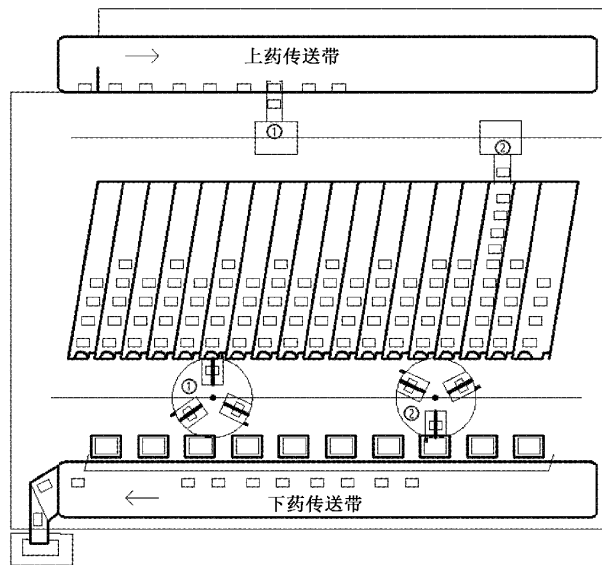


图 1 自动化药房控制系统模型布局

由于上药系统不是研究范围故不赘述。出药系统中含有三个拨药接收盘,分别以 120° 间隔相连在一起,其附着在堆垛机之上,可进行横向、纵向以及旋转运动来到达目标位置。机械臂将从药槽目标位置接收到的三盒药品后放入指定的摇篮中,当用户进行扫码取药时,药篮将药品倾倒入下药传送带上以实现出药动作。

本文研究的自动化药房控制系统多针对于大型的医院中。由于医院中病人看病的流量很大,同一时间段,可能有多个出药单据为病人开取。为了提高自动化药房的出药效率,需要对本药房控制系统某一阶段接收到的多个出药单据,进行时间调度优化设计,得到一个综合的执行序列,使药房出药速率更快。

1.2 数学模型建立

1) 模型假设

为方便研究问题,需要对自动化药房存储药架尺寸、

药槽尺寸、药篮的尺寸和堆垛机的运行参数作如下设定:

(1) 存储药架预设设有 33 列、13 层,共 429 个药槽,各药槽的尺寸长度为 $a = 15 \text{ cm}$,高度为 $b = 10 \text{ cm}$ 。设药架中第 m 列、第 l 层药槽的坐标为 (x, y) ,定义默认的出药机械臂坐标位置为 $(0, 1)$ 。

(2) 药篮的数量预设定为 10 个,其中前 5 个药篮每个对应一个出药单据作为提前临时存放,后 5 个药篮用于灵活出药使用。尺寸大小设定为长 35 cm、宽 30 cm、高 10 cm,将其摇篮固定坐标 IO 。设定为 $(0, 1)$ 、 $(0, 3)$ 、 $(0, 5)$ 、 $(0, 7)$ 、 $(0, 9)$ 、 $(0, 11)$ 、 $(0, 13)$ 、 $(0, 15)$ 、 $(0, 17)$ 、 $(0, 19)$ 。

(3) 堆垛机上机械臂对任一药槽伸缩抓取运行时间固定,将其定义为 $\tau_{grab} = 3 \text{ s}$,机械臂旋转运行时间固定,将其定义为 $\tau_{rotate} = 3 \text{ s}$,不随药品种类不同而发生变化,不随药槽在拣选路径中的拣选顺序不同而发生变化。设堆垛机水平方向运行速度为 $v_x = 15 \text{ cm/s}$,垂直方向运行速

度为 $v_x = 15 \text{ cm/s}$, 2个方向的运动是独立的, 运行速度恒定, 忽略堆垛机启动时间和制动时间。

(4)出药系统含有3个机械臂,其在作业过程中,每次只能装载1盒药品,每趟可装载3盒药品,其以旋转的方式进行切换,旋转度数定义为 120° 。固定药架的每个药槽尺寸相同且药架中每个药槽只存放1种药品。

通过以上基本假设可知机械臂从药架位置 (x_1, y_1) 运行至药篮位置 (x_2, y_2) 所需要的时间:

$$t = \max\left(\frac{|x_1 - x_2| \cdot a}{v_x}, \frac{|y_1 - y_2| \cdot b}{v_z}\right) \quad (1)$$

2) 自动化出药系统机械臂调度数学模型

本文所建立的机械臂调度模型是针对提供多个出药任务单据进行调度安排,对其进行合理排序。机械臂在取药作业中存在两种作业方式:单一作业(SC)作业方式和复合作业(DC)作业方式^[9-10]。当机械臂仅进行单个出药单据作业任务时的操作为SC作业方式,当机械臂进行多个出药单据作业任务时,该出药操作为DC作业方式。不论哪种方式都需要对其运行路径进行规划。由于单一作业方式为复合作业方式的一种特殊情况,故目标函数设定为一种。

对于DC作业方式,以同时接收到3个出药单据为例,说明堆垛机上机械臂每进行一趟完整的取药操作,即存取3个目标点所用时间为:

$$T_{DC} = T_{IO_{ei}P_{3j-2}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate} + X_{3j-1} \cdot (T_{P_{3j-2}P_{3j-1}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate}) + X_{3j} \cdot (T_{P_{3j-1}P_{3j}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate}) + T_{P_{3j}IO_{ee}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate} + \tau_{trans} \quad (2)$$

$$\tau_{trans} = X_{3j-1} \cdot (Te_1e_2 + \tau_{grab} + \tau_{rotate}) + X_{3j} \cdot (Te_2e_3 + \tau_{grab} + \tau_{rotate}) \quad (3)$$

在反馈回的一串执行序列中,每3个序列号为一组DC任务,其中, $T_{IO_{ei}P_{3j-2}}$ 表示执行第 j 个DC作业任务时的第1个目标坐标,表示为 $3j-2$,机械臂由当前药篮位置 IO_{ei} 运动至取药药槽坐标 P_{3j-2} 位置的时间; $T_{P_{3j-2}P_{3j-1}}$ 表示药槽 P_{3j-2} 到药槽 P_{3j-1} 的时间,执行的是第2个目标坐标,表示为 $3j-1$; $T_{P_{3j-1}P_{3j}}$ 表示药槽 P_{3j-1} 到药槽 P_{3j} 的时间,执行的是第3个目标坐标,表示为 $3j$; $T_{P_{3j}IO_{ee}}$ 表示取药药槽坐标 P_{3j} 位置到要送达的第1个目标药篮 IO_{ee} 机械臂的运行时间; τ_{grab} 是机械臂进行一次取或放的时间, τ_{rotate} 是机械臂进行一次旋转的时间; τ_{trans} 表示机械臂到第2个目标药篮和第3个目标药篮存放的总时间; $X_i (i \in 3j-1, 3j)$ 表示一组DC任务中是否存在下个抓取目标,存在则为1,不存在则为0。

由此,当有 N 个DC作业任务时,机械臂运动总时间为:

$$T = \sum_{j=1}^N [T_{IO_{ei}P_{3j-2}} + T_{P_{3j}IO_{ee}} + X_{3j-1} \cdot (T_{P_{3j-2}P_{3j-1}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate}) + X_{3j} \cdot (T_{P_{3j-1}P_{3j}} + \tau_{grab} + \tau_{rotate})] + 2 \cdot N \cdot \tau_{grab} + 2 \cdot N \cdot \tau_{rotate} + N \cdot \tau_{trans} \quad (4)$$

综上所述,堆垛机完成多个出药单据出药任务,所需要的总时间为式(4),故完成这批出药订单作业,机械臂最优路径模型为:

$$g(T) = \min(T) \quad (5)$$

2 混合鲸鱼优化算法

2.1 鲸鱼优化算法

鲸鱼优化算法(whale optimization algorithm, WOA)的是一种模拟座头鲸围捕猎物的仿生算法,其分为3种运行阶段:随机搜索猎物、包围猎物和泡泡网狩猎。其具有很好的全局探索能力和局部收敛方式,并具有跳出局部最有能力,非常适合探索范围广,易陷入局部的调度任务^[11-13]。

1) 包围猎物与泡泡网狩猎

鲸鱼围捕猎物时,需要以50%的概率来划分收缩包围和螺旋泡泡网狩猎两种执行模式。公式为:

$$\bar{X}(t+1) = \begin{cases} \bar{X}^*(t) - \bar{A} \cdot \bar{D}, & \text{if } p < 0.5 \\ \bar{D}' \cdot \exp(bl) \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X}^*(t), & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

式中: \bar{D} 为当前种群中随机成员与最佳成员之间的浮动距离, t 表示迭代次数;随机概率阈值 $p \in [0, 1]$, \bar{X}^* 表示当前种群最优成员位置, p 是 $0 \sim 1$ 之间的随机数, $\bar{D}' = |\bar{X}^*(t) - \bar{X}(t)|$ 为种群最佳成员和随机成员之间的距离, b 是螺旋形状参数, l 是 $[0, 1]$ 的随机数。

式(6)中调节系数向量 \bar{A} 、 \bar{C} 计算公式如下:

$$\begin{cases} \bar{A} = 2 \times \bar{a} \times \bar{r} - \bar{a} \\ \bar{C} = 2 \times \bar{r}_2 \end{cases} \quad (7)$$

式中:收敛因子 $\bar{a} = 2 - 2 \cdot \frac{t}{t_{max}}$, \bar{a} 从2线性衰减到0, r_1, r_2 是 $[0, 1]$ 中的随机实数。

2) 随机搜索猎物

座头鲸种群在围捕进攻猎物的同时,需要在搜索域中进行全局探索,以此来寻找更加优越的目标猎物。算法中以调节系数向量 $|\bar{A}|$ 值大小来进行选择,当 $|\bar{A}| \geq 1$ 当前鲸鱼在全局空间内进行随机探索,该策略的数学模型表示为:

$$\begin{cases} \bar{D} = |\bar{C} \cdot \bar{X}_{rand} - \bar{X}(t)| \\ \bar{X}(t+1) = \bar{X}_{rand} - \bar{A} \cdot \bar{D} \end{cases} \quad (8)$$

式中: \bar{X}_{rand} 是当前种群内随机鲸鱼成员矢量位置, $\bar{X}(t+1)$ 是第 $t+1$ 次迭代的鲸鱼成员矢量位置。

原鲸鱼优化算法适用于处理连续型对象,而文章所研究的对象是针对不同坐标位置的多个出药单据,求解最小时间序列,其迭代过程不适合以连续的方式进行寻优处理,其属于离散型对象。因此需要对原鲸鱼算法进行改造

处理^[14]。

2.2 改进鲸鱼优化算法的更新公式

文章将舍弃原鲸鱼优化算法的随机搜索机制,改造包围收缩机制,减少算法的连续性处理对目标寻优的扰乱。改进后的鲸鱼优化算法为:

包围猎物机制与泡泡网狩猎

鲸鱼围捕猎物时,仍以 50% 的概率来划分收缩包围和螺旋泡泡网狩猎。在每次的迭代过程中,每条鲸鱼的每个元素坐标位置将以 50% 的概率决定是以包围收缩的方式交换位置来靠拢最佳鲸鱼位置,还是以螺旋收缩震荡方式向最佳鲸鱼位置靠拢,公式设定为:

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) & \text{if } p < 0.5 \\ \text{round}(\text{abs}(\vec{D}) \cdot \exp(bt) \cdot \cos(2\pi t) + \vec{X}^*(t)), & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

由于鲸鱼算法每次迭代后存在多个重复的序列和丢失序列,因此需要对其进行矫正,使其每次迭代后的坐标序列都是唯一的,使其既保留了鲸鱼优化算法的探索机制,又适应目标对象的处理。

对鲸鱼算法迭代后的每条鲸鱼进行矫正处理,步骤如下:

- 1) 首先轮询收集每条鲸鱼矢量丢失的坐标位置;
- 2) 然后轮询判断,对重复的坐标位置进行判断,使所填补的坐标位置以满足左右相邻位置执行适应度值最小的原则,依次赋予丢失的坐标位置,使每次迭代后的坐标序列完整正确无丢失。

2.3 改进的全局探索机制

1) 亲和度判定

结合出药系统机械臂的特点,每次取药过程都可以携带 3 盒药品,因此对每条鲸鱼矢量进行分组,每 3 个元素为一组,本文引入免疫克隆算法的抗体与抗体的亲和度判定^[15-16],设定每组中的元素为抗体,建立亲和度公式如下:

$$D = \frac{1}{1 + T_{DC}} \quad (10)$$

在每次迭代的过程中,亲和度 D 的大小用于判定每组中抗体与抗体之间的亲密度值,若亲和度越大,则判定该组中元素序列为最佳排列,在今后的迭代过程不可将其分离,除非存在更高的亲和度值。 T_{DC} 表示每组的适应度值。

2) 遗传算法策略

为了提高算法迭代过程全局探索的多样性,寻找最佳执行序列,融入遗传算法的交叉和变异原理^[17-19]。该原理非常适合于解决离散型问题,具有很好的探索多样性和局部最优跳出能力。

(1) 改进的算法将采取三种交叉策略来提高全局探索多样性。

首先,组内与组内随机交叉。以组为单位,每组中随机产生一个代表元素,对各组进行随机杂序排列,每两相邻成对的组进行元素交换。如图 2 所示,对小组杂序排列

后,其第一组 1 组和第二组 9 组中的随机两元素进行交换,通过判断交叉前后新组与旧组的亲和度值大小来决定是否应用本次交叉操作;

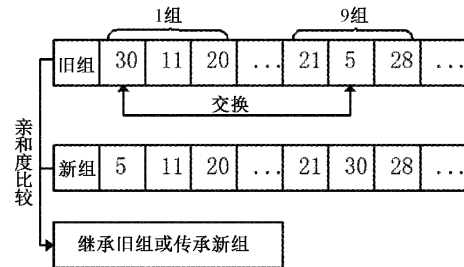


图 2 组内与组内随机交叉

其次,进行组组之间的随即交叉。对小组进行随机排序后,每两相邻成对的组进行交换,如图 3 所示。其第一组 1 组和第二组 3 组中进行交换,同样判断交叉前后新组与旧组的亲和度值变化来决定是否进行更新操作;

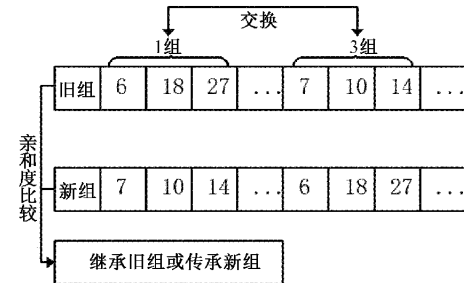


图 3 组与组之间随机交叉

最后,组内进行随机交换排序。如图 4 所示,对每组中的元素进行随机排序操作,例如,旧 5 组排序到新 5 组,通过检测转换前后亲和度值的大小变化来决定本次交换结果。

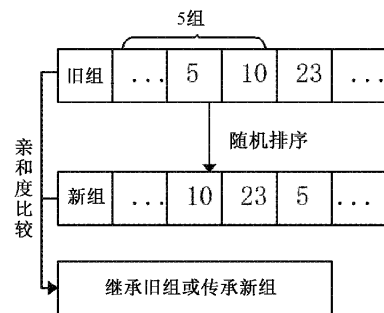


图 4 组内随机元素交叉

(2) 变异原理

以组为单位,对每组中的随机一个元素进行随机坐标位置变异。如图 5 所示,第一组中随机一个元素发生变异,例如,元素 2 数 13 产生随机变异值 11,与 7 组元素 2 对应,两组分别产生变异到新组,判断变异前后新组与旧组之间的亲和度偏差大小变化,来判断本次变异操作是否应用。

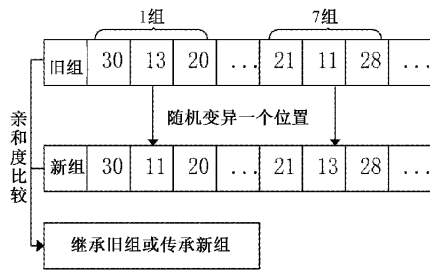


图5 组内随机元素变异

2.4 MAIWOA 算法流程图

1)初始化种群。对鲸鱼算法各参数进行初始化,设种群规模 N 为 30,鲸鱼维数 dim 为 3 个出药单据坐标位置总数,螺旋形状参数 b ,最大迭代次数 t_{max} 为 500 次。

2)收敛靠拢。根据式(9)鲸鱼算法以 50% 的概率进行包围收缩或者螺旋更新。

3)交叉和变异。以式(10)为判定标准,结合交叉、变

异策略对鲸鱼种群进行更新进化。

4)判断是否满足停止条件。若满足输出最佳鲸鱼位置矢量和最佳适应度值,否则返回步骤 2)继续进行。

3 算例实验分析

为了证明模型和算法的有效性,以实际的出药单据进行模拟,在 Windows10 系统 MATLAB2020a 软件运行环境下进行模拟测试。

以自动化药房同一时间段接收到 3 组或 4 组或 5 组出药单据时为例(见表 1、表 2、表 3)。比较在灰狼算法(grey wolf optimization, GWO)、粒子群算法(particle swarm optimization, PSO)、鲸鱼算法、改进的混合鲸鱼算法和不含优化算法(Sequential execution),其算法参数设置如表 4 所示。每个算法独立运行 20 次,计算出平均值、最小值、最大值和标准差统计结果如表 5 所示。多个算法收敛曲线如图 6、7、8 所示。

表 1 自动化药房接收的 3 个出药作业单据任务序列表

药品出库											
单据一		单据二				单据三					
编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标
1	(6,13)	6	(5,1)	11	(5,1)	16	(6,7)	21	(3,3)	26	(21,4)
2	(22,6)	7	(4,11)	12	(4,13)	17	(8,4)	22	(7,9)	27	(33,7)
3	(12,8)	8	(7,10)	13	(2,12)	18	(20,1)	23	(8,1)	28	(37,8)
4	(1,5)	9	(2,5)	14	(1,11)	19	(27,7)	24	(13,3)	29	(21,5)
5	(20,10)	10	(2,1)	15	(5,5)	20	(10,6)	25	(15,6)	30	(28,4)

表 2 自动化药房接收的 4 个出药作业单据任务序列表

药品出库							
单据一		单据二		单据三		单据四	
编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标
1	(6,13)	11	(20,10)	21	(29,9)	31	(7,7)
2	(7,5)	12	(30,20)	22	(26,5)	32	(19,9)
3	(8,8)	13	(7,10)	23	(21,1)	33	(27,13)
4	(7,11)	14	(25,3)	24	(5,5)	34	(26,3)
5	(30,10)	15	(30,1)	25	(16,13)	35	(23,2)
6	(25,2)	16	(7,8)	26	(9,13)	36	(14,13)
7	(33,5)	17	(26,7)	27	(12,4)	37	(17,5)
8	(1,1)	18	(21,8)	28	(5,13)	38	(13,1)
9	(3,9)	19	(8,1)	29	(19,1)	39	(11,11)
10	(31,8)	20	(2,2)	30	(23,2)	40	(5,7)

根据表 5 可知,3 组、4 组和 5 组出药单据在经过 MAIWOA 算法优化后,得到的最佳执行序列,不论是最小值、最大值还是平均值都是最佳的,其拥有较小的标准差,算法结果更加准确。以平均值为评判标准,3 组作业单据优化后的总作业时间为 581.35 s,相比原鲸鱼优化算法处

理后的作业时间 618.95 s 和未优化的顺序执行处理的作业时间 710.67 s,效率分别提高了 6.11% 和 18.21%。4 组作业单据优化后的总作业时间为 885.3 s,相比原鲸鱼优化算法处理后的作业时间 972.7 s 和未优化的顺序执行处理的作业时间 1 100 s,效率分别提高了 8.99% 和 19.52%。

表 3 自动化药房接收的五个出药作业单据任务序列表

药品出库									
单据一		单据二		单据三		单据四		单据五	
编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标	编号	坐标
1	(10,13)	11	(30,3)	21	(6,6)	31	(27,1)	41	(5,7)
2	(16,11)	12	(21,2)	22	(2,1)	32	(25,13)	42	(9,10)
3	(17,1)	13	(1,5)	23	(1,8)	33	(24,1)	43	(33,5)
4	(19,5)	14	(5,1)	24	(7,7)	34	(26,3)	44	(21,5)
5	(27,7)	15	(17,7)	25	(9,13)	35	(21,2)	45	(17,17)
6	(5,6)	16	(14,2)	26	(18,2)	36	(3,3)	46	(29,1)
7	(3,1)	17	(19,9)	27	(14,13)	37	(1,13)	47	(3,4)
8	(8,13)	18	(21,2)	28	(13,3)	38	(5,9)	48	(9,7)
9	(17,1)	19	(24,5)	29	(22,2)	39	(7,13)	49	(10,1)
10	(26,5)	20	(8,8)	30	(21,13)	40	(9,12)	50	(1,13)

表 4 各算法参数设置如下表

算法	迭代次数	种群规模	种群维度	其他参数
灰狼算法	500	30	3 组:30 维	(0,1)随机变量
粒子群算法	500	30	4 组:40 维	最大权重为 0.9,最小权重为 0.2,最大速度为 6
鲸鱼算法	500	30	5 组:50 维	$b=1$
改进的混合鲸鱼算法	500	30		$b=1$

表 5 同一时间段接收多个出药单据算法优化性能对比

出药单据	算法	最小值	最大值	平均值	标准差
3 个出药单据	MAIWOA	580.33	584	581.35	1.34
	WOA	605.67	637	618.95	8.26
	PSO	615.67	639.67	627.33	7.01
	GWO	613.33	647.67	635.75	9.04
	Sequential execution	710.67	710.67	710.67	0
最佳执行序列	7,1,8,10,4,9,12,13,14,28,27,30,3,20,22,23,24,25,5,19,2,11,6,21,18,26,29,17,16,15				
4 个出药单据	MAIWOA	874.67	895.33	885.3	6.52
	WOA	928.33	972.67	972.7	13.12
	PSO	978	1013.33	997.58	7.69
	GWO	974.33	1007.33	951.35	7.59
	Sequential execution	1100	1100	1100	0
最佳执行序列	8,X,X,39,26,28,14,34,22,29,18,11,30,35,23,5,10,7,20,40,24,19,2,3,9,1,4,13,16,31,38,37,32,21,33,12,27,25,36,17,15,6				
5 个出药单据	MAIWOA	1025.33	1050.33	1037.15	8.05
	WOA	1102.33	1158.33	1131.35	17.2
	PSO	1151.33	1198	1176.45	14.33
	GWO	1154.33	1200	1177.35	9.63
	Sequential execution	1214.67	1214.67	1214.67	0
最佳执行序列	39,25,40,49,48,42,31,46,35,12,18,15,29,33,44,4,9,3,1,8,6,20,24,21,28,26,16,38,37,50,32,43,11,19,34,45,30,17,27,14,7,22,36,47,41,2,5,10,X,23,13				

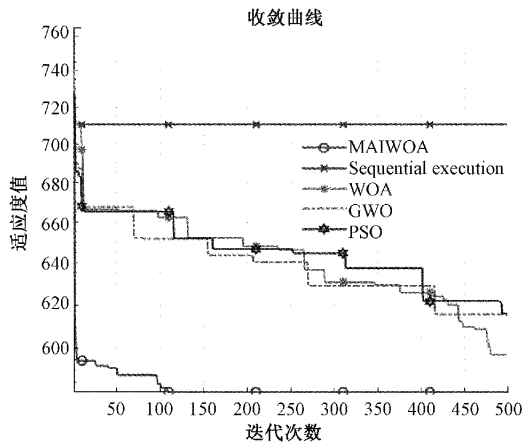


图6 3组出药单据算法收敛曲线对比图

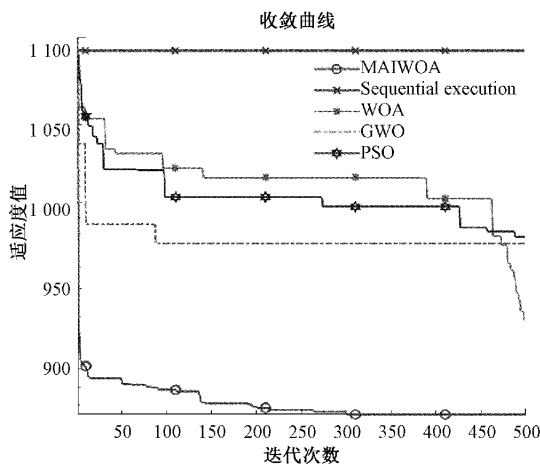


图7 4组出药单据算法收敛曲线对比图

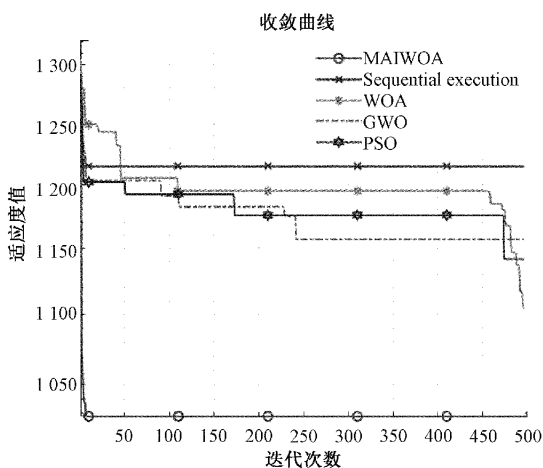


图8 5组出药单据算法收敛曲线对比图

5组作业单据优化后的总作业时间为1037.15s,相比原鲸鱼优化算法处理后的作业时间1131.35s和未优化的顺序执行处理的作业时间1214.67s,效率分别提高了8.33%和14.62%,其中X代表本组为空载坐标。

根据图6、7、8可知,优化的MAIWOA算法在交叉、变

异和鲸鱼算法的包围收缩的作用下,在前期便可快速的收敛的最佳值附近,且收敛精度优于其他算法。观察其他算法的收敛曲线均呈现出缓慢的衰减收敛趋势,收敛精度极不稳定,因此优化的MAIWOA算法更适合应用于该自动化药房的出药系统。

4 结 论

本文章研究了一种针对自动化药房多出药单据速率优化问题。以唐山市某医院的自动化药房模型为背景,对其出药系统构建了数学模型。在此基础上提出了一种改进的混合鲸鱼优化算法,对多个出药单据进行了多次实验模拟,实验结果表明MAIWOA算法相比其他算法收敛速度快、精度高,其计算得到的优化序列极大地缩短了机械臂的执行时间,提高了自动化药房的出药效率,对同类型的设备应用具有鉴戒意义。

参考文献

- [1] 姜灿灿. 中西药智能药房控制系统的研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2020.
- [2] 柴启茗. 自动化药房分拣机械手的研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
- [3] 张岩,李鹏,李建涛,等. 门诊药房自动化对患者取药等候时间的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2014, 34(1): 63-66.
- [4] YAN B, LIU Y P, HUANG Y H. Improved discrete imperialist competition algorithm for order scheduling of automated warehouses[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 168: 108-123.
- [5] XU L Y, LIU C, ZHAN X N, et al. Task scheduling for tier-to-tier four-way shuttle warehousing system [J]. Procedia CIRP, 2021, 104: 1083-1088.
- [6] 姜兴宇,王明皓,刘伟军,等. 药品仓库堆垛机与AGV集成调度优化[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(1): 230-241.
- [7] 张奇净. 智能立式储药发药系统的研发及关键技术的研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2021.
- [8] 熊军华,吴莉莉,沈海莲,等. 求解自动化药房路径优化的混沌粒子群算法[J]. 科技视界, 2015(32): 169,320.
- [9] 蔡安江,薛晓飞,郭师虹,等. 两端式自动化立体仓库布局堆垛机调度[J]. 中国机械工程, 2019, 30(6): 735-741.
- [10] 杨玮,李沁,王晓雅,等. 子母穿梭车式立体仓库复合作业路径优化[J]. 包装工程, 2019, 40(7): 134-141.
- [11] MIRJALILI S, LEWIS A. The whale optimization algorithm [J]. Advances in Engineering Software, 2016, 95: 51-67.
- [12] 龙文,蔡绍洪,焦建军,等. 求解大规模优化问题的改

- 进鲸鱼优化算法[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(11): 2983-2994.
- [13] 孟宪猛,蔡翠翠. 基于精英反向学习和 Lévy 飞行的鲸鱼优化算法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(20): 82-87.
- [14] 王姗姗,张纪会. 穿梭车仓储系统复合作业路径优化[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2021, 18(1): 63-72.
- [15] CHEN D, LI S Q, WANG J F, et al. A multi-objective trajectory planning method based on the improved immune clonal selection algorithm ScienceDirect[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2019, 59: 431-442.
- [16] LI L, LIN Q, LIU S, et al. A novel multi-objective immune algorithm with a decomposition-based clonal selection[J]. Applied Soft Computing, 2019, 81: 105-490.
- [17] 高小林,曹青松,许力. 基于遗传算法的含时滞主动悬架离散系统最优控制[J]. 济南大学学报, 2021, 35(3): 248-252.
- [18] 马玉泉. 基于遗传算法的离散多目标优化问题研究及其应用[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2019.
- [19] XU L L. Research on computer interactive optimization design of power system based on genetic algorithm[J]. Energy Reports, 2021, 7: 1-13.

作者简介

景会成,副教授,硕士生导师,主要研究方向为电子信息,智能控制,新能源应用。

E-mail:li19970310591x@163.com

李嘉琪(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为机器人运动,EtherCAT总线。

E-mail:li19970310591x@163.com