

复杂系统与复杂性科学

Complex Systems and Complexity Science

ISSN 1672-3813, CN 37-1402/N

《复杂系统与复杂性科学》网络首发论文

题目: “货到人”拣选系统订单分批优化
作者: 王姗姗, 张纪会
网络首发日期: 2022-03-14
引用格式: 王姗姗, 张纪会. “货到人”拣选系统订单分批优化[J/OL]. 复杂系统与复杂性科学. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1402.N.20220311.1919.005.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式 (包括网络呈现版式) 排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊 (光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊 (网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊 (网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物 (ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

“货到人”拣选系统订单分批优化

王姗姗 张纪会

(1. 青岛大学复杂性科学研究所, 2. 青岛大学山东省工业控制技术重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要：基于穿梭车仓储系统的“货到人”拣选系统中，料箱的出入库频率是影响作业效率的关键因素之一，当料箱中的货物充足时，同一批订单所需要的某一品项的料箱只需出库一次，尽量将相似程度高的订单分配到一个批次，可以降低料箱的出入库次数。为此，以料箱总出库次数最少为目标函数，建立了订单分批优化模型。针对模型特点，对遗传算法进行了改进，设计了一种混合交叉策略，在精英保留的基础上，以一定的概率对每代的部分精英染色体进行局部搜索，以提高算法的收敛速度和求解精度。利用改进的遗传算法对模型进行求解，仿真结果显示，经过优化后，料箱的总出库次数得到减少，系统的拣选效率得到了提高，验证了所提方法的有效性。



关键词：“货到人”拣选系统；订单分批优化；遗传算法

中图分类号：N945.12; TP278

文献标识码：A

Order Batch Optimization for "Part-to-Picker" Order Picking Systems

Wang Shanshan, Zhang Jihui

(1. Institute of Complexity Science, 2. Shandong Key Laboratory of Industrial Control Technology, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: The frequency of bin entry and exit is one of the key factors affecting the efficiency of the "part-to-picker" picking system based on the shuttle storage system. In case of sufficient goods in the bin, the bins of a certain kind of goods required by the same batch of orders only need to be shipped out once. Try to allocate similar orders to one batch and to reduce the number of bins in and out of the warehouse can improve the picking efficiency of the system. Taking the minimum number of bins out of the warehouse as the objective function, an order batching optimization model is established. According to the characteristics of the model, an improved genetic algorithm is designed. A hybrid crossover strategy is proposed. On the basis of elite retention, partial search is performed on part of the elite chromosomes of each generation with a certain probability to improve the convergence speed and solution accuracy of genetic algorithm. The simulation results show that the total number of outgoing of bins is reduced after optimization, and the picking efficiency of the system is improved and the approach proposed is valid.

Key words: "part-to-picker" picking system; order batching optimization mode; genetic algorithm

0 引言

随着电商行业的快速发展，电商企业的订单总量不断增加，此类订单涉及的品种多、批量小，订单碎片化明显，拆零拣选的需求增加，对电商仓库的订单处理能力提出了更高的要求^[1]。传统的“人到货”拣选系统需要大量的人工劳动，拣选时间长，效率低，越来越不能满足电商企业的要求^[2]。相反地，在“货到人”拣选系统中，拣选工人只需在拣选台进行拣选操作，使用自动化设备代替拣选人员在货架间行走及寻找货位的过程，速度更快，更准确，减少了人工成本，在现代化自动化仓库中的运用日益广泛^[3]。

订单分批就是按照一定的规则将众多订单划分成若干个批次，每个批次的订单一起拣选。对订单进行合理的分批拣选，可以降低拣选成本，提高拣选效率^[2]。目前国内外对拣选系统订单分批问题的研究，主

基金项目：国家自然科学基金（61673228，62072260），山东省自然科学基金（ZR2020MF094），青岛市科技局计划（21-1-2-16-zh）

作者简介：王姗姗（1994-），女，山东临沂人，硕士研究生，主要研究方向为物流系统工程。

通信作者：张纪会（1969-），男，山东潍坊人，博士，教授，主要研究方向为智能优化理论与应用、系统工程。

要集中于“货到人”拣选系统的订单分批问题^[4-8]。随着“货到人”系统的逐渐普及,近几年对“货到人”系统的订单分批问题的研究逐渐增多。文献[9-12]对使用 AGV 小车将货架搬运到拣选台的“货到人”拣选系统进行了研究,文献[9-11]以 AGV 小车搬运次数最少为目标建立模型。文献[9]设计了节约里程算法对模型求解。文献[10]设计了一种改进的变邻域算法对模型进行求解。文献[11]用 Lingo 软件对小规模模型求解。文献[12]以总成本极小化为目标建立模型,设计了贪婪算法对模型进行求解。文献[13]和文献[14]对基于穿梭车仓储系统的“货到人”拣选系统进行了研究,以料箱出入库次数最少为优化目标函数,其中文献[13]考虑了多个拣选台,依次为每个拣选台分配一组订单,定义了订单之间相似数量矩阵,对系统建立了模型,提出了 4 种改进的 k-mean 聚类算法对模型求解,而文献[14]针对单个料箱存放多种品项,考虑商品订购数量和料箱的货物存储量,对系统建立了模型,设计了两阶段启发式算法对模型进行求解。以上研究均表明,对订单进行分批优化,可以有效提高系统的拣选效率。

“货到人”拣选系统形式多样,目前的研究仍然不够全面。对于基于穿梭车仓储系统的“货到人”拣选系统,料箱的出入库频率是影响该系统效率的关键^[15]。当料箱存放的货物充足时,同一批订单所需要的某一品项的料箱只需出库一次,尽量将相似程度高的订单分配到一个批次,可以降低料箱的出入库次数。本文根据订单分批情况和各订单中包含的品项信息,确定每个批次需要的品项个数,即各批次的料箱出库次数,以所有批次的料箱总出库次数最少为目标建立模型,并设计改进的遗传算法对模型进行求解,仿真结果验证了模型和算法的有效性,实现提高系统的拣选效率的目标。

1 “货到人”拣选系统简介

1.1 问题描述

如图 1 所示,该系统由巷道式立体货架、穿梭车、提升机、输送辊道、拣选台等组成。货物放在料箱中,以料箱为拣选单元进行作业,穿梭车和提升机配合完成料箱的出入库作业,输送辊道连接出入库缓存区和拣选台,实现“货到人”的拣货作业模式。在该系统中,每个订单箱对应一个订单,拣选台可以容纳多个订单箱,从而同时处理多个订单。每个拣选台的配置相同,各拣选台独立工作。

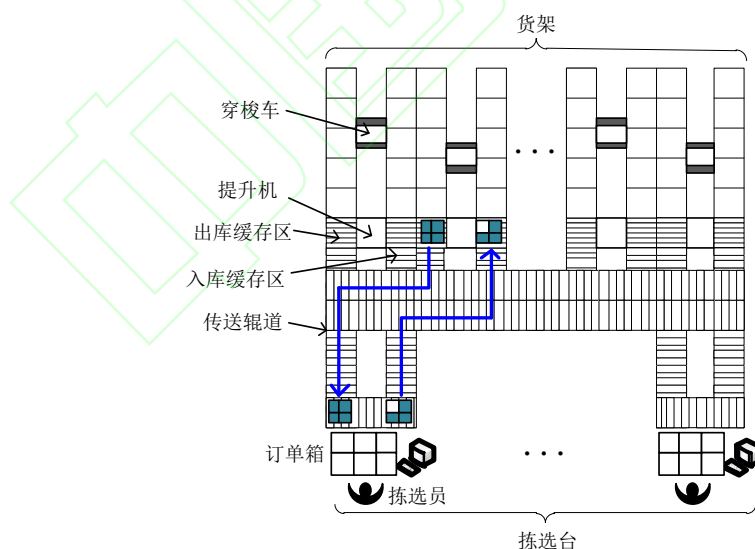


图 1 “货到人”拣选系统布局图

Fig. 1. Schematic layout of a "part-to-picker" picking system

图 2 是订单拣选系统的基本工作流程图。仓库管理系统首先收集一段时间内客户下达的订单,依照拣选台可容纳的订单箱数量(即单个拣选台可同时处理的订单数),将订单分成若干批次。分批后的订单集排队等待分配给空闲的拣选台。拣选员打印当前批次每个订单的清单,放入对应订单箱,方便后续的复核

打包。根据拣选台当前批次的订单信息，系统确定需要出库的料箱货位，生成出库任务单，经由穿梭车和提升机等自动化设备的配合将存放货物的料箱从仓库货架出库送至拣选台。拣选人员依照该批订单需求，将货物拣选到相应的订单箱中，完成拣货后，若料箱仍有余货，则将料箱返回货架，若料箱货物全部拣选完毕，则直接放到料箱回收站。当一批订单全部拣选完成后，该批订单箱运往复核及打包区，为拣选台分配下一批订单，直到订单全部拣选完毕。

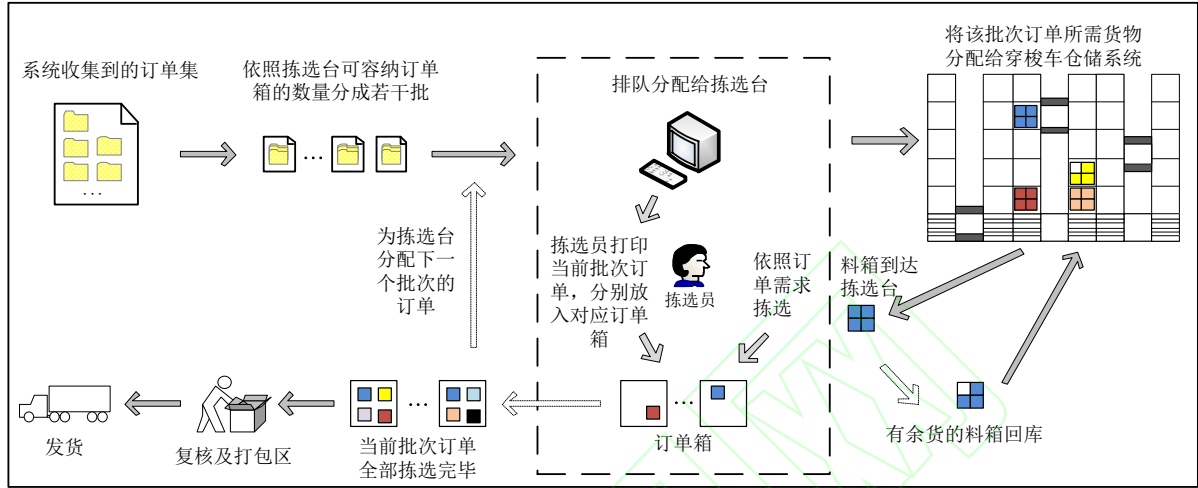


图2 订单拣选流程图

Fig. 2 The order picking process

在“货到人”的拣选系统中，拣选人员只需在系统的指示下简单操作，而穿梭车和提升机等自动化设备任务量大、耗时长，拣选工人空闲较多，不能充分发挥系统作用。在设备配置不变的情况下，减少料箱的出入库次数，可以减少自动化设备的任务量，有效提高拣选效率^[15]。

在订单分批时，同一批订单中，若多个订单包含同一品项的货物，在料箱货物充足的情况下，只出库一次即可满足多个订单的需求。若按照订单下达时间的先后顺序划分订单批次，经常会造成同一品项的料箱频繁出入库，严重影响效率。因此，尽可能地将相似程度大的订单分配到一组，减少料箱的出入库次数，可以提高拣选效率。

1.2 模型假设及相关定义

模型的假设条件如下：

(1) 所有订单的信息已知。假设总订单数可以被单个拣选台容纳的订单箱数量整除，即分批后，每个批次所包含的订单个数相同。

(2) 一个订单中至少包含一个货物，单个订单不可分割。

(3) 一个料箱中只存放一种货物品项，料箱中的货物充足。

模型中的参数及下标符号定义如下：

i 表示订单编号， $i=1,2,\dots,m$ ； m 表示订单总数。

j 表示品项编号， $j=1,2,\dots,n$ ； n 表示货物的总品项个数。

q 表示拣选台容纳的订单箱数量，即每个批次包含的订单数量。

l 表示总批次数， $l=m/q$ ， k 表示批次编号， $k=1,2,\dots,l$ ；

模型中的决策变量定义如下：

定义向量 $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in})$ 为订单与品项关联向量，表示订单 i 与各个品项的关系，其中，

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{订单 } i \text{ 需要拣选品项 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

定义向量 $Y_k=(y_{k1},y_{k2},\dots,y_{ki},\dots,y_{km})$ 为订单与批次关联向量，表示第 k 个批次中分配的订单情况，其中，

$$y_{ki} = \begin{cases} 1, \text{订单} i \text{ 被分配到第} k \text{ 个批次} \\ 0, \text{否则} \end{cases}$$

如果批次 k 需要拣选品项 j ，容纳品项 j 的料箱仅需出库一次即可满足批次 k 中所有订单对品项 j 的需求，根据订单与批次关联向量和订单与品项关联向量，确定各批次是否需要拣选某一品项，表示如下，

$$x_{kj} = \begin{cases} 1, \text{第} k \text{ 个批次需要拣选品项} j \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

1.3 订单分批优化模型

根据上述假设和符号定义，建立入下订单分批优化模型：

$$\min Z = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n x_{kj} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^l y_{ki} = 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m y_{ki} = q, \quad \forall k \quad (3)$$

$$x_{kj}, y_{ki} \in \{0,1\}, \forall j, k \quad (4)$$

其中，式(1)为目标函数，表示完成所有批次拣选任务所需要的料箱总出库次数最小。每个批次需要拣选的品项数就是该批次的料箱出库次数，各批次料箱出库次数累加即为总的料箱出库次数。约束条件中，式(2)表示一个订单只能分配到一个批次中；式(3)表示每个批次中均包含 q 个订单；式(4)表示决策变量的取值范围。

2 算法设计

2.1 编码

根据上述模型，订单数为 m ，染色体用 $X=(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$ 表示，它是 m 以内整数的一个排列，表示 m 个订单编号的排列。依据拣选台容纳订单箱的数量 q ，将 m 个订单分成了 l 批，即将染色体分成 l 段，每段包含 q 个订单，第 k 段染色体表示第 k 个批次所包含的订单编号。以图 3 为例，编码表示共有 9 个订单，拣选台一次处理 3 个订单，分成了 3 批。



图 3 染色体编码示例

Fig. 3. A chromosome

2.2 适应度函数

适应度函数由料箱总出库次数的多少决定，为了更好地区分将染色体，定义适应度函数如下：

$$fitness = \frac{1}{Z_{self} - Z_{best} + \eta} \quad (5)$$

式中， Z_{self} 表示由染色体自身对应的分批方式决定的料箱总出库次数， Z_{best} 表示到目前为止找到的最优染色体对应的分批方式决定的料箱总出库次数。 η 取一个较小的正数，其作用是保证适应度函数分母不为0。

2.3 遗传操作

2.3.1 选择算子

采用轮盘赌原则进行选择，染色体的适应度越大，则被选择的概率越大。采用精英保留策略，每代进行交叉、变异产生90%的子代，保留10%的优秀父代，使适应度最好的个体直接保留到下一代群体。

2.3.2 交叉算子

定义了两种交叉规则，在每对染色体进行交叉时，以相等的概率，确定选择交叉策略A或者交叉策略B。

1) 交叉策略A：由编码的含义可知，染色体被分成了 l 个基因段，每个基因段表示相应批次所包含的订单。考虑到充分交叉两个父代染色体中各批次的订单，随机生成 $1-q$ 之间的一个整数 a ，固定父代1中分配到各批次的第 a 个基因，并找到父代2中相同基因的位置进行固定。将父代1中未固定的基因与父代2中未固定的基因依次形成映射关系进行交叉，最终得到两个子代（如图4所示）。

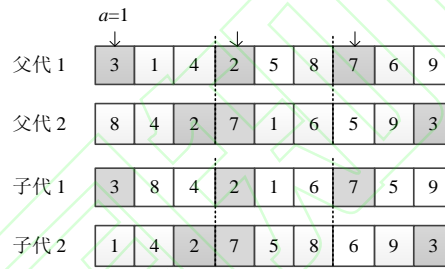


图4 交叉策略A

Fig. 4. Crossover strategy A

2) 交叉策略B：对于一对父代染色体，随机选中两个位置点 P_1 和 P_2 ($P_1 < P_2$)，父代1的前(P_1-1)个基因记为 S_1 ， P_2 (不含 P_2)之后的基因记为 S_2 ，将父代2中的与 S_1 和 S_2 重复的基因删除，余下基因构成 S_3 。 S_1 ， S_3 ， S_2 组合在一起得到子代1。同理将父代2中的父代1的前(P_1-1)个基因记为 S_4 ， P_2 之后的基因记为 S_5 ，将父代1中与 S_4 和 S_5 重复的基因删除，余下基因构成 S_6 。 S_4 ， S_6 ， S_5 组合在一起得到子代2（如图5所示）。

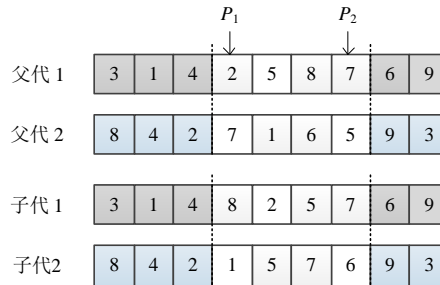


图5 交叉策略B

Fig.5. Crossover strategy B

2.3.3 变异算子

采用交换变异，如图 6 所示，在染色体中随机选择两个位置，将这两个位置上的基因互换。

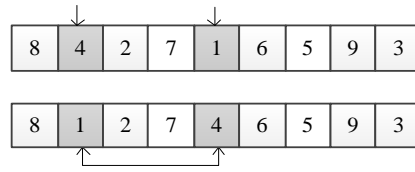


图 6 交换变异

Fig.6. Exchange-based mutation

2.3.4 局部搜索策略

为了进一步提高算法的求解精度，对每代最优的部分个体，以局部搜索概率 p_l 进行局部搜索。局部搜索方法如下（如图 7 所示）：

随机选择两个基因段，对两个基因段上的基因进行多组交换，若得到更优的染色体，则替换原染色体。

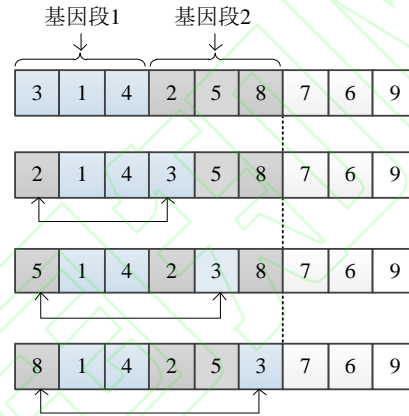


图 7 局部搜索

Fig.7. Local search

2.4 算法步骤

1. 随机产生 N 个初始个体构成初始群体 $P(0)$ ，令迭代次数 $t=0$ ；
2. 计算适应度值，取群体 $P(t)$ 适应度值最优的前 10% 的个体构成精英群体 $R(t)$ ；
3. 以轮盘赌方式，从群体 $P(t)$ 中选出 90% 的个体，以交叉概率 p_c 两两进行交叉操作，产生的子代构成群体 $S(t)$ ；
4. 群体 $S(t)$ 中的个体以变异概率 p_m 进行交换变异，得到群体 $S'(t)$ ；
5. 对精英群体 $R(t)$ 中的前 50% 最优的个体以局部搜索概率 p_l 进行局部搜索，得到群体 $R'(t)$ ；
6. $S'(t)$ 和 $R'(t)$ 组成下一代群体 $P(t+1)$ ，令迭代次数 $t=t+1$ ，判断是否达到最大迭代次数，若是，输出全局最优解；否则，转至步骤 2。

3 仿真结果及分析

通过 Matlab 对模型及算法编程仿真，为了保证实验的有效性和全面性，随机生成多组不同规模的订单数据。在下述实验中，遗传算法的相关参数设置如下：种群大小设为 200，交叉概率 $p_c=0.9$ ，变异概率 $p_m=0.2$ ，局部搜索概率 $p_l=0.5$ ，最大迭代次数设为 1000 次。参数 $\eta=1$ 。

3.1 顺序拣选与分批优化拣选仿真结果对比

使用本文算法对不同规模的订单数据，以每批订单数 q 分别为 1,3,6 来进行仿真优化。表 1 是实验中

数据 1-6 分别进行顺序拣选和订单分批优化拣选的仿真结果对比。

表 1 顺序拣选和订单分批优化拣选结果对比

Tab. 1. Comparison of sequential picking and order batch optimization

| 数据 | 规模 | 单个拣选台同时可处理的订单数 (q) | 顺序拣选总出库次数 | 优化后拣选总出库次数 | 减少的总出库次数 | 出库次数减少率 |
|----|------------------|------------------------|-----------|------------|----------|---------|
| 1 | $m=30$ $n=15$ | 1 | 222 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 166 | 120 | 46 | 27.7% |
| | | 6 | 98 | 75 | 23 | 23.5% |
| 2 | $m=30$ $n=30$ | 1 | 300 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 241 | 172 | 69 | 28.6% |
| | | 6 | 146 | 114 | 32 | 21.9% |
| 3 | $m=60$ $n=20$ | 1 | 601 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 363 | 279 | 84 | 17.7% |
| | | 6 | 198 | 163 | 35 | 16% |
| 4 | $m=60$ $n=40$ | 1 | 772 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 556 | 432 | 124 | 22.3% |
| | | 6 | 356 | 293 | 63 | 17.7% |
| 5 | $m=90$ $n=40$ | 1 | 1161 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 892 | 547 | 148 | 21.3% |
| | | 6 | 490 | 378 | 112 | 22.9% |
| 6 | $m=90$ $n=50$ | 1 | 1113 | \ | \ | \ |
| | | 3 | 869 | 699 | 170 | 19.6% |
| | | 6 | 613 | 492 | 121 | 19.7% |

$q=1$ 时, 拣选台一次只处理一个订单, 无法分批优化, 随着同时处理的订单数 q 增加, 总出库次数得到很大程度减少。理论上同时处理的订单越多, 减少出库次数的概率越大, 但拣选台的面积有限, 拣选台可容纳的订单箱数量一般不会超过 10 个。

在拣选台的规格相同的情况下, 对订单进行分批优化, 可以进一步减少总出库次数, 提高效率。 $q=3$ 时, 数据 1-6 的料箱总出库次数减少率在 19.6%-28.6% 之间; $q=6$ 时, 数据 1-6 的料箱总出库次数减少率在 17.7%-23.3% 之间。优化效率不同是由于不同数据中订单包含的品项及订单间的耦合程度不同, 在实际的订单中, 消费者常会一起购买相关联的产品, 订单与订单之间的相似程度大, 优化的效率会更高。

3.2 算法优化结果对比

以拣选台可同时处理 3 个订单时, 数据 4 的仿真结果为例, 说明算法的有效性。

为了比较交叉策略 A、交叉策略 B 及混合交叉策略三种交叉方法的优劣, 在标准遗传算法中, 使用同样的选择和变异方法, 进行多次仿真, 结果如图 8 所示, 可以看出, 混合交叉策略的收敛速度及收敛精度优于单独使用两种策略。

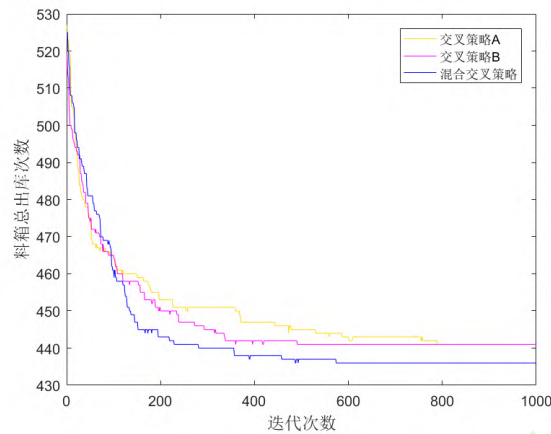


图 8 不同交叉策略的收敛曲线对比图

Fig.8. Comparison of convergence of different crossover strategies

本文在精英保留遗传算法的基础上，对部分精英染色体进行局部搜索，为了验证这部分的效果，分别使用标准遗传算法、精英保留遗传算法及本文遗传算法进行优化，三种算法均采用混合交叉策略，相关参数设置均相同。每个算法运行 20 次，计算出平均值、最小值、最大值、标准差及算法的平均运行时间，统计结果如表 2 所示。结果表明：本文的遗传算法的求解精度和稳定性更优，但是算法的运行时间略高。图 9 为三种算法的最优收敛曲线对，可以看出本文遗传算法的收敛速度最快，在 200 代左右就达到稳定，而标准遗传算法和精英保留遗传算法在 600 代左右才能达到稳定。综上，虽然加入局部搜索的步骤会增加少量的运行时间，但算法的收敛速度变快，求解的精度也得到了提高。

表 2 三种遗传算法对订单数据 4 的优化结果对比

Tab. 2. Comparison of optimization results of three genetic algorithms on order data 4

| 算法 | 最优值 | 最差值 | 平均值 | 方差 | 平均运行时间 |
|----------|-----|-----|--------|-------|--------|
| 标准遗传算法 | 436 | 456 | 445.8 | 5.074 | 35.8 s |
| 精英保留遗传算法 | 433 | 456 | 445.45 | 5.256 | 34.6 s |
| 本文遗传算法 | 432 | 452 | 442.7 | 4.889 | 37.9 s |

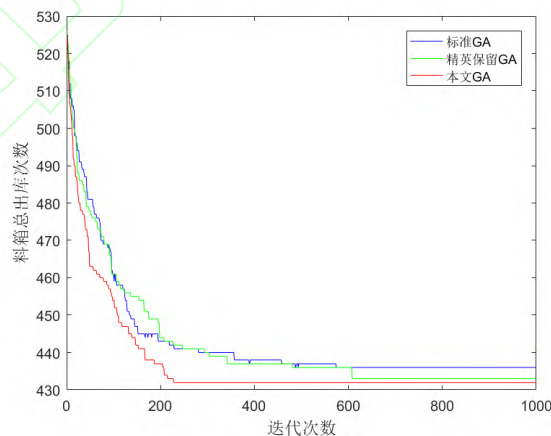


图 9 三种遗传算法的收敛曲线对比图

Fig.9. Convergence comparison of three genetic algorithms

4 结论

研究了一种基于穿梭车仓储系统的“货到人”拣选系统的订单分批问题。分析了该系统的作业流程，

以完成所有订单的料箱总出库次数最小为目标,建立了订单分批模型,设计了改进的遗传算法对模型求解,通过仿真结果,验证了本文算法具有更好的效果。经过优化,减少了料箱的总出库次数,进而提高了系统的拣选效率。

本文以料箱的总出库次数来衡量分拣系统的效率,只可得到初步优化结果,下一步应综合考虑订单分批、出入库路径等问题,求出完成所有订单的总时间最短的精确方案。

参考文献:

- [1] 范继东.货到人拣选系统订单分配问题研究[J].物流工程与管理, 2020, 42(1): 75-79.
Fan Jidong. Research on Order Assignment of Goods-to-person Order Picking System[J]. Logistics Engineering and Management, 2020, 42(1): 75-79.
- [2] 张彩霞,吴永前.“货到人”模式下的电商订单拣选优化研究[J].经营与管理, 2015(9): 124-127.
Zhang Caixia, Wu Yongqian. Research on the Optimization of E-commerce Order Picking under the Mode of "Goods to Person" [J]. Management and Administration, 2015(9): 124-127.
- [3] 朱友琼,唐思.基于改进 K-Means 聚类电商物流仓储拣选优化策略[J].物流工程与管理, 2019, 41(7): 77-79.
Zhu Youqiong, Tang Si. Optimization Strategy for Warehousing and Picking of E-commerce Logistics Based on Improved K-Means Clustering[J]. Logistics Engineering and Management, 2019, 41(7): 77-79.
- [4] 于洪鹏,秦磊,刘向峰.基于遗传算法的订单分批分拣的应用研究[J].物流技术, 2009, 28(8): 84-85,100.
Yu Hongpeng, Qin Lei, Liu Xiangfeng. Research of Order Batching Based on Genetic Algorithm [J]. Logistics Technology, 2009, 28(8): 84-85,100.
- [5] Chen T L, Cheng C Y, Chen Y Y, et al. An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 159: 158-167.
- [6] Koch S, Wäcker G. A grouping genetic algorithm for the order batching problem in distribution warehouses[J]. Journal of Business Economics, 2016, 86(1-2): 131-153.
- [7] 魏庆琦,陈金迪.考虑完全拆分的拣选分批与拣选路径集成优化模型[J].数学的实践与认识, 2020, 50(6):16-25.
Wei Qingqi, Chen Jindi. Integrated optimization model of picking batch and picking path considering complete separation[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2020, 50(6): 16-25.
- [8] Valle C A, Beasley J E. Order batching using an approximation for the distance travelled by pickers[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 284(2): 460-484.
- [9] 张彩霞. 基于“货到人”模式的电商订单拣选优化研究[D].杭州: 浙江理工大学, 2016.
Zhang Caixia. Optimization Research of E-commerce Order-Picking based on Goods-to-Man Mode[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2016.
- [10] Xiang X, Liu C, Miao L. Storage assignment and order batching problem in Kiva mobile fulfillment system[J]. Engineering Optimization, 2018, 50(11): 1941-1962.
- [11] 何其超,黄秀琳,刘波,等.货到人分拣模式下的配送中心订单分批问题研究[J].物流工程与管理, 2020, 42(6): 72-73,59.
He Qichao, Huang Xiulin, Liu Bo, et al. Study on the Problem of Order Picking in Distribution Center Under the Mode of Goods-to-person [J]. Logistics Engineering and Management, 2020, 42(6): 72-73,59.
- [12] 李珍萍,付红叶,卜晓奇,等.基于 AGV 的智能仓库系统订单分批问题研究[J].运筹与管理, 2020, 29(9):1-9.

- Li Zhenping, Fu Hongye, Bu Xiaoqi, et al. Research on Order Batching Problem of intelligent Warehouse System Based on AGV [J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(9): 1-9.
- [13] 胡金昌. 多层穿梭车分拣系统的订单分配优化[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- Hu Jinchang. Order Allocating Optimization for Multi-shuttle Picking System [D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [14] 李珍萍, 韩倩倩. 考虑商品订购数量的“货到人”仓储系统订单分批问题研究[J]. 系统科学与数学, 2020, 40(8): 1456-1472.
- Li Zhenping, Han Qianqian. Study on the Order Batching Problem of “Parts-to-Picker” Warehouse System Considering the Quantity of Items in Orders[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2020, 40(8): 1456-1472.
- [15] 吴颖颖, 孟祥旭, 王艳艳, 等. “货到人”拣选系统订单排序优化[J]. 机械工程学报, 2016, 52(4): 206-212.
- Wu Yingying, Meng Xiangxu, Wang Yanyan, et al. Order Sequence Optimization for “part-to-picker” Order Picking System[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(4): 206-212.

