

基于复合相似度的订单分批优化方法

和欣¹ 毕濯玺¹ 侯东含²

(1. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116000;

2. 大连理工大学 人文与社会科学学部, 辽宁 大连 116000)

摘要: 笔者针对配送中心的订单分批优化问题, 建立以订单总延迟时间最小为目的的订单分批优化模型, 综合考虑了订单的品类相似度、交货期相似度以及配送地相似度, 提出一种订单复合相似度衡量方法, 设计了基于复合相似度的订单分批启发式种子算法。仿真结果表明, 该方法与模型可以有效地缩短订单延迟时间, 提高订单拣选和配送效率。

关键词: 配送中心; 订单分批; 种子算法

中图分类号: TP18; F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9767 (2021) 08-081-03

Batch Optimization Method of Order Based on Compound Similarity

HE Xin¹, BI Zhuoxi¹, HOU Donghan²

(1. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116000, China;

2. Faculty of Humanities and Social Sciences, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116000, China)

Abstract: This paper in view of the distribution center order partial optimization problem, established the total delay time to order the minimum orders for the purpose of partial optimization model, considering the order of appearance similarity, delivery time and flow similarity, similarity of an order composite similarity measure method is proposed, and design the seeds order batching heuristic algorithm based on composite similarity. The simulation results show that the model and method can effectively reduce delay time of orders and improve the customer service.

Keywords: order batching; seed algorithm; distribution center

0 引言

随着国内电子商务的快速发展, 订单配送中心的工作量也不断增大, 订单分批和拣选成为配送中心发展的重要环节。目前, 在国内外订单拣选领域展开的研究主要集中于货位布局、订单分批、订单拣选路径优化以及作业分区等方面。合理的订单分批能够缩短配送中心的拣选及配送作业总时间, 有效提高工作效率。订单分批过程是一种高效方便的方法, 让拣选人员从仓库中通过一次拣选作业取出多个订单货物。在目前的电商经营环境下, 客户订单通常要求在一定的交货期内完成, 客户对于订单的送达时间较为敏感, 缩短订单运送时间可以有效提高用户的满意度。

目前, 对订单分批模型的研究主要围绕缩短订单延迟时间、提高订单拣选效率展开。CHEN 等以订单延误时间最小化为目标建立了订单排序分批和路径优化模型^[1]。王雄志等提出优化目标为配货时间与客户订单延误时间加权时间最小

的分批配货问题, 建立对应的整数规划模型, 并设计了相应的启发式算法^[2]。这些研究没有考虑订单的相似度问题, 随着订单规模不断增大、数据量不断增多, 求解算法的复杂性和时间也会增加^[3-4]。

在以提高效率为目标的订单分批研究中, 一些学者进行了基于订单相似度的分批研究。王旭坪等构建了最大化相似度为目标的订单分批模型, 用改进种子算法构建基于相似度的订单分批模型^[5]。LI 建立了以拣选路径最小化为目标的订单分批模型, 采用通道相似度的启发式算法求解^[6]。现有的种子算法更多地考虑了订单之间的品质相似度, 可以较好地缩短订单拣选作业的时间, 但是难以处理订单总延迟时间的问题, 而且不同流向的订单产品在打包运输前需要进一步进行分流向处理, 会降低工作效率^[7-8]。因此, 有必要将订单的交货期和流向地点作为重要因素进行考虑, 设计新的订单分批算法。

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划支持项目 (项目编号: 2020101410601011333)。

作者简介: 和欣 (1999—), 男, 山西临汾人, 本科在读 (通信作者)。研究方向: 大数据与商务分析。E-mail: duthexin@163.com。

本文以典型的订单配送仓库为研究对象,建立以延迟时间总和最小为目标的订单分批优化模型,综合考虑订单的品类相似性、交货期相似性以及流向相似性,提出一种订单复合相似度量方法,并设计出基于复合相似度的订单分批启发式种子算法。仿真实验证明,该模型和方法能明显地缩短订单延迟时间,提高客户的服务水平。

1 问题描述与模型建立

订单分批拣选问题一般分为订单整理、订单分批以及拣选路径优化环节,本文主要针对订单分批环节的优化进行研究,建立以延迟时间总和最小为目标的订单分批优化模型。

1.1 问题描述与假设

订单分批是按照一定规则将一定数量的订单合并成若干个批次,以便按照批次进行批量拣选,提高工作效率。为了建立订单分批模型,做如下假设:①每个订单只能被分到一个批次中,不可分割;②每个批次的订单货物总体积和质量不能超过上限;③拣选人员的移动和拣选速度保持不变。

1.2 考虑流向和交货期的订单分批模型

模型参数和决策变量定义见表1。

表1 模型参数和决策变量的符号定义

符号	模型参数和决策变量
m	订单总数
n	批次总数
O	订单集, $O=\{O_1, O_2, \dots, O_m\}$
P	订单形成的分批集, $P=\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$
Q	待分批订单集
t_i	订单 O_i 的交货期
f_i	订单 O_i 的流向地
v_i	订单 O_i 的体积
m_i	订单 O_i 的质量
k	订单打包效率参数
x_{ij}	订单 i 是否包含在批次 j 中
V	单批订单的最大容量
M	单批订单的最大质量
T_i	单批订单 P_i 的拣选时间
B_i	单批订单 P_i 的延迟时间

所有的订单从开始拣选到打包运输所需的时间的计算公式:

$$T = \sum_{i=1}^n (B_i + T_i) \quad (1)$$

在传统的在订单分批模型中,订单在分批完成后需要根据订单的流向地址再一次进行分类工作,之后才能打包运往产品目的地。本文在订单分批时就考虑了订单的流向因素,同一批订单之间的流向非常接近,订单拣选完成后可以直接打包进行运输,可以有效减小订单延迟时间,建立以延迟时间总和最小为目标的订单分批优化模型,计算公式如下所示:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N B_i + T_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq V, j=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i x_{ij} \leq M, j=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$B_i = \sum_{j=1}^n k T_i x_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

其中:式(2)为目标优化模型,表示订单分批的目标函数是订单总延迟时间最小;约束条件(3)和约束条件(4)保证任一批次的商品总体积和总质量不能超过额定载质量;约束条件(5)保证一个订单只能从属于一个批次;式(6)为单批订单 P_i 的延迟时间。

2 算法设计

本文考虑拣选时间与订单延迟时间相结合的订单分批和优化算法,现有的启发式种子算法仅考虑了订单之间的品类相似度。这些算法没有考虑订单的交货期和流向,缩短订单延迟时间的效果不大。本文综合考虑订单的交货时效和流向地点,结合传统的订单品类相似度,针对订单拣选环节定义了一种订单复合相似度及其度量方法,制定了一套基于符合相似度的订单分批策略,并在此基础上提出一种新的基于订单复合相似度的启发式种子算法,能够有效缩短订单总延迟时间。

2.1 订单复合相似度

订单相似度是衡量订单各属性间类似程度的数值,包括订单物品种类、物品数量、交货期以及流向地点等信息。通过对订单相似度进行计算分析,将相似度高的订单分为一批并进行拣选,能够减少拣选时间。本文综合考虑订单的交货期、流向地点的相似度,并结合传统的订单品类相似度构建符合相似度并据此进行订单分批,可以有效缩短订单延迟时间,提高配送中心的拣选效率。

订单 O_i 与 O_j 之间的相似度可定义为:

$$S_{ij}^A = \sqrt{S_{ij}^{T^2} + S_{ij}^{D^2} + S_{ij}^{O^2}} \quad (7)$$

式中, S_{ij}^T 表示两个订单 O_i 与 O_j 之间的交货期相似度,计算公式如式(8)所示:

$$S_{ij}^T = k_1(1 - |t_i - t_j|/D), i, j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

式中, t_i 和 t_j 表示两订单的交货期,两订单的交货期越近, $|t_i - t_j|$ 值越小, $D = \max\{|t_i - t_j|\}$, 用于进行归一化处理。

S_{ij}^D 表示两个订单 O_i 与 O_j 之间的流向地点相似度,计算公式如式(9)所示:

$$S_{ij}^D = k_2(1 - |f_i - f_j|/F), i, j=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

其中, f_i 和 f_j 表示两订单的流向地点,两订单的流向地点越近, $|f_i - f_j|$ 值越小, $F = \max\{|f_i - f_j|\}$, 用于进行归一化处理。

S_{ij}^O 表示两个订单 O_i 与 O_j 之间的品类相似度,计算公式如式(10)所示:

$$S_{ij}^O = k_3(1 - |S_i - S_j|/S_j), i, j=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

其中, $S_i=|O_i \cap O_j|$ 代表两订单共有的品类数量, $S_j=|O_i \cup O_j|$ 代表两订单所有的品类数量, O_i 是拣选订单 O_i 包含的品类编号。

在该订单分批模型中, 订单的交货期相似度、流向地点相似度以及品类相似度赋予不同的权重系数并结合起来, 可以有效地对考虑订单延迟时间的订单分批问题进行建模和求解。

2.2 基于复合订单相似度的启发式种子算法

本文构建了基于复合订单相似度的启发式种子算法是对传统算法的改进, 在传统的种子算法的基础上综合考虑订单的交货期相似度和流向地点相似度, 构建订单综合相似度进行分批, 通过计算所有批次的总延迟时间评价拣选作业效率。

由于模型中订单分批的主要目标是最小化订单总延迟时间, 因此交货期较小的订单应当优先进行拣选和发货, 通常选择交货期限最小的订单作为种子订单, 基于复合订单相似度的启发式种子算法流程如下。①初始化, 设定参数。②选择初始种子订单。根据选择种子订单的标准之一, 选择交货期最短的订单 O_i 作为种子订单, 将 O_i 从待分批订单集合中移出。③计算订单复合相似度。根据复合相似度公式在待分批订单集合中逐一计算与种子订单 O_i 的复合相似度 $S_y^A = \sqrt{S_y^{T^2} + S_y^{D^2} + S_y^{D^2}}$, 根据 S_y^A 的大小将订单降序排序, 若多个订单的复合相似度相同, 则按交货期排序。④订单合并。在步骤③的基础上选取与种子订单 O_i 复合相似度最高、交货期最小的若干个订单与种子订单进行合并, 直到该批的订单总质量或体积达到单批订单的最大容积和载重限制, 将种子订单与合成的订单集一并生成拣选批次 P_1 并输出。⑤检查待分批订单集 Q , 当 Q 中无订单数据时, 分批结束, 否则返回步骤②, 直至所有的订单都完成分批。

3 仿真实验与结果分析

为了评估算法的有效性, 在实验中选取基于复合相似度的启发式种子算法和基于品类相似度的传统种子算法进行对比, 主要选取订单拣选时间和总延迟时间作为性能指标。仿真环境设置有 16 排货架和 8 条主要的通道, 仓库拣选货位的长度和宽度都为 1 m, 通道的长度为 10 m, 宽度为 1 m, 每条通道两边各有 16 个货位, 仓库中共有 256 个货位。通过 Python 模拟生成电商配送中心订单集, 订单的产品数量、交货期、货位质量和体积都服从于均匀分布, 流向地点满足在一定地域区块内的随机分布, 拣选路径选择 S 型路径策略, 拣选人员和设备的行走速度为 30 m/min, 拣选设备的最大载质量设置为 150 个单位。

由表 2 可以看出, 基于复合相似度的算法在订单拣选阶段的作业时间略高于基于品类相似度的算法, 这是因为基于品类相似度的分批算法由于不考虑订单的交货期和流向, 进行路径优化的效果略好; 当考虑总延迟时间时, 基于复合相似度的算法的明显效果优于基于品类相似度的分类算法效果, 这是因为基于复合相似度的算法分批完成的订单集流向

和时间都非常接近, 有效简化了订单拣选完成后再进行的分组和打包环节, 可提高订单配送的总体效率。

表 2 基于品类相似度的算法 (T_1) 与基于复合相似度的算法 (T_2) 实验效果对比

		比		
时间分类	数量	T_1	T_2	$(T_1-T_2) \times T_1^{-1}/(\%)$
拣选时间	n=200	34.2	40.5	18.4
	n=300	51.5	62.8	17.9
	n=400	67.5	78.9	16.8
总延迟时间	n=200	358.2	286.5	-20.2
	n=300	644	528.4	-20.4
	n=400	1074.5	851.4	-20.7

当只考虑配送中心的拣选效率时, 可选用基于品类相似度的种子算法分批策略; 如果综合考虑总工作效率, 降低总延迟时间时, 本文提出的基于复合相似度的启发式种子算法可以更好地满足需求, 实现较好的综合优化效果。

4 结 语

本文针对电商配送中心的订单拣选和交付问题, 构建了考虑时效和配送地点的订单分批模型。相较于传统的关注于订单拣选时间, 本文更加关注缩短订单的总延迟时间, 提高总工作效率, 在综合考虑订单品类相似度、配送地点相似度和交货期相似度的基础上, 提出一种订单复合相似度衡量方法和新的分布启发式种子算法, 可以有效缩短订单拣选总延迟时间, 达到提高工作效率的目的。

参考文献

[1]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.

[2]王雄志,王国庆. 订单时间具有约束的分批配货作业优化 [J]. 武汉大学学报 (工学版),2009,42(3):400-404.

[3]肖可,谢勇,王红卫,等. 基于复合相似度的订单分批启发式种子算法 [J]. 系统工程学报,2020,35(6):796-805.

[4]王艳丽. 配送中心拣选作业优化研究 [D]. 长春: 吉林大学,2017:52-55.

[5]王旭坪,张璐,马骏. 考虑完成期限的电子商务在线订单分批模型及算法 [J]. 管理科学,2014,27(6):105-115.

[6]LI J B,HUANG R H,DAI J B.Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailer' s warehouse in China[J].International Journal of Production Research,2017,55(2):447-461.

[7]Menendez B,Bustillo M,Pardo E G,et al.General variable neighborhood search for the order batching and sequencing problem[J].European Journal of Operational Research,2017,263(1):82-93.

[8]Sebastian H.Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses[J].Flexible Services and Manufacturing,2015,27(1):86-114.