

基于遗传算法的订单拣货实时排序问题研究

李艳茹

(西南交通大学, 成都 610031)

摘要: 根据配送中心订单拣货问题的特点,以订单客户的满意度为目标,建立了数学模型,并设计了相应的遗传算法来求解该问题。在算例中,将遗传算法与先到先服务和最早工期优先规则进行了比较,结果表明,遗传算法可以明显优化目标函数值,有助于提高配送中心的拣货效率,提高客户满意度,具有良好的实用性。

关键词: 订单拣货; 批次拣货; 实时; 订单排序; 遗传算法

中图分类号: TB498 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)13-0097-05

Study on Real-time Sequencing Problem of Order Picking Based on Genetic Algorithm

LI Yan-ru

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: According to the characteristics of order picking problem in DC, with customer's satisfaction as the objective, a mathematical model was established and corresponding Genetic Algorithm (GA) was designed to solve this problem. In the example, a comparison was made between GA and the two dispatching rules of First Come First Service (FCFS) and Earliest Due Date (EDD). The result showed that GA can apparently optimize the value of objective function, improve efficiency of order picking and satisfaction of costumer, and has good usability in the order sequencing problem.

Key words: order picking; batch picking; real-time; order sequencing; genetic algorithm

配送中心的基本作业包括“进货—储存—拣货—配货—配送”等,其中拣货作业是一项非常繁重的工作,而拣货的效率和质量不仅影响到配送中心的成本,还影响到订单客户的满意度。据有关资料统计,分拣作业成本约占配送中心总作业成本的60%~80%,分拣时间约占整个配送中心作业时间的40%~60%^[1],尤其是在电子商务环境下,配送时限要求越来越短,若配送中心不能在客户规定的时间内完成任务而使得客户满意度下降,将会给中心带来严重的经济损失和信用危机。可见,提高拣货作业的效率和质量,在降低配送中心成本和提高客户的服务水平方面具有决定性作用。

拣货是指为了满足客户的订货要求,将存放在货架上的货物取出的过程。一般而言,影响拣货效率的因素有很多,包括产品的需求模式、仓库的结构、品项

的存储位置、拣货策略、拣货路径等,通过对这些因素的优化可以使拣货效率得到显著改善。Felix T. S. Chan 和 H. K. Chan^[2]着重从存储分配策略分析和优化订单拣货问题; Ling-Feng Hsieh, Yi-Chen Huang^[3]和李诗珍^[4-8]等人主要从储位分配、仓库布局、存储策略、路径策略、拣货策略等方面进行研究;同时,还通过对拣货模式及其效能分析得出,合理选择拣货方法与拣货模式对提高配送中心的作业效率和服务水平具有决定性的影响;李晓春^[9]主要从仓储作业分区探析了拣货作业的效率问题;熊芳敏^[10]、王宏^[11]等人分别运用蚁群算法和遗传算法优化拣货路径来提高了拣货的效率和水平。笔者重点考虑拣货策略对拣货效率和服务水平的影响。通常把拣货策略分为订单拣货和批次拣货^[12],前者指依客户订单的订购内容,以一张订单为单位进行品项的拣取

收稿日期: 2011-05-09

作者简介: 李艳茹(1987—),女,四川德阳人,西南交通大学硕士生,主攻供应链管理和物流调度。

作业,后者指先将一定数量的订单汇整成一批次订单,再针对该批次订单进行总量拣取,待拣货完成再针对该批次订单所拣取品项,依订购客户类别进行二次分类。由于将订单分批可以有效地减少拣选路程和人力物力的消耗^[13],因此已有众多学者对批次拣货进行了研究。Hsu, Chen, and Chen^[14]提出基于遗传算法的订单分批方法;于洪鹏^[15]考虑行走时间和提前期成本最小,将订单分批后运用遗传算法求其解;万杰^[16]以拣选所有订单的行走距离最短为目标,并基于遗传算法研究了配送中心内订单分批拣选的优化问题。众多研究只是将焦点集中在了订单分批的优势,却忽略了它的不足。订单分批总是要求在某一时间点上有大量待处理的订单,而事实上,订单总是实时提交的,在以客户满意度为目标进行优化时,笔者认为必须重点考虑订单的实时性(在此,实时性是指以一批订单为研究对象,这批订单中的每一个订单的提交时间可以不同,只有当订单提交后才能对该订单进行拣货安排),采取订单拣货策略更能满足客户对订单的时限要求。

综上所述,研究的问题是在考虑订单实时性的前提下,采取订单拣货策略,以合理安排订单拣选顺序为途径,以顾客满意度为目标,运用遗传算法对该问题进行求解,并将结果与 FCFS 和 EDD 规则比较,证明遗传算法在优化订单拣选排序问题上具有可行性。

1 问题描述与建模

1.1 问题描述

客户提交订单,形成工作任务。为满足客户的需要,配送中心必须在有限资源条件下,按时完成配货及送货任务。拣货作业作为配送中心任务最繁重的环节,只要提高拣货作业的效率便可改善整个配送过程的效率,故可通过选择不同的拣货设备和优化订单拣选的顺序来达到这样的目的。以下从资源环境、订单特征和约束及目标函数 3 个方面来描述配送中心的拣货作业。

1) 资源环境。一般而言,为了适应不同的形态货物的配送,满足不同规模订单拣选,要求在同一个配送中心,有多台并行异速的拣货设备可供选择,如人力拣货、半自动化和全自动化设备等,以实现并行拣货作业。

2) 任务特征和约束。订单要求满足以下特征和

约束。由于客户下达订单的时间是实时的,使得订单的提交时间不确定,任意时刻都可能出现订单要及时安排,因此订单安排要实时进行。

3) 订单拣货排序的目标。配送中心直接与下游客户接触,提供保质且快捷送货服务使得客户满意是配送中心经营的关键,客户下单后往往规定了货物到达期限,如果不能在期限之前将货物配送到客户手中,将会带来滞后损失,用 T_{ij} 表示。可用 T_{ij} 来度量客户的满意度, T_{ij} 越小客户越满意,而 T_{ij} 表示为订单拣选的实际完成时间(C_{ij})和预期完成时间(d_j)的差值,即 $T_{ij} = \max(0, C_{ij} - d_j)$ 。同时,订单具有优先级别,这是由订单本身的紧急程度和客户的重要程度决定的。由于不同订单的权重 w_j 不同,总损失可以度量为 $\sum w_j T_{ij}$,因此订单拣选排序的目标就是最小化 $\sum w_j T_{ij}$ 。

1.2 模型假设

(1)一个订单至少包含一个物品;(2)订单所需物品均不允许缺货;(3)所有的拣货设备在初始时刻都可用;(4)只有当订单被提交后才能开始拣货,同时客户对订单的时限要求严格;(5)每一订单只能由一台设备来完成,且在给定的时刻,一台设备只能完成同一订单的拣货,只有该订单被处理完成后才能进行后续订单,即订单的处理不允许中断。

1.3 模型建立

$$\min. \quad f = \sum_{j=1}^n w_j T_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad T_{ij} = \max(C_{ij} - d_j, 0) \quad (j \in N, i \in M) \quad (2)$$

$$C_{ij} = (C_k + p_{ij})x_{(i)ij} \quad ((i, k \rightarrow i, j) \in A) \quad (3)$$

$$|C_{ij}| - |p_{ij}| \geq r_j \quad (j \in N, i \in M) \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^m x_{(i)ij} = 1 \quad (j \in N) \quad (5)$$

$$x_{(i)ij} \in \{0, 1\} \quad (j \in N, i \in M) \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{(i)ij} = N \quad (7)$$

$$w_j \geq 0, d_j \geq 0, r_j \geq 0 \quad (j \in N) \quad (8)$$

其中:下标 i 表示某一台拣货设备;下标 j 表示一个订单; r_j 表示订单 j 的提交时间,即可以开始拣货的最早时间; p_{ij} 表示用设备 i 完成订单 j 的拣选时

间,是一个不考虑 r_j 且独立的时间; d_j 表示订单 j 的预期完成时间; C_{ij} 表示订单 j 运用设备 i 完成拣选的实际时间,不同于 p_{ij} ,它同时受 r_j 和 j 前订单的影响; C_k 表示 j 订单的前一个订单 k 在设备 i 上的实际完成时间; T_{ij} 表示用设备 i 完成订单 j 的滞后时间, $T_{ij} = \max(0, C_{ij} - d_j)$; w_j 表示订单的权重,它体现了订单 j 的重要程度; $x_{(t)ij}$ 为决策变量,表示在时间 t ,是否用设备 i 开始订单 j ,是则有 $x_{(t)ij} = 1$,否则为 0; N 表示所有订单的集合; M 表示所有拣货设备的集合; A 为所有顺序约束 $i, k \rightarrow i, j$ 的集合,它限定设备 i 先用于订单 k ,紧接着用于订单 j ; 式(1)为目标函数,体现了订单拣货排序的目标是最小化加权滞后时间和; 式(2)度量了订单 j 的延迟时间; 式(3)度量了订单 j 使用设备 i 的实际完成时间; 式(4)确保了订单的实际开始时间发生在订单的提交时间之后,其中 $|C_{ij}|$ 表示用设备 i 完成订单 j 的实际绝对拣选时间, $|p_{ij}|$ 表示用设备 i 完成订单 j 的绝对拣选时间; 式(5)保证某一特定订单只能被任意拣货设备服务一次,其中 $C_{\max}$ 表示最后离开系统的订单完成时间; 式(6)给出决策变量的取值范围; 式(7)保证所有订单都有机会开始; 式(8)限定权重、订单预期完成时间和订单提交时间为非负。

2 遗传算法的设计

运用遗传算法求解订单拣货排序问题的具体过程设计^[17]如下:

2.1 编码

把每个订单 j 的拣货设备 a_j 和在该设备对应的拣选次序号设为二维数组 $\begin{bmatrix} a_i \\ b_j \end{bmatrix}$, 再按 $1-n$ 的自然数升序排列的 n 个订单号对应的二维数组将其组成一个 $n \times 2$ 维矩阵 $\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ b_1 & b_2 & \cdots & b_n \end{bmatrix}$, 用这一矩阵作为遗传算法的染色体,用来表示一个排序方案。其中,任意一列表示某订单用设备 a_j 拣选,其拣选序号为 b_j , 其中 $a_j \in M_j$ (M_j 表示可以用拣货设备拣选订单 j 的设备的集合), $b_j \in [1, m_{a_j}]$ (m_{a_j} 表示用设备 a_j 拣选的订单总数)。

2.2 种群初始化

先随机生成 N 个 n 维向量 $(a_1 a_2 \cdots a_n)$ 看作是每一染色体的首行,其中 a_j 是满足 $a_j \in M_j$ 的任何自然

数。然后,由于可用拣货设备 i 拣选的订单总数为 m_i ,故每个染色体中的次行要与设备 i 相对应的元素随机地从 $[1, m_i]$ 中选取自然数,必须保证不重复,从而来确定相应订单以该设备拣选的次序。

2.3 计算适配值

以最小化 $f = \sum w_j T_{ij}$ 为目标,令适配值函数为目标函数的倒数 $g(x_i) = 1/f(x_i)$ (x_i 是个体 i 的表现值),来确定个体的适配值。

2.4 选择操作

按轮盘赌方法从种群中任意选择适配值高的 2 个个体进行交叉操作。每一个个体进入下一代的概率就等于它的适配值与整个种群中个体适配值之和的比例 $G(x_i) = g(x_i) / \sum_{i=1}^n g(x_i)$ (n 表示种群大小), 适配值越高,被选中的可能性就越大,进入下一代的概率就越大。

2.5 交叉操作

对选定的 2 个个体进行交叉操作。由于每个订单可用设备集合事先确定,因此可对选定的 2 个体首行基因串实现两点交叉,这样可保证后代个体仍满足约束。

对次行基因串,首先采用两点交叉使得后代能尽量保留父代信息(指用同一台设备拣选订单的先后次序),然后按下面的原则修正。假设经过两点交叉以后,次行基因串与设备 i 相应的 m_i 个元素为 $b_{i1}, b_{i2}, \cdots, b_{il}, \cdots, b_{m_i}$, 令当中最小值相对应的新基因为 1,次小值相对应的新基因值为 2,如此向后类推。如果存在 p ($p \geq 2$) 个相同值对应于新的基因值 q ,则可从 $[q, q+p-1]$ 中随机选择不同的 p 个值作为其修正之后的相应位置的 p 个基因值。

2.6 变异操作

因为个体首行基因串的各个元素均属于对应的设备集合 M_j ($j=1, 2, \cdots, n$),也因为基因取值满足一定的约束性,故该变异操作可设计如下:对首行的各个基因,随机生成 $(0, 1)$ 之间的实数,如果该实数小于变异概率 P_m ,那么随机地从 M_j 中选择基因 a'_j 代替 a_j 。

不对染色体的次行基因串进行变异操作,但为了满足约束,同时尽量保留父代信息(指用同一台设备拣选订单的先后次序),当首行基因串完成变异后,可参见上一节中的修正方法来修正。设变异后个体的次行基因串中与设备 i 相应的 m_i 个元素为 $b_{i1}, b_{i2},$

$\dots, b_{i1}, \dots, b_{im_i}$, 令当中最小值相对应的新基因为 1, 次小值相对应的新基因值为 2, 如此向后类推。如果存在 $p(p \geq 2)$ 个相同值对应于新的基因值 q , 则可从 $[q, q+p-1]$ 中随机选择不同的 p 个值作为其修正之后的相应位置的 p 个基因值。

2.7 终止条件判断

以遗传的最大代数数为终止条件。事先设定一个合适的最大遗传代数, 当遗传代数小于等于最大遗传代数时, 继续迭代; 若遗传代数大于最大遗传代数时, 迭代停止, 同时输出最优解。

3 算例测试

测试数据如下: 随机生成测试数据。进行了 5 个规模数据调度问题计算。其中, N 表示订单数量, 即问题的规模, 其取值范围为 $[20, 200]$; 每一订单的拣货量 Q_j 在区间 $[40, 160]$ 中均匀分布; 配送中心有 4 台平均拣货速度 v_i (单位: 订单/min) 分别为 1, 2, 3, 4 的拣货设备; 要求每一订单的拣货时间 p_{ij} (单位: min) 在区间 $[20, 60]$ 中均匀分布, 用公式 $p_{ij} = \frac{Q_{ij}}{v_i}$ 求得, 若满足该区间, 则可选用设备 i 拣选订单 j , 否则设备 i 不可用; 各项订单的权重在区间 $[1, 4]$ 中正态分布; 订单的提交时间 r_j (单位: min) 在区间 $[0, 6]$ 中均匀分布; 每台设备的开始时间都为 0; 为了避免预期完成时间 d_j (单位: min) 设置得过松或者过紧, $d_j = r_j + kp$, p 表示订单可选不同设备拣选的平均拣货时间, k 在区间 $[0, 3]$ 中均匀分布。

为了比较 FCFS(先到先服务规则, 即按订单提交时间的先后安排订单拣选顺序), EDD(最小工期优先规则, 即按订单的预期完工时间从小到大安排订单拣选顺序) 和 GA(遗传算法, 它借用了生物遗传学的观点, 通过自然选择、遗传、变异等作用机制, 找出个体的最优近似解, 具体实现过程见第 2 部分) 的目标函数值, 采用以下 2 个评价指标^[18]:

令 $T(H, I)$ 为对给定实例 I 下采用优先规则或算法 H (这里具体指 FCFS, EDD 和 GA 3 种规则或算法) 求得的 $\sum \omega_j T_j$ 值, 且:

$$\text{BEST}(I) = \min_H \{T(H, I)\} \quad (9)$$

定义一组满足相同特征的问题 S , 对每类问题 S 计算相对性能指标为:

$$\rho(H, S) = \frac{\sum_{I \in S} T(H, I)}{\sum_{I \in S} \text{BEST}(H, I)} \quad (10)$$

其中, 式(9) 是为了找出 FCFS, EDD 和 GA 3 种规则下最小 $\sum \omega_j T_j$ 值; 式(10) 表示分别用 FCFS, EDD 和 GA 3 个规则得到的 $\sum \omega_j T_j$ 值与最小的 $\sum \omega_j T_j$ 值进行比较, $\rho(H, S)$ 越大, 离最小值越远, 性能越差。

将 3 种算法采用 Matlab 语言编程, 运行在奔腾双核, 主频 1.73 GHz 的计算机上进行实验仿真的机器上, 每组问题运行 20 次取其平均值, 测试结果见表 1, 并给出了 20 个订单下 3 种规则的排序结果, 见图 1。

表 1 不同算法性能比较和 CPU 平均运行时间

Tab.1 The performance comparison of different algorithms and the average running time of CPU

问题规模 订单数量 N	调度性能参数 $\rho(H, S)$			Average BEST(1) /min	Average Runtime (GA)/s
	FCFS	EDD	GA		
20	3.91	2.28	1.00	4 852.48	0.298 45
50	3.85	2.26	1.00	5 869.75	0.667 25
100	3.54	2.18	1.00	10 504.32	0.946 37
150	3.43	2.05	1.00	8 468.67	1.307 84
200	3.24	1.98	1.00	12 624.05	2.753 96

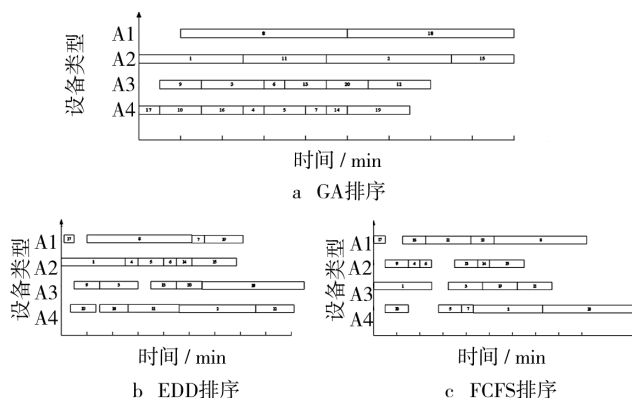


图 1 20 个订单下不同算法的排序甘特图
Fig. 1 The sequencing Gantt Chart of different algorithms under 20 orders

对表 1 中的数据进行分析, 在任何问题规模下, 与 FCFS 和 EDD 优先规则相比较, GA 得到的目标函数值都是最好的, 这表明运用 GA 求解订单拣货排序

问题是可行的,而 CPU 平均运行时间是随着问题规模的增大而增加,但也是可接受的。具体来看,在问题规模较小时,GA 求得的值较明显地优于 FCFS 和 EDD 优先规则;当订单个数增加后,这种优势性相对减弱,这可能是由于订单数增加,加大了个体适应度的计算复杂性。

4 结论

在配送中心的拣货作业中,合理地安排订单的拣选顺序可以有效地提高拣货作业效率。摒弃了传统关于路径优化、存储策略优化等思维,考虑订单实时性要求,从订单的拣选顺序入手,以客户满意度为目标进行研究,通过对比分析得出,运用遗传算法求解订单拣货排序问题更为有效。然而,本文设计的遗传算法的初始解是随机产生的,可能会导致迭代次数多,收敛速度慢等缺点,所以进一步的研究可以把优先规则和遗传算法相结合设计出适合求解订单排序问题的混合算法,即先通过简单的优先规则得到一个可行排序方案,将这个方案作为遗传算法的初始解,再按遗传算法步骤迭代,可快速得到订单排序问题的最优解。

参考文献:

- [1] 李家齐,樊双蛟. 分拣作业方式的效率效益[J]. 中国物流与采购,2006(6):40—42.
- [2] CHAN Felix T S, CHAN H K. Improving the Productivity of Order Picking of a Manual-pick and Multi-level Rack Distribution Warehouse through the Implementation of Class-based Storage[J]. Expert Systems with Applications, 2011(38):2686—2700.
- [3] HSIEH Ling-feng, HUANG Yi-chen. New Batch Construction Heuristics to Optimize the Performance of Order Picking Systems[J]. Int J Production Economics, 2011(131):618—630.
- [4] 李诗珍. 基于工作量均衡的分区同步拣货系统储位分配与评价[J]. 包装工程,2010,31(11):114—118.
- [5] 李诗珍,杜文宏,彭其渊. 低层人至物拣货系统订单拣货路径问题研究[J]. 起重运输机械,2007(8):5—9.
- [6] 李诗珍. 配送中心 ABC 分类存储模式与拣货路径策略选择[J]. 起重运输机械,2008(6):4—7.
- [7] 李诗珍. 配送中心订单分批拣货模型及包络算法[J]. 起重运输机械,2009(11):19—22.
- [8] 李诗珍,李莉,杜文宏. 配送中心单品拣货模式及其效能分析[J]. 包装工程,2006,27(6):221—224.
- [9] 李晓春. 仓储企业分区拣货效率探析[J]. 包装工程,2008,29(8):103—105.
- [10] 熊芳敏,岑宇森,曾碧卿. 运用蚁群算法解决物流中心拣货路径问题[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),2010(2):50—54.
- [11] 王宏,符卓,左武. 基于遗传算法的双区型仓库拣货路径优化研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(6):224—228.
- [12] 中国自动化网. 电子标签辅助拣货自动化控制系统[EB/OL]. (2008-05-28). <http://www.ca800.com/apply/html/2008-5-28/n29491.html>.
- [13] Van den BERG J P. A Literature Survey on Planning and Control of Warehousing Systems [J]. IIE Transactions, 1999(31):751—762.
- [14] HSU C M, CHEN K Y, CHEN M C. Batching Orders in Warehouses by Minimizing Travel Distance with Genetic Algorithms[J]. Computers in Industry, 2005,56(2):169—178.
- [15] 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.
- [16] 万杰,张少卿,李立. 基于遗传算法的配送中心订单拣选优化问题研究[J]. 河北工业大学学报,2009,38(5):10—14.
- [17] 王凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [18] DEMIRKOL E, MEHTA S, UZSOY R. A Computational Study of Shifting Bottleneck Procedures for Shop Scheduling Problems[J]. Journal of Heuristic, 1997(3):111—137.