

面向 JIT 制造的零部件配送中心货位优化研究^①

宁 浪,张宏斌*,张 斌
(中山大学岭南学院,广州 510275)

摘要: 面向 JIT 生产的零部件配送具有种类多、批次多、批量少、出入库时间分散等特点,使得有效分配配送中心的存储货位成为一个难题. 将存储货位分配问题抽象为三角形装箱问题,构建了考虑时间维度的货位分配模型,设计了求解该问题的启发式算法. 应用某知名汽车装配企业零部件配送中心的实际数据,对货位分配优化模型及算法进行了验证,实证数据表明模型及算法能够有效降低运营成本,提高存储空间利用率.

关键词: 准时化生产; 三角形装箱; 货位优化; 二维分配

中图分类号: F223 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2014)11-0010-10

0 引 言

准时化生产(just in time, JIT)一直是业界和学术界研究的一个热门课题. JIT 生产方式在上世纪 70 年代末期从日本引入我国,广泛应用于汽车工业、电子工业等流水线生产型制造企业,取得了明显效果.

准时化是指将必要的零件,以必要的数量,在必要的时间送达生产线. JIT 制造企业的零部件配送中心以多批次、少批量的方式接收供应商或第三方物流企业供应的零部件,然后按生产排程要求实时配送零部件. 通常情况下,面向 JIT 生产的零部件配送问题具有零部件种类多、批次多、批量少、出入库时间分散等特点,例如,广东某著名汽车制造商在汽车装配过程中应用准时化生产方式,其装配工厂所涉及汽车零部件多达 6 000 多种,每种零部件每天最多分 8 个批次进入配送中心,而每批零部件在配送中心的周转时间通常为 1~2 个小时. 这些特点使得有效分配配送中心的存储货位成为一个难题,引起学术界和业界的广泛关注. 该研究问题主要探讨采用 JIT 方式

的制造企业如何优化配送中心存储货位的分配策略,从而降低运营成本、提高空间利用率.

货位分配问题(storage location assignment problem, SLAP)是经典的仓储管理问题. 国内外学者在不同的前提条件、问题假设和现实约束下研究了各种货位分配策略及其模型. Francis 等^[1]对早期的货位分配研究进行了综述,归纳了四种常见的存储策略:专用存储策略(dedicated storage)、分类存储策略(class-based storage)、共用存储策略(shared storage)和随机存储策略(randomized storage). Heskett^[2-3]最先提出专用存储策略,即根据货物的出入库数量等性质为每种货物配置专用存储区;并将 COI(cube per order index)^②原则应用于专用存储策略,但并没有证明其最优性. Mallette 和 Francis^[4]、Harmatuck^[5]、Kallina 和 Lynn^[6]讨论了 COI 原则在实际中的应用,并证明了一定假设下 COI 原则具有最优性. 分类存储策略是指入库货物可以使用其所属类别专用存储区域的任意开放货位^[7]. 共用存储策略是指在一定时间跨度内,不同货物可以共享某存

① 收稿日期: 2012-08-16; 修订日期: 2013-05-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70672079; 71171206).

通讯作者: 张宏斌(1966—),男,甘肃正宁人,博士,副教授. Email: Lnszhh@mail.sysu.edu.cn

② COI 原则是专用存储策略下一种分配原则. COI 是一个比值,即一定时间内货物出库量和货物出库频次的比. 这种方法把货物按照 COI 值从低到高的顺序摆放在离 I/O 点从近到远的位置.

储区域. 在共用存储策略方面, Goetschalckx 和 Ratliff^[8] 提出了基于停留时间 (duration of stay, DOS) 的启发式算法, 将停留时间最短货物安排在距离出口最近的存储货位. Goetschalckx 和 Ratliff^[8]、Thonemann 和 Brandeau^[9] 在理论上证明了 DOS 方法是运输成本最小化的策略. Malmberg 和 Al-Tassan^[10] 研究了随机存储策略, 即根据入库货物的尺寸在储存区内随机搜索可以容纳的货位, 将货物储存在该位置. 他们指出, 随机存储策略适用于计算机控制的环境.

文献 [11] 指出, 专用存储策略和分类存储策略都倾向于将出货量大的货物安排在较容易取货的位置, 以减少拣货的平均操作时间. 专用存储策略和分类存储策略中货物的存储位置是固定的, 而且始终有空间满足补货需求, 所以这两种策略具有易操作、易管理的优势. 正如刘威^[12] 指出, 专用存储策略下的存储位置空间大小必须按各种货物的最大在库容量进行设计, 因此, 该策略所要求的总存储空间要比分类存储策略大. Venkata 和 Adil^[13] 指出, 相对于专用存储策略, 分类存储策略可以降低存储成本. Moon 等^[14]、Yu 和 de Koster^[15] 指出分类存储策略的效果在很大程度上受存储区布局、存储区大小和货物类别的影响. 朱杰等^[16] 研究了在分类存储策略下, 返回型和 S 型人工拣选服务系统的效率. Gu 等^[17] 指出, 配送中心在选择专用存储策略或分类存储策略时, 应充分权衡其管理便利性和成本. 正如 Goetschalckx 和 Ratliff^[8] 指出, 共用存储策略和随机存储策略都允许不同货物存储在同一个存储位置. 由于存储位置可以共用, 存储区的空间利用效率较高, 但货物的出入库管理及盘点工作较难进行. 魏航^[18] 在考虑时间窗口的情形下, 研究了码头堆场的集装箱存储优化问题.

总的来说, 各种存储策略都有优点和不足, 企业会根据实际情况选择不同的存储策略. 比如, 针对上述面向 JIT 制造的零部件配送问题的特点, 企业倾向于采用“共用存储策略”以降低运营成本和提高存储空间利用率. 除了根据经验选择存储策略外, 学术界也尝试运用数学建模方法对货位分配问题进行研究. 比如, Goetschalckx 和 Ratliff^[8] 将货位优化问题抽象成一个二维分配问题 (vector assignment) 并提出基于 DOS 原则的共

用存储策略, 该方法可以为货位分配问题求得理论上的最优解. 从实际的应用分析来看, 他们所提出的方法并不能解决面向 JIT 制造的零部件配送中心货位优化问题, 主要原因如下: 1) 他们所提出的算法复杂度高, 无法有效求解现实中多达数千种货物的货位优化问题; 2) 该方法没有考虑货物批次问题, 会造成各种货物 (即使是同种货物的同一批次) 的每一件货品都可能分散存储于不同货位, 这给货物分拣和配送安排带来了巨大困难, 不仅影响 JIT 生产方式要求的准时化配货效率, 而且在人工拣货和半自动拣货情形下基本是不可行的.

货位分配问题现有研究主要存在以下不足:

1) 简单的管理方法会带来较大的效率损失. 分类存储策略和专用存储策略具有易操作、易管理等优势, 但会带来较大的空间浪费; 2) 理论上效率最大化的方法会因实际问题规模和现实管理复杂性而变得不适用.

尽管基于 DOS 原则的共用存储策略不能直接应用于现实问题, 但其二维资源分配的思想为货位分配问题提供了一种较好的解决思路. 本文将“每个小批次零部件的在库状态”抽象成“向左倾斜的直角三角形”, 这些“三角形”不仅反映了零部件种类多、批次多、批量少、频次高、出入库批次时间分散等特点, 也符合共用存储策略的基本思想. 本文将综合专用存储策略和共用存储策略的优点, 基于二维货位分配问题, 提出一种既实用又节约成本和空间的货位分配策略, 该策略可以很好地满足 JIT 生产对零部件配送的要求.

1 面向 JIT 制造的货位优化模型

1.1 问题描述

某汽车装配企业采取 JIT 生产方式, 根据生产计划安排生产, 相应地要求零部件被准时配送到装配线上. 供应商或第三方物流服务商按订单要求将零部件配送到位于厂区内的配送中心 (一级配送), 配送中心根据生产排程将零部件配送到生产线 (二级配送). 对于某批入库零部件而言, 一级配送和二级配送频次是不一样的, 某批次零部件经过一级配送入库后, 一般要经过多次二

级配送将其送到生产线直至消耗完毕. 因此, 某批入库零部件在配送中心存储区的库存数量变化如图1所示. 图中 q_i 表示零部件 i 当天的到货数量(假设每天到货一次, 对于每天到货多次的情况, 可以当作不同零部件处理), t_i 则表示零部件 i 的入库时间.

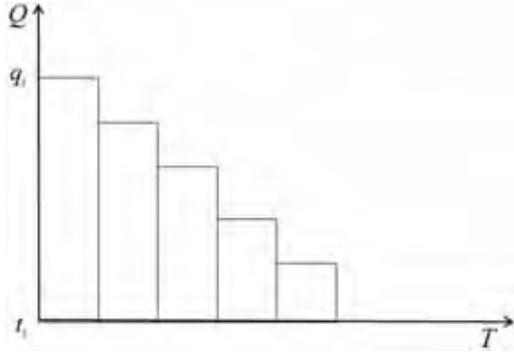


图1 某零部件的库存数量变化
Fig. 1 Stock level of an item

该配送中心的存储区是平面矩形布局, 这与大多数制造企业零部件配送中心的实际情况是一致的, 也是学者们常用的研究假设. 为了便于存储管理和提高拣选货物的效率, 配送中心通常根据一定原则将存储区划分成若干个更小的便于管理的区域. 一般配送中心存储区的布局如图2所示, 即将整个区域垂直划分成若干个长宽相等的对应出货区的分区, 各分区再被划分为若干个小分区. 在现实仓储管理中, 零部件通常会共享细小分区, 较少共享不同出货区的分区, 不失一般性, 本文将重点讨论一个包含多个小分区的矩形分区中货位安排问题.

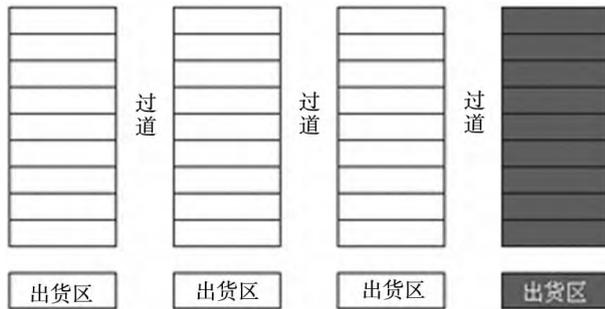


图2 存储区划分规则
Fig. 2 Layout of the storage area

1.2 建模思路

配送中心每天接收和配送的零部件的种类、时间和数量都是比较确定的. 不失一般性, 将各种零部件存储数量的离散变化状态转换为连续变

化状态. 设 ρ_i 表示单位存储空间能容纳零部件 i 的数量. 因此, 当零部件 i 刚送达配送中心时, 其占用的最大存储面积是 q_i/ρ_i . 将坐标系逆时针旋转90度, 使横坐标表示零部件所占存储区面积. 针对问题描述中的矩形存储区域, 令其沿着离出货区由近到远的方向分成若干个同样大小的最小储存区域. 实质上, 这里将存储区做了一维化处理, 这与客观情况是相符的.

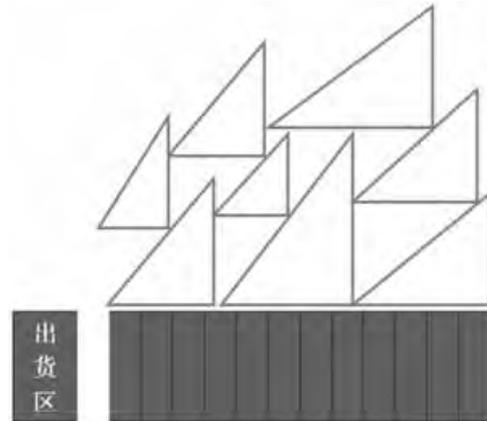


图3 货物存放在存储区的状态变化
Fig. 3 Stock level of an item in the storage area

到目前为止, 本文已将货物所占存储空间的状态和存储空间的供给状态都进行了抽象. 若将两者放在一起, 便可得到各种货物在存储区的状态变化. 如图3所示, 横向表示存储空间, 纵向表示时间变化.

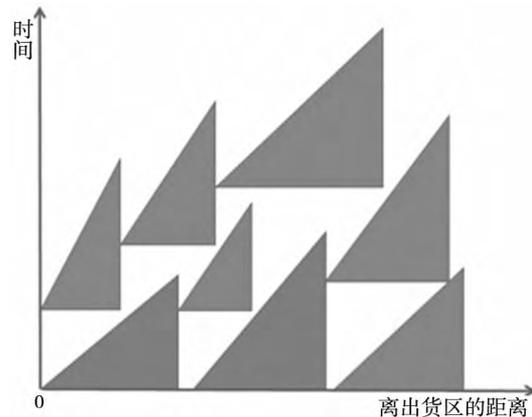


图4 问题的几何结构

Fig. 4 Geometrical structure of the problem

若将上述结构再做进一步抽象, 便可得到本文所研究问题的几何结构, 如图4所示. 其中每个三角形表示某零部件所占存储空间的变化状态(称之为某种零部件的“状态三角形”). 三角形的底长表示该零部件刚送达时所占用的最大存储

面积,斜率表示该零部件出库速度的倒数.

状态三角形向左倾斜的原因有二: 1) 优先释放原则. 分拣人员优先将离出货区近的零部件拣出, 释放出较接近出货区的空间. 2) DOS 原则. 在库时间较短的零部件放在距离出口较近的位置^[9].

三角形直角顶点的纵坐标是确定的 (JIT 配送要求供应商准时送货). 三角形直角顶点的横坐标 (存储位置) 即本模型的决策变量, 配送中心可以根据该参数确定某种零部件入库后的存储位置.

1.3 数学模型

为了建模方便, 按照每天零部件到达的先后顺序对其进行编号, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, 变量设置如下:

M : 设 M 是一个足够大的数;

S : 存储区可用的最大面积;

s_i : 状态三角形的底长, 即零部件 i 刚送达时占用的最大存储面积;

p_i : 状态三角形的高, 即零部件 i 的使用时长;

t_i : 状态三角形直角顶点的纵坐标, 即零部件 i 的送达时间;

x_i : 状态三角形直角顶点的横坐标, 即零部件 i 的存储位置 (用离出货区最远点的位置表示);

c_i : 搬运每存储单位的零部件 i 经过单位距离的成本.

第 i 种零部件的平均搬运距离为

$$D(i) = x_i - \frac{1}{2}s_i \quad (1)$$

第 i 种零部件的总搬运量为 $q_i = s_i p_i$, 则所有货物的总搬运成本为

$$Z = \sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{2}s_i\right) s_i p_i c_i \quad (2)$$

任意两种零部件状态三角形 (A 和 B) 的位置关系可归结为以下三种情况: (1) A 在 B 的左边. A 中的点全部在 B 的左边, 即 A 中所有元素点的横坐标比 B 中任意点的横坐标都要小; (2) A 在 B 的上边. A 中的点全部在 B 的上边, 即 A 中所有元素点的纵坐标比 B 中任意点的纵坐标都要大; (3) A 在 B 的左上方. A 的直角顶点在 B 的斜边的左上方, 且其横坐标介于 B 中点的最小和最大

横坐标之间, 其纵坐标介于 B 中点的最小和最大纵坐标之间. 定义如下位置指示变量:

σ_{ij} : 1, 如果零部件 i 的状态三角形完全在零部件 j 的左边, 否则为 0; 对于任意 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, 有

$$x_j - x_i - s_j - (\sigma_{ij} - 1)M \geq 0 \quad (3)$$

δ_{ij} : 1, 如果零部件 i 的状态三角形完全在零部件 j 的上面, 否则为 0; 对于任意 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, 有

$$t_i - t_j - p_j - (\delta_{ij} - 1)M \geq 0 \quad (4)$$

θ_{ij} : 1, 如果零部件 i 的状态三角形完全在零部件 j 的左上方, 否则为 0; 对于任意 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, 有

$$p_j(x_i - x_j) + s_j p_j - s_j(t_i - t_j) + (\theta_{ij} - 1)M \leq 0 \quad (5)$$

$$t_j - t_i + p_j - (\theta_{ij} - 1)M \geq 0 \quad (6)$$

$$x_i - x_j + s_j - (\theta_{ij} - 1)M \geq 0 \quad (7)$$

注意: 关系 (1) 和关系 (2) 可以并存, 但关系 (3) 与其它两种关系不可能同时存在. 因此, 对于任意 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, 有

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \leq 1 \quad (8)$$

$$\delta_{ij} + \delta_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \leq 1 \quad (9)$$

另外, A 与 B 不能重叠, 因为某个存储位置不能在同一时间被两个或两个以上零部件占用. 对于任意 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, 有

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \delta_{ij} + \delta_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \geq 1 \quad (10)$$

因此, 本文的优化模型如下 (记为问题 P):

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{2}s_i\right) s_i p_i c_i,$$

s. t.

$$x_j - x_i - s_j - (\sigma_{ij} - 1)M \geq 0,$$

$$t_i - t_j - p_j - (\delta_{ij} - 1)M \geq 0,$$

$$p_j(x_i - x_j) + s_j p_j - s_j(t_i - t_j) + (\theta_{ij} - 1)M \leq 0,$$

$$t_j - t_i + p_j - (\theta_{ij} - 1)M \geq 0,$$

$$x_i - x_j + s_j - (\theta_{ij} - 1)M \geq 0,$$

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \delta_{ij} + \delta_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \geq 1,$$

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \leq 1,$$

$$\delta_{ij} + \delta_{ji} + \theta_{ij} + \theta_{ji} \leq 1,$$

$$x_i \in [s_i, M],$$

$$\sigma_{ij} \in \{0, 1\} \quad \delta_{ij} \in \{0, 1\} \quad \theta_{ij} \in \{0, 1\}.$$

2 模型的求解

问题 P 是一个特殊的三角形装箱问题. 三角形装箱问题是多边形装箱问题的简化情况,其算法的时间复杂度仍是指数级的. 相对于一般三角形装箱问题,本文所研究的三角形装箱问题具有以下特殊性质:

1) 形状特殊性. 装箱问题中的对象三角形全是直角三角形;

2) 位置特殊性. 装箱问题中直角三角形在垂直方向的位置已经确定,即直角顶点的纵坐标是给定的;

3) 方向特殊性. 装箱问题中直角三角形的斜边方向都是从左下到右上.

4) 目标特殊性. 问题的目标函数是最小化各三角形到空间左侧的修正距离,即各个三角形所代表的各批零部件到出货区的搬运成本,它等于各三角形到空间左侧的平均距离与该批零部件单位距离搬运成本的乘积.

形状特殊性、位置特殊性和方向特殊性将三角形装箱问题的决策变量简化为直角三角形的横向位置,即直角顶点的横坐标. 基于上述特性,可将问题 P 分解成若干个子问题进行求解,以求得原问题的近似解. 因为各直角三角形的垂直位置已经确定,可根据该参数将所有待分配三角形分成若干小组,再按照从下往上顺序依次计算出各小组内三角形的水平位置. 根据企业调查研究的结果和企业生产的特性, JIT 配送的零部件具有时间聚集性,即根据生产计划,企业通常要求多种零部件在同一时间送达. 因此,本文可以将问题 P 转化为一个较简单的问题,即: 1) 将垂直位置相同(入库时间相同)的代表零部件库存状态的直角三角形划分为一个小组; 2) 然后,根据每组三角形的纵向位置从下往上进行排序; 3) 以最小化搬运成本为目标,依次安排各个小组中三角形的横向位置(即分配零部件的存储位置); 4) 记录零部件被安排的存贮位置,计算总的搬运成本. 例如,首先安排处于最下面一组(最早入库)中各个三角形的水平位置. 安排好第一组后,根据前面空间使用情况,依次安排后面的各组,转换后

的问题记为 P', 并将其目标函数记为 Z'. 记 Z* 和 Z1* 分别是问题 P 和 P' 的最优目标值,由于问题 P' 的最优解是问题 P 的可行解,因此 Z1* > Z*, 也就是说问题 P' 的最优解给出了问题 P 最优目标值的一个上界.

用 k 表示问题 P' 中各个状态三角形小组的编号, N 表示总共的小组数, Pk' 表示的第 k 个子问题, nk 表示第 k 个子问题中状态三角形的个数, Wk 表示第 k 个子问题中状态三角形的集合, Tk 表示第 k 组中状态三角形直角顶点的纵坐标. 问题 P' 求解步骤如下:

步骤 1 根据垂直位置对所有待安排的状态三角形进行分组,并对各个小组进行顺序编号,即 T1 ≤ T2 ≤ Tk ≤ ... ≤ TN. 令 Z' = 0.

步骤 2 计算第一组中各状态三角形的最优位置,将第一组中待安排各状态三角形按照 ciρi si 的值从大到小排序(注意,若存在两个或多个状态三角形的 ciρi si 值相等,则将 pi 较小的状态三角形排在较前),然后根据排好的顺序将前面的状态三角形优先安排在最接近空间左侧的位置.

将各个状态三角形的水平位置安排好后,计算

$$\sum_{i \in W_1} (x_i - \frac{1}{2}s_i) s_i \rho_i c_i \tag{11}$$

$$Z' = Z' + \sum_{i \in W_1} (x_i - \frac{1}{2}s_i) s_i \rho_i c_i \tag{12}$$

步骤 3 依次计算各组中状态三角形的最优位置. 对于 k ≥ 2, 空间中存在一些已安置好的状态三角形,因此,在安排第 k 组中的状态三角形时需要考虑这些已经安置好的状态三角形带来的空间限制影响. 而在这些已经安置好的状态三角形中,有一部分会对这次的安排带来空间限制,而另一部分则不会再带来空间限制,用 Lk 表示这部分会对本次安排带来空间限制的状态三角形. 则有

$$L_k = \{i \mid t_i + p_i > T_k, i \in W_1 \cup W_2 \cup \dots \cup W_{k-1}\} \tag{13}$$

用 Nk 表示集合 Lk 的元素个数. 由于 Lk 的所有元素都是已经安排好位置的状态三角形,故可以根据其已经确定的水平位置将这些状态三角形从左至右进行编号,其用 li 表示 Lk 中的各个状态三角形. 计算出水平直线 y = Tk 与集合 Lk 中各元

素的交点的横坐标, 每个状态三角形与该水平直线都会有两个交点, 从左到右依次用 x_k^{i1} 、 x_k^{i2} 表示两个交点横坐标. 其中

$$x_k^{i1} = \frac{s_k^i(T_k - t_k^i) + p_k^i(x_k^i - s_k^i)}{p_k^i} \quad (14)$$

$$x_k^{i2} = x_k^i \quad (15)$$

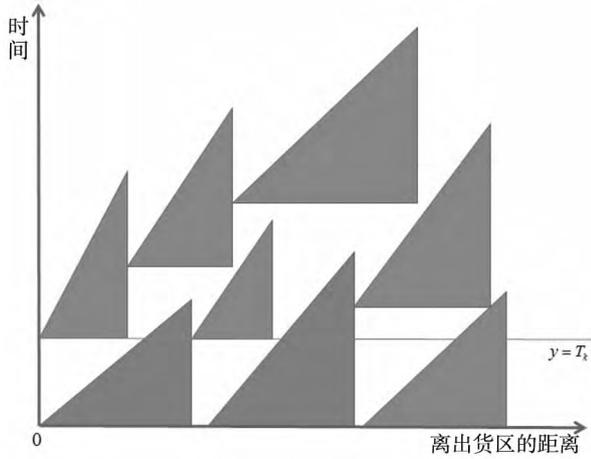


图 5 直线 $y = T_k$ 与集合 L_k 中各元素的交点
Fig. 5 Intersection of line $y = T_k$ and set L_k

如图 5 所示, L_k 中各元素及纵轴将直线 $y = T_k$ 分成了 N_k 条线段和一条射线, 这些线段和射线上尚未被安排放置任何状态三角形, 即这些线段和射线及其上方的区域形成了本次安排的可行空间, 共 $N_k + 1$ 段.

将直角三角形的底边安排到空间中, 其上方区域必定有足够空间放置该三角形. a_k^i 表示各个段的可行空间, 则有

$$a_k^i = \begin{cases} [0, x_k^{11}] & i = 1 \\ [x_k^{(i-1)2}, x_k^{i1}] & 2 \leq i \leq N_k \\ [x_k^{N_k2}, \rho) & i = N_k + 1 \end{cases} \quad (16)$$

该可行空间用 A_k 表示, 则

$$A_k = \{ [0, x_k^{11}], [x_k^{12}, x_k^{21}], \dots, [x_k^{N_k2}, \rho) \} \quad (17)$$

将这一组中待安排的各三角形按照 $c_i \rho_i s_i$ 的值从大到小排序 (注意, 若存在两个或多个三角形的 $c_i \rho_i s_i$ 值相等, 则将 p_i 值较小的三角形排在较前), 然后根据排好的顺序将排在前面的三角形优先安排在最接近空间左侧的可行空间. 具体步骤如下:

步骤 3.1 对于第一个待安排位置的三角

形, 若 $s_k^1 \leq |a_k^1|$, 则优先将其安排在可行空间 a_k^1 最左侧, 同时更新 $a_k^1 = [x_k^1, x_k^{11}]$. 若 $s_k^1 > |a_k^1|$, 表示可行空间 a_k^1 无法放置下该三角形, 则依次 a_k^1 后面的可行空间. 若 $s_k^1 \leq |a_k^i|$, 则放置下该三角形, 若 $s_k^1 > |a_k^i|$, 则继续以下步骤.

步骤 3.2 按照步骤 1 中的方法依次安排第 k 组中其他状态三角形的位置, 直到将所有状态三角形的位置安排完毕.

步骤 3.3 计算

$$\sum_{i \in W_k} (x_i - \frac{1}{2}s_i) s_i \rho_i c_i \quad (18)$$

$$Z' = Z' + \sum_{i \in W_k} (x_i - \frac{1}{2}s_i) s_i \rho_i c_i \quad (19)$$

步骤 4 重复步骤 3, 直到将所有组别的三角形位置全部安排完毕.

3 A 企业实际案例分析

3.1 案例介绍

A 汽车装配工厂有 A 区和 B 区两个配送中心, A 区配送中心 8 000m², B 区配送中心 12 000m². A 区配送中心主要存放进口件, B 区配送中心主要存放国产件. 该工厂目前采取 JIT 生产方式, 即根据生产计划准时安排生产和零部件配送. 因此, 对于大部分国产件而言, 供应商或第三方物流运输商须要按订单要求准时将零部件配送到厂区的配送中心 (一级配送), 配送中心根据生产线的要求准时将零部件配送的生产线 (二级配送). 目前, 零部件配送中心面临的问题有:

1) 备货效率低, 配送中心人工备货过程中, 备货人员需要的行走距离较长, 既浪费人力又使备货时间较长. 主要原因是各种零部件的存储位置安排不科学, 一些出口库频率高的零部件可能被存放在离出货区很远的地方;

2) 存储区的空间利用率低, 一些区域爆满的同时, 可能有些区域处于空置状态. 原因是货位安排时没有综合考虑各种零部件库存波动的相关性.

因此, 该配送中心亟需一套科学可行的方法改进配送中心的现状.

3.2 算例

A 企业总装线内装 1 班左侧零部件由 B 区配送中心负责收货、备货和配送。目前,整个班组的零部件被安排在 B 区配送中心西面的一大块矩形区域。

表 1 是供应商为内装 1 班每日的平均供货情况。为了便于计算,表中“入库时间”由零部件送到配送中心的实际时间减去 8 换算所得(即 t_i)。例如,“2”代表该批零部件上午 10 时准时入库。“最大存储面积”表示该批零部件入库时所需占据的单位存储空间数(即 s_i)。“消耗速度”根据车间在某段时间内使用该零部件数量算出(即 v_i)。

表 1 算例的相关参数^③

Table 1 The parameters of the illustrative example

序号	入库时间	最大存储面积	消耗速度	在库时间
1	0	1	1	1
2	0	4	2	2
3	0	4	2	2
4	0	2	2	1
5	0	1	1	1
6	1	2	1	2
7	1	1	1	1
8	1	3	1	3
9	1	3	1.5	2
10	2	1	1	1
11	2	3	1.5	2
12	3	2	2	1
13	3	1	2	0.5
14	3	4	2	2
15	3	3	1	3
16	4	4	1	4
18	5	2	2	1
19	5	3	3	1
20	5	5	2	2.5
21	6	2	1	2
22	6	4	4	1
23	7	4	2	2
24	7	2	1	2

该配送中心的备货人员在备货过程中使用笼

车搬运零部件,则备货人员搬运任何两种零部件的强度是一样的,故有 $\rho_i c_i = \rho_j c_j$ 。因此,在该算例中,在不影响计算结果的基础上,为了便于计算,用 1 替换目标函数中的 $\rho_i c_i$ 。用上部分所建立的模型及算法求得内装 1 班最优货位分配方案如下。

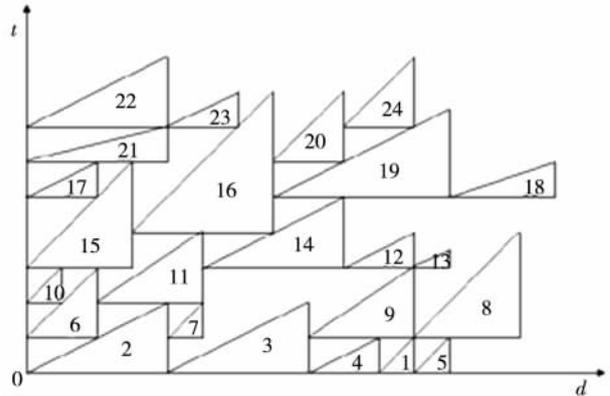


图 6 算例的最终计算结果

Fig. 6 Storage location assignment of the illustrative example

用 μ 表示存储空间的利用率,则

$$\mu = \frac{\sum \frac{1}{2} s_i p_i}{\max(x_i) \times \max(t_i + p_i)} \quad (20)$$

因此,利用算法 P 求得算例中存储空间的利用率为 45.2%。

3.3 结果分析

对于人工拣货、备货为主的配送中心,常常采用传统的专用存储策略。在该算例中,配送中心当前便是采用了专用存储策略安排零部件的存储位置。在该策略下,算例中各零部件货位安排见表 2。

根据表 2 中结果,可以得出专用存储策略下存储空间的利用率 $\mu = 10.8\%$ 。在两种存储策略下,算例的总搬运成本和空间利用率如下表所示。

从表 3 可知,通过本文所建立的模型和算法对算例进行优化,总搬运成本从原来的 1 984.5 降低到 391.5,空间利用率从原来的 10.8% 提高到 45.2%。可见,以二维资源分配模型解决面向 JIT 生产的零部件货位分配问题可以在很大程度上降低搬运成本、提高存储空间的利用率。因此,算例的计算结果验证了本研究所设计模型和算法的现实意义。

③ 为了保护企业经营数据,在不影响计算结果的基础上,表中数据做了适当微调。

表 2 算例在算法 P' 和专用存储策略下的最优解
Table 2 The solutions solved from problem P' and the
dedicated storage policy

序号	算法 P'		专用存储策略	
	存储位置	搬运成本	存储位置	搬运成本
1	11	10.5	59	58.5
2	4	8	9	28
3	8	24	13	44
4	10	18	46	90
5	12	11.5	60	59.5
6	2	2	48	94
7	5	4.5	61	60.5
8	14	37.5	32	91.5
9	11	28.5	35	100.5
10	1	0.5	62	61.5
11	5	10.5	38	109.5
12	11	20	50	98
13	12	11.5	63	62.5
14	9	28	17	60
15	3	4.5	41	118.5
16	7	20	21	76
17	2	2	52	102
18	15	40.5	44	127.5
19	12	47.5	5	12.5
20	9	16	54	106
21	4	8	25	92
22	4	8	29	108
23	6	10	56	110
24	11	20	58	114
总计		391.5		1 984.5

表 3 优化模型和算法在算例的优化效果

Table 3 The performance of the proposed method for the illustrative example

	专用存储策略 (优化前)	问题 P' 算法 (优化后)
总搬运成本	1 984.5	391.5
空间利用率	10.8%	45.2%

4 结束语

本研究从实际的汽车装配企业物流优化项目中提取,通过对广东省某知名汽车装配企业零部件配送中心现场研究,总结得出面向 JIT 生产的零部件配送通常存在零部件种类多、批次多、批量

少、出入库时间分散等特点。针对目前国内汽车装配行业普遍应用 JIT 生产方式的实际情况,本文设计了一套低成本、高利用率的零部件配送中心货位优化模型及算法,并将其应用于企业管理的实践。算例结果证明该模型可以降低存储成本和提高空间利用率。

考虑存储资源时间维度的分配问题,是分配问题中的一个研究分支,不少物流管理中的案例(如泊位安排)都可以抽象成该问题,因而它是一个具有广泛应用前景的研究课题。将货位分配问题抽象为考虑时间维度的二维分配问题,理论研究和实际应用并不多。随着企业物流逐渐向着高效率、低成本的方向发展,特别是精益生产对降低成本的需求不断显现,该类问题必将得到更多的关注和应用。

本文主要的贡献有:(1)根据面向 JIT 制造企业零部件配送中心的主要运作特点,提出了一种综合专用存储策略和共用存储策略组合的货位优化方法,既提高了货位的利用效率,又具有较强的实用性,该策略能够很好地满足 JIT 生产对零部件配送的要求。(2)根据零部件配送特点,对配送中心货位优化问题进行了建模,将“每个小批次零部件的在库状态”抽象成“向左倾斜的直角三角形”模型,既反映了零部件种类多、批次多、批量少、频次高、出入库时间分散等特点,也符合共用存储策略的基本思想,并且具有较好的特征。(3)设计了原问题的近似问题和求解算法,能够高效地求解模型。JIT 生产模式下零部件配送具有时间聚集性,本文充分利用这一特性,将难求解的原问题转化为相对易求解的近似问题,进行了有效求解。(4)将模型和求解方法应用于实际的企业,取得了良好的效果。验证了本文所建立的模型和所提出的求解方法,既能提高配送中心的运作效率和空间利用率,又有较强的实用性,是对现有货位分配问题成果的重要补充。

本文可进一步拓展研究的方向主要包括:

1) 将该模型扩展到三维或更多维的存储区域空间。在实际存储管理中,货物可能同时在多个细分存储区域(矩形)里被分配存储位置,则本文所考虑的存储资源就会变成三维(平面上的两个维度和时间上的一个维度)或四维(空间上的三个维度和时间上的一个维度)。

2) 考虑货物出入库时间和数量不确定性. 在实际运营中, 虽然每天的货物出入库情况不会有太大波动, 但由于来自供应、需求等各方面的因素, 货物出入库的时间、数量总会存在一些不确定性.

3) 考虑货物库存离散变化的情况. 实际上, 货物入库后是根据生产配送计划被分批配送到生产线上的. 因此, 货物在配送中的库存变化是离

散变化的, 而不是连续逐渐减少为零的.

4) 考虑 JIT 制造模式下部分零部件不能被准时送达. 实际配送过程中, 供应商或第三方物流商的送达时间可能会偏离订单要求时间.

5) 考虑货物入库的高度分散性. 实际运营中, 各种货物的入库时间可能完全分散, 这样论文算法中的分组将不再有意义(可能每一组中只有一批货物).

参 考 文 献:

- [1] Francis R L, McGinnis L F, White J A. Facility Layout and Location: An Analytical Approach [M]. 2nd Edition. Englewood Cliffs, N J, Prentice Hall, 1992.
- [2] Heskett J L. Cube per order index: A key to warehouse stock location [J]. Transportation and Distribution Management, 1963, 3 (April): 27-31.
- [3] Heskett J L. Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout [J]. Transportation and Distribution Management, 1964, 4(8): 23-30.
- [4] Mallette A J, Francis R L. A generalized assignment approach to optimal facility layout [J]. AIIE Transactions, 1972, 4(2): 144-147.
- [5] Harmatuck D J. A comparison of two approaches to stock location [J]. The Logistics and Transportation Review, 1976, 12(4): 282-284.
- [6] Kallina C, Lynn J. Application of the cube per order index rule for stock location in a distribution warehouse [J]. Interfaces, 1976, 7(1): 37-52.
- [7] Hausman W H, Schwarz L B, Graves S C. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems [J]. Management Science, 1976, 22(6): 629-638.
- [8] Goetschalckx M, Ratliff H D. Shared storage policies based on the duration stay of unit loads [J]. Management Science, 1990, 36(9): 1120-1132.
- [9] Thonemann U W, Brandeau M L. Optimal storage assignment policies for automated storage and retrieval systems with stochastic demands [J]. Management Science, 1998, 44(1): 142-148.
- [10] Malmberg C J, Al-Tassan K. An integrated performance model for order picking systems with randomized storage [J]. Applied Mathematical Modelling, 2000, 24(2): 95-111.
- [11] van den Berg J P, Zijm W H M. Models for warehouse management: Classification and examples [J]. International Journal of Production Economics, 1999, 59(1-3): 519-528.
- [12] 刘 威. 人工拣选货位分配方法比较与仿真研究 [D]. 北京: 北京物资学院, 2009.
Liu Wei. Comparative study on storage location assignment policies in the manual picking system by simulation [D]. Beijing: Beijing Materials Institute, 2009. (in Chinese)
- [13] Venkata R M, Adil G K. A branch and bound algorithm for class based storage location assignment [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189(2): 492-507.
- [14] Moon G, Kim G P, Moon W J. Improvement of AS/RS performance using design and application of common zone [J]. International Journal of Production Research, 2009, 47(5): 1331-1341.
- [15] Yu Y, de Koster R B M. Optimal zone boundaries for two-class-based compact three-dimensional automated storage and retrieval systems [J]. IIE Transactions, 2009, 41(3): 194-208.
- [16] 朱 杰, 周 丽, 郭 键. 分类存储人工拣选随机服务系统效率研究 [J]. 管理科学学报, 2012, 15(2): 59-71.
Zhu Jie, Zhou Li, Guo Jian. Research on random service system efficiency of sorted storage manual order picking manners [J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(2): 59-71. (in Chinese)

- [17] Gu J X , Goetschalckx M , McGinnis L F. Research on warehouse operation: A comprehensive review [J]. *European Journal of Operational Research* , 2007 , 177(1) : 1 – 21.
- [18] 魏 航. 集装箱码头堆场取箱时间窗优化研究 [J]. *管理科学学报* , 2011 , 14(9) : 21 – 36.
Wei Hang. Optimal pickup time windows allocation at container terminal [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2011 , 14(9) : 21 – 36. (in Chinese)

Optimizing the storage location assignment in a JIT-oriented parts distribution center

NING Lang , ZHANG Hong-bin* , ZHANG Bin

Lingnan College , Sun Yat-Sen University , Guangzhou 510275 , China

Abstract: JIT-oriented parts distribution processes have some particular characteristics , such as abundant SKUs , small batches and dispersed in-out warehouse time. It is very challenging to optimize the storage location assignment in the distribution center. This paper models the storage location assignment problem with time dimension as a special triangle packing problem , and develops a heuristic for solving it. Numerical study with the real case shows that the proposed model and heuristic method are very useful in practice; they can reduce the operating cost and improve the spatial utilization significantly.

Key words: JIT; triangle packing; storage location assignment; vector assignment

(上接第 9 页)

A model of disruption management based on prospect theory in logistic distribution

DING Qiu-lei¹ , HU Xiang-pei² , JIANG Yang³

1. School of Business Administration , Dongbei University of Finance and Economics , Dalian 116025 , China;
2. Institute of Systems Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116023 , China;
3. School of Mechanical Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116023 , China

Abstract: It is difficult to generate a new plan effectively for minimizing the negative impact when disruption occurs in logistic distribution. Based on disruption management , this research aims to improve the science of the decision making of disruption management in logistic distribution by combining the behavioral perception in prospect theory with the quantitative analysis in operations research. At the beginning , the method to measure the deviation based on prospect theory is studied by analyzing the effects of disruption on the customer , logistics enterprise , and delivery worker. Then , the multi-objective model of disruption management based on the Lexicographic Multiple Goal Programming is constructed and an improved ant colony optimization is demonstrated. The computational result of the model proves that , due to the tradeoff between all parties involved in the logistic distribution , our method is more practical than global rescheduling and local rescheduling.

Key words: management engineering; logistic distribution; disruption management; prospect theory; multi-objective optimization