

文章编号:1007-6735(2011)01-0071-04

自动化立体仓库的货位分配模糊算法研究

刘 峰¹, 施 展¹, 刘 莹²

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2. 陕西省计量科学研究院, 西安 710048)

摘要: 针对自动化立体仓库的入库货位分配优化问题,提出了基于模糊数学的货位分配算法. 该算法将货品的质量和使用频率属性设为模糊量,并将该模糊量带入最优货位分配算法中计算,再从计算所得模糊量结果中得到精确的货品位置. 结果表明,该算法能够有效地提高入库的效率.

关键词: 立体仓库; 模糊数运算; 货位分配; 遗传算法

中图分类号: TP 273⁺.4 **文献标志码:** A

Location assignment algorithm for AS/RS based on fuzzy mathematics

LIU Feng¹, SHI Zhan¹, LIU Ying²

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanxi Institute of Metrology Science, Xian 710048, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of location assignment optimization in automatic storage/retrieval system(AS/RS), a new location assignment algorithm was put forward based on fuzzy mathematics. Goods' weight and using frequency were set to be fuzzy variables in the optimum goods' location algorithm, and then the goods' accurate location was achieved from the fuzzy result. It is shown by simulation that the algorithm is effective for improvement of loading operation.

Key words: AS/RS; fuzzy number calculation; location assignment; genetic algorithm

随着工业自动化程度的提高和物流信息化技术的发展,自动化立体仓库(AS/RS)作为物流系统的核心部分,越来越多地应用到各个行业中. 如何对出入库作业进行合理的调度,使整个仓库的运行效率达到最高,是自动化立体仓库研究的一个重要课题^[1].

在出入库调度优化问题中,货品入库时的货位分配问题是影响效率的重要因素. 货位分配问题是研究根据立体仓库现有的资源和能力特性,在综合考虑货品的相关属性下,寻求仓库中最优货位的问题. 文献[1-3]基于不同的算法介绍了有关货位分

配的优化方法,分析了影响货位分配的各个因素,比如货品质量、出入库频率、保存期等属性. 基于货品这些属性提出了行走路径最短、货架的重心最低、货品存货周期最短等优化目标函数. 上述的算法实现都是建立在货品的属性量是精确量的基础上,获取所需的精确量是一件费时费力的工作. 例如要确定货品质量的精确量,就必须称其重量;要确定货品的出入库频率精确量,就必须对其近段时间的出入库次数进行统计. 这些工作都将会直接影响整个仓库的出入库效率.

在现实应用中,模糊量比精确量则更能反映实

收稿日期: 2010-03-08
作者简介: 刘 峰(1986-),男,硕士研究生. 研究方向:信号与信息处理. E-mail:liufeng_usst@163.com

际情况.将货品的质量和出入库频率这两个属性设置为模糊量并将其带入到货位分配最优算法中计算,根据模糊量就能够得到货品分配的精确存放位置.

1 货位分配算法

货位分配算法对于不同的应用场合其具体算法是不同的.在机械行业,由于机械零部件质量较重的特点,对它们进行入库时,一般只需考虑货品的入库数量、质量和使用频率3个属性.寻求的分配策略主要有就近原则、货架受力均匀原则和货位分区原则^[2].针对这些原则建立数学模型,以便在算法中进行计算.

假设货架的每个货位高度为 H 、长度为 L .货架共有 M 列 N 层,将距离入库台最近的一列记为第1列,最下一层记为第1层.第 i 列, j 层的货位记为 (i, j) ($i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$),该货位存放货品的质量为 m_{ij} .堆垛机的水平运行速度为 V_x ,垂直运行速度为 V_y .货位区编号为 R ,货位距离入库出发点越远, R 值越大.有 P 种货品需要进库,每种货品的立方体索引号 COI 值 $I_k = C_k / F_k$ ($k = 1, 2, \dots, P$),其中 C_k 为货品存储总量所需的库存容积, F_k 为货品的出入库频率. COI 值是 Heskett 提出的衡量货品库存量、出入库频率和货位编号相耦合的程度指标^[2].一般库存量越大,使用频率越高的货品,应分配在货架编号较小的货位.

常用分配策略有3种^[2]:

a. 就近原则.在进行入库操作时,优先找到离入库台近的货位作为入库货位,实现堆垛机从入库台到货位分配的货位之间移动时间最短.该策略的优化目标用函数 T 描述为

$$T = \frac{iL}{V_x} + \frac{H(j-1)}{V_y} \quad (1)$$

b. 货架受力均匀原则.尽量将较重的货品放在货架的下方位置,较轻的货品放在货架的上方位置,以保证整个货架的稳定性.货位分配优化的目标是每个托盘上货品的质量与其所在层的乘积之和最小,即要求整个货架的重心最低.该策略的优化目标用函数 S 描述为

$$S = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (jm_{ij}) \quad (2)$$

c. 货位分区原则.如让出库频率高、存取量大的货品应优先存放在离入库台近的货位,则选择编号

较小的货区,而对于出库频率低、存取量小的货品应优先存放在离入库台远的货位,则选择编号较大的货区.设货品按 COI 值由小到大进行排序形成货品链,并分成不同的优先级,优先级可以反应货品的出库频率和存储量^[2].分配优化目标就是使货品的 COI 值和货品所处货位编号 R 的成绩之和最小,该策略的优化目标用函数 Q 描述为

$$Q = \sum_{k=1}^P I_k R \quad (3)$$

以上3个优化目标函数无法同时达到最优,而对于多目标优化也是很困难的,所以采用将多个目标函数通过加权组合方式转换为单个目标函数的方法.可将整体目标函数 F 表示为

$$F = \omega_T T + \omega_S S + \omega_Q Q \quad (4)$$

其中 F 为由3个目标函数 T , S 和 Q 组合而成的单一目标函数, ω_T 、 ω_S 和 ω_Q 分别为目标函数 T 、 S 和 Q 各自的权重系数.

2 货位分配模糊算法

在货位分配算法中,获取货品的属性量是很困难的,如质量和使用频率等.但是给出其大致范围却非常容易实现.将货品的质量和出入库频率这两个属性设置为模糊量,在入库的时候只需要通过观测货品,给出货品属性大致所属的范围,确定其模糊量,然后将该模糊量带入到最优货位分配算法中计算.整个货位分配算法都是基于模糊数运算,所以算法最终的结果也是模糊数.最后再对结果进行反模糊化运算,得到货品所要存放的精确位置.

2.1 模糊量选取

模糊量一般是选取经常变化,不容易确定的量.在货位分配算法中,不同的货品会有不同的属性和分配货位,所以选择货品的相关属性作为模糊量最合适.它的相关属性将直接影响货位分配结果.在公式(1)、公式(2)和公式(3)提出优化目标所需要的输入量参数中,货位高度 H 、长度 L 、堆垛机水平运行速度 V_x 以及垂直运行速度 V_y 都是常量.选择货位的位置标量 i 、 j 都是精确量,它们都与货品本身没有关系,所以都不需模糊化.公式(3)中货位编号 R 与仓库的货位相关,库存容积 C_i 在计算中可以使用存储量来近似代替.它们也不需要模糊化.公式(2)中货品的质量 m_{ij} 和公式(3)中货品的出库频率 F_k 这两个量在入库时一般无法获取其具体大小,但是在计算中却是必要的参数,所以将它们选取为

模糊量较合适.

$$U = \begin{cases} \mu_{VL} = I^1[0, b] \\ \mu_{SL} = I^1[a, c] \\ \mu_{NR} = I^1[b, d] \\ \mu_{SH} = I^1[c, e] \\ \mu_{VH} = I^1[d, f] \end{cases} \quad (5)$$

$$V = \begin{cases} \mu_{LW} = I^1[0, f_2] \\ \mu_{NR} = I^1[f_1, f_3] \\ \mu_{HG} = I^1[f_2, f_4] \end{cases}$$

隶属函数都选择等腰三角型,表示为 $I^1[a, b]$, 其中 a 和 b 分别是隶属函数取某一值对应区间范围的上下限值. 模糊量 m_{ij} 的论域取值为“很轻”(VL)、“较轻”(SL)、“一般”(NR)、“较重”(SH)和“很重”(VH),其隶属度为 U . 将货品的质量等分为 6 个区间,每个区间分别对应着 m_{ij} 一种取值. 模糊量 F_k 的论域语言值定义分为“低”(LW)、“一般”(NR)和“高”(HG),隶属度为 V . 它们定义如公式(5)所示,对应的图像如图 1 和图 2 所示.

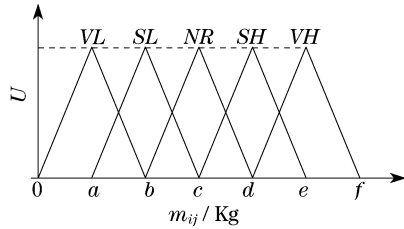


图1 重量隶属函数

Fig.1 Membership function of weight variable

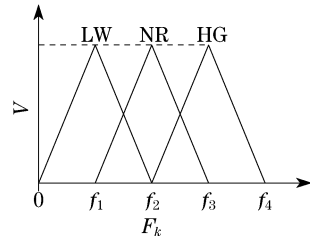


图2 使用频率隶属函数

Fig.2 Membership function of using frequency variable

2.2 模糊优化

组合成适应度函数的各个子目标函数最优解是相互冲突的,即不存在某个存放位置,当货品存放在该位置后 3 个目标函数取值同时达到最小. 提出整体目标函数 F ,将多个目标函数通过加权组合方式转换为单个目标函数. 算法目标是在给定输入量是模糊的情况下寻求使函数 F 为最小值时所对应的货位. 这是一个基于模糊量的单目标优化问题. 采用遗传算法,将 F 作为筛选种群的适应度函数,把寻

求各个目标函数的最优值转换为适应度函数的最优值^[6]. 通过迭代计算逐步寻找使得 F 减小的货位. 具体的算法实现步骤如下:

步骤 1 定义染色体为货品存放的位置 (i, j) (其中 i 为列数, j 为层数). 初始种群个数为 X 个, 最大进化代数为 G . 下一代种群复制、交叉和变异概率分别为 P_z , P_c 和 P_y . 算法中的适应度函数是将 3 个目标函数通过一定的加权系数组合而成,如公式(4)所示.

步骤 2 随机生成 X 个货位,对每个货位进行如下操作:

- 假设入库的货品存放于该货位,将货品信息添加到该货位;
- 将该货位的行 j 、列 i 及其它模糊量或精确量带入到公式(1~3)分别计算 T , S 和 Q ;
- 按照公式(4)将 3 个量进行组合,计算出模糊量 F .

步骤 3 对计算出的 X 个货位的模糊量 F 进行比较,使用质心比较法,选出较优的若干个模糊量.

步骤 4 检测较优的目标函数是否满足条件,如果没有则将较优的模糊量所对应的种群染色体 (i, j) 按照复制、交叉和变异概率分别为 P_z , P_c 和 P_y 构造下一代 X 个种群,重复步骤 2 中的步骤进行计算,直到目标函数满足条件才停止.

在步骤 2 中,计算适应度函数 F 过程中,由于只有货品的质量和使用频率为模糊量,其它的常量(如货架高度、宽度等)都是精确量,所以函数 F 的计算中既有模糊量又有精确量. 当模糊量与精确量作运算时,则无法进行计算. 由于精确量是一种特殊的模糊量,所以先将所有的精确量转换为模糊量,然后再统一使用模糊量运算规则计算. 这里计算 F 中的 S 为例:货品的质量是模糊量,而货位的层数是精确量. 如果使用模糊量来表示 j ,其隶属函数 U_j 可以由公式(6)表示. S 的计算如公式(7)所示.

$$U_j = I^1[j, j] \quad (6)$$

$$S = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (j m_{ij}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I^1[a, b] \cdot I^1[j, j]) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I^1[e, f] \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} e &= \min\{aj, bj\} \\ f &= \max\{aj, bj\} \end{aligned} \right\}$$

步骤 3 在寻求较优的模糊量 F 过程中,需要对 X 个种群各自对应的 F 值进行比较,选取较优 F 所

对应的种群进入下一代计算. 模糊量 F 的比较是通过质心比较法, 假设两个模糊数

$$\bar{F}_a = I^1[a, b]$$

和

$$\bar{F}_b = I^1[c, d]$$

它们的质心如公式(8)所示

$$\left. \begin{aligned} X(\bar{F}_a) &= \frac{1}{2}(a + b) \\ X(\bar{F}_b) &= \frac{1}{2}(c + d) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

如果 $X(\bar{F}_a) > X(\bar{F}_b)$, 则模糊数 $\bar{F}_a > \bar{F}_b$; 反之则 $\bar{F}_a < \bar{F}_b$. 将每一个货位计算所得的模糊量 F 按此方法由小到大进行排序, 最小的 F 所对应的货位 (i, j) 即为算法的最优解.

2.3 模糊量反模糊化

将模糊量带入到程序中计算, 最终的计算结果是模糊的, 但算法最终需要的结果是存放货物的精确位置, 所以需要将模糊的结果反模糊化, 使其变成精确量. 反模糊化的方法有很多, 最常见的主要有最大隶属度法、取中位数法、加权平均法等^[8]. 本算法采用的是货位与适应度函数相耦合的方法实现模糊量的反模糊化.

3 算例

现有仓库货架 10 列 $\times$ 10 层, 共有 100 个货位. 每个货位的高度为 1.5 m, 宽度为 1 m. 堆垛机的水平速度, 垂直速度分别为 0.8 m/s 和 0.5 m/s. 该货架上面初始存放的货物有 9 件, 现将如下 6 种货品进行入库处理. 入库货品的具体信息如表 1 所示.

表 1 货品信息
Tab.1 Goods information

入库货品名称	质量 m_{ij}/Kg	存储量 $C_k/\text{件}$	出库频率 F_k
大型齿轮	SL(20)	200	HG(0.9)
链条	SL(18)	200	LW(0.3)
I 型直流电机	VH(50)	5	HG(0.8)
II 型交流电机	VH(55)	20	LW(0.3)
螺母	VL(5)	100	LW(0.1)
轴	NR(30)	80	LW(0.2)

算法中取种群规模 $X = 10$, 最大迭代次数 $G = 200$, 遗传算子复制概率 $P_s = 0.3$, 交叉概率 $P_c = 0.6$, 变异概率 $P_y = 0.1$. 3 种原则目标权重系数分

别为 $m_T = 0.5$, $m_S = 0.3$, $m_Q = 0.2$. 使用 MATLAB 对算法进行仿真, 货品“大型齿轮”的入库算法执行结果如表 2 所示, 随着目标函数递减, 计算的货位在逐步靠近最优值. 表 3 比较了采用不同的算法得到的分配结果.

表 2 “大型齿轮”货位分配仿真算法结果
Tab.2 Location assignment algorithm simulation result of “Big gear wheel”

迭代次数	货位	目标函数 F
1	(1,1)	10 392.291 839
10	(2,2)	6 902.239 283
20	(8,3)	3 400.231 930
50	(7,2)	1 209.039 493
80	(6,3)	676.392 049
100	(5,8)	340.192 031
120	(6,7)	123.940 993
150	(4,5)	99.293 832
180	(5,5)	31.392 940
200	(5,6)	25.000 322

表 3 货位分配算法计算结果对比
Tab.3 Different location assignment algorithm comparison

入库货品名称	不采用模糊理论分配的存储位置	采用模糊理论分配的存储位置
大型齿轮	(5,6)	(5,5)
链条	(4,7)	(4,8)
I 型直流电机	(4,1)	(5,1)
II 型交流电机	(2,2)	(2,1)
螺母	(4,6)	(4,6)
轴	(3,1)	(5,1)

仿真结果显示: 采用模糊理论分配算法的计算结果和未采用模糊理论分配算法的计算结果近似, 由于采用遗传算法, 每次计算结果可能会有所不同, 但是相差不大, 均在误差允许范围之内. 以上实验结果均是在多次运行货位分配算法下得出的多数解.

4 结束语

在立体仓库的货品入库操作中, 采用基于模糊数学的货位分配算法在一定程度上降低了入库工作量, 使得货位分配更加合理、方便和快捷, 大大提高了入库操作的效率, 但是算法本身仍需要进一步优

(下转第 79 页)