

文章编号: 0258-2724(2010)03-0476-06 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.03.027

制造业物流缓存区布局优化

王占中, 郑家彬, 许洪国, 伍正美

(吉林大学交通学院, 吉林 长春 130025)

摘要: 为了解决制造业物流缓存区布局不合理导致的搬运费用增加和物料供应不顺畅问题,提高物料供应效率,以总搬运量最小为目标,以物料搬运矩最小和缓存区内各作业单位之间邻接关联度最大为约束条件,建立了改进的物流缓存区布局优化模型.用改进的遗传算法求出该模型的优化解.算例结果表明:叉车平均工作效率达到82.75%、卸货位的平均效率达到84.74%.

关键词: 物流;缓存区;布局;优化;遗传算法

中图分类号: F406.2 **文献标识码:** A

Optimization of Logistics Buffer Zone Layout in Manufacturing Industry

WANG Zhazhong, ZHENG Jiabin, XU Hongguo, WU Zhengmei

(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: To reduce the increasing handling cost and speed the slow materiel movement caused by poor layout of logistics buffer zones in manufacture industry, an optimization model for the layout of logistics buffer zones was presented with the minimum product of total transportation volume and distance as the objective, and the maximum adjacency among operation units as the restraints. The optimization solution to the model was obtained using an improved genetic algorithm. The results of an example were that the average efficiency of forklifts was about 82.75%, and that of unloading bays was 84.74%.

Key words: logistics; buffer zone; layout; optimization; genetic algorithm

随着用户对产品需求的日益个性化,产品改型越来越快,品种系列越来越多,我国制造业的生产模式逐渐发展为基于订单的混流生产模式,这就对物料供应提出了更高、更新的要求,而物料的快速有效流动是以合理科学的设施布局为前提的.合理科学的设施(设备、部门或物料所需空间)布局将有效降低车间内部物流强度和难度、加快物料处理效率、保证物料及时供应、节省物料搬运费用等,从而提高整个物流系统的运作效率,为企业赢得竞争优势.因此,获得优良的设施布局对改善企业整体功能,实现现代化管理和先进生产方式具有重要的

实用价值.

制造系统中的物流缓存区作为衔接企业外部物流和内部物流的重要物流设施,其功能是进行收货、拆箱、拣选、配货和送货上线等作业,高效率地为生产线提供服务,其布局合理性将直接影响整个物流系统的物料供应效率和流畅度,进而影响各设施的均衡度和物流的平衡性.物流缓存区的布局要求物流通畅,前后物流作业连续,物料搬运距离小,搬运路线尽量避免迂回、交叉,保证整个生产线物流流畅、高效地运行^[1].物流缓存区的布局是在已知的物流缓存区平面内,布局若干尺寸已知的作业

收稿日期: 2009-09-21

作者简介: 王占中(1965-),男,教授,博士,研究方向为物流资源优化技术,电话:13904316393, E-mail: wangzz@jlu.edu.cn

通讯作者: 郑家彬(1975-),男,博士研究生,电话:13894826150, E-mail: zheng_jsh@sina.com

单位,其目标是使各作业单位的布局合理,同时满足缓存区内物料搬运矩最小和各作业单位之间非物流关系密切度尽可能最优的要求^[2-3].搬运矩是指搬运物料时各作业单位之间的物流量与搬运距离的乘积^[4-6].

本文以某制造企业物流缓存区的布局优化为研究对象,采用数学方法与仿真验证相结合的方法,获得了优良的布局方案.

1 模型建立

缓存区布局需预留一定的活动空间及通道宽度,以方便操作人员和搬运工具作业,还需满足各种约束条件^[7-8],如:(1)间距约束:各作业单位之间在 X 和 Y 方向应满足一定的间距约束,且无重叠.(2)边界约束:所有的作业单位必须布局在缓存区的有效区域内,即作业单位在 X 和 Y 方向上的布局不能超出缓存区的长宽尺寸;(3)其他约束:考虑布局美观及与生产线布局关系特殊要求等.该项约束可在布局设计结果的基础上加以考虑和调整.图 1 为作业单位之间的相对位置图,其中 $d_{x_{ij}}$ 、 $d_{y_{ij}}$ 分别为作业单位 i 、 j 在 X 方向和 Y 方向的最小间距, l_i 和 w_i 分别为作业单位 i 在 X 方向和 Y 方向的宽度, (x_i, y_i) 为作业单位的中心坐标^[9-10].

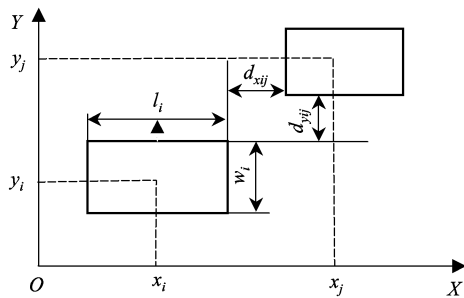


图 1 作业单位的相对位置

Fig. 1 Relative location of operation units
物流缓存区布局问题的数学模型如下.

目标函数:

$$\min F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij},$$

$$\min F_2 = M - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} b_{ij},$$

约束条件:

$$|x_i - x_j| + Nz_{ij} \geq \frac{l_i + l_j}{2} + d_{x_{ij}},$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1, \quad j = i+1, i+2, \dots, n,$$

$$|y_i - y_j| + N(1 - z_{ij}) \geq \frac{w_i + w_j}{2} + d_{y_{ij}},$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1, \quad j = i+1, j+2, \dots, n,$$

$$z_{ij}(1 - z_{ij}) = 0,$$

$$\frac{l_i}{2} \leq x_i \leq L - \frac{l_i}{2},$$

$$\frac{w_i}{2} \leq y_i \leq W - \frac{w_i}{2},$$

$$x_i, y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

式中: F_1 、 F_2 分别为作业单位之间的总搬运量函数与关联度函数; n 为作业单位数量; M 为非常大的常数; N 为任意常数; L 和 W 为缓存区的有效长度和宽度; f_{ij} 、 d_{ij} 为作业单位 i 与 j 之间的物流量与曼哈顿距离,其中 $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$; b_{ij} 为作业单位 i 与 j 的邻接度,由实际物流距离 d_{ij} 和最大可能距离 d_{max} 决定,参见文献[6]的关联因子含义(见表 1); R_{ij} 为作业单位之间非物流关系紧密程度,由系统布置设计法分析得到,根据 Lee H-J^[7] 的分类和量化关系,密切度划分为 A、E、I、O、U 共 5 个等级,对应的量化值 R_{ij} 为 5、4、3、2、1.

表 1 关联因子的界定
Tab. 1 Determination of adjacency

d_{ij} 的范围	b_{ij}
$[0, d_{max}/6)$	1.0
$[d_{max}/6, d_{max}/3)$	0.8
$[d_{max}/3, d_{max}/2)$	0.6
$[d_{max}/2, 2d_{max}/3)$	0.4
$[2d_{max}/3, 5d_{max}/6)$	0.2
$[5d_{max}/6, d_{max}]$	0.0

2 物流缓存区布局优化

物流缓存区布局优化属于非线性规划问题,由于存在诸多约束条件,如间距约束、边界约束及预留物流通道宽度约束等,使得对作业单位较多的布局问题进行求解时很难找到最优解,属于 NP(Non-deterministic polynomial) 完全问题^[11-12].遗传算法作为一种快捷、简便、容错性强的全局优化搜索算法,求解该类问题具有明显优势,其优越性主要表现在搜索过程中可以跳出局部最优解,即不易陷入局部最优,能够解决对初始布局敏感的问题,在有效的时间内求得满意解^[13-14].因此,本文采用遗传算法求解物流缓存区的布局优化问题.

2.1 遗传编码

本文假设物流缓存区中各作业单位的形状均为矩形,并采用基于序列对结构的编码机制.

序列对是指在一个矩形块布置中所有矩形块

块名的两个排列构成的对. 对一个所有矩形位置确定的布局, 从左下角至右上角的一组正步线可确定所有矩形块的一个排列次序 $\Gamma^+ = ecadb$, 同时从右下角至左上角的一组负步线可确定所有矩形块的另一个排列次序 $\Gamma^- = fcbead$, 两个排列构成一个序列对, 如图2所示. 一组序列对中又包含了矩形块的水平和垂直约束^[1,4]. 例如: 序列对 $(\dots a \dots b, \dots a \dots b \dots)$ 表示当 a 在次序 Γ^+ 和次序 Γ^- 中均位于 b 之前时, 对应的矩形块 a 位于矩形块 b 的左边; 序列对 $(\dots a \dots b, \dots b \dots a \dots)$ 表示当 a 在次序 Γ^+ 中位于 b 之前、在次序 Γ^- 中位于 b 之后时, 对应的矩形块 a 位于矩形块 b 的上面. 序列对与布局方案一一对应.

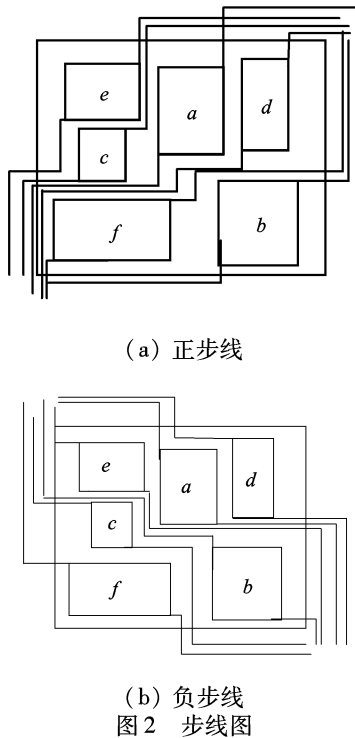


图2 步线图

Fig.2 Step line figure

设作业单位编号为连续自然数 $1, 2, \dots, n$, 用作业单位编号的两个相互独立的次序排列组成一对序列对 (Γ^+, Γ^-) , 以此表示物流缓存区布局问题的解空间.

2.2 适应度函数的确定

首先将双目标函数转化为单目标函数:

$$\min F_i = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 = \omega_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij} + \omega_2 \left(M - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} b_{ij} \right),$$

其中: ω_1 和 ω_2 分别为搬运矩和邻接关联度的权值, 且 $\omega_1 + \omega_2 = 1$.

在构造适应度函数时, 首先使 F_1 和 F_2 的纲量

为1. 缓存区布局问题属于最小化问题, 本文用单目标函数的倒数形式构造适应度函数, 同时, 为了满足约束条件, 对适应度函数采用了相应的惩罚策略, 用惩罚函数 $p(x)$ 处理布局平面的尺寸约束. 带惩罚项的适应度函数为:

$$\text{eval}(F) = \frac{1}{\min F_3} = \frac{1}{\omega_1 F'_1 + \omega_2 F'_2 + p(x)},$$

$$p(x) = \begin{cases} +\infty, & \text{当布置方案的长度和宽度} \\ & \text{超出缓存区边界时,} \\ 0, & \text{满足约束条件,} \end{cases}$$

$$F'_1 = F_1 / F_{1,\max}, \quad F'_2 = F_2 / F_{2,\max},$$

其中: $F_{1,\max}$ 和 $F_{2,\max}$ 分别表示最佳个体的搬运矩和邻接关联度.

2.3 遗传操作

初始化操作是随机构建种群规模为 popsize 的完整染色体, 确定交叉率 P_c 、变异率 P_m 以及种群进化代数 G , 对每次随机产生的序列对进行合法性和单一性检查, 保证初始种群中所有染色体均能在遗传算法和进化运算中有好的表现.

选择操作是根据一定的规则或方法, 从上代群体中选择出一些优良个体遗传到下一代群体中. 本文用轮盘选择法进行选择运算.

交叉操作是遗传算法中最主要的遗传操作, 将群体内的各个体随机搭配成对, 对每一个个体, 以交叉概率 P_c 交换它们之间的部分染色体. 采用 PMX (partly matched crossover) 交叉法, 即随机选择两个交叉位, 两个后代染色体前几位的基因分别继承双亲的交叉位之间的基因, 后几位的基因分别按对方基因顺序选取不重复的基因.

染色体变异的作用是避免在选择和交叉过程中遗漏具有潜能的基因串, 保证了遗传算法的有效性, 使搜索过程能够有机会跳出局部最优解. 本文的变异操作有3种: ①在 Γ^+ 中互换作业单位 a 和 b 的位置; ②在 Γ^+ 和 Γ^- 中互换作业单位 a 和 b 的位置; ③对 a 作 90° 度旋转. 每代按确定的变异率 P_m , 从上述3种变异操作中随机选择一种方法进行染色体变异, 产生新的子代.

3 案例分析

某汽车制造企业焊装车间面积为 $34\,400\text{ m}^2$, 物流缓存区面积超过 $5\,000\text{ m}^2$, 占车间总面积的15%, 共有牵引车5台. 根据缓存区的主要功能, 将该焊装车间的物流缓存区设置为7个区域: 收货

区、待发区、货物储存区、托盘暂存区、拆箱拣货区、退货区和管理控制区.分析各作业单位之间的物流强度和非物流关系,根据各作业单位内零件的最大

库存量、存储方式、器具尺寸和物流通道宽度,计算出各作业单位的面积需求,相关数据见表2.

表2 作业单位间邻接关联度及物流强度参数
Tab.2 Parameters of adjacency and logistics flow between operation units

缓存区	1 收货区	2 待发区	3 存储区	4 空托盘暂存区	5 拆箱拣货区	6 退货区	7 管理控制区	需求面积/m ²
1 收货区	—	161.48	499.69	0	0	0	0	400
2 待发区	1	—	0	0	656.00	0	0	800
3 存储区	2	2	—	0	494.50	20.30	0	840
4 空托盘暂存区	3	2	1	—	10	0	0	100
5 拆箱拣货区	1	2	3	1	—	0	0	720
6 退货区	4	1	1	1	1	—	0	160
7 管理控制区	5	5	2	1	2	2	—	80

注:对角线左下方数据表示非物流关系;对角线右上方数据表示物流强度, m³.

该算例的种群大小为100,交叉率为0.9,变异率为0.1,最大进化代数数为200,搬运矩和非物流关联度的权重分别为0.7和0.3,通道宽度为3.5m,其优化结果对应的序列对为(7623154,7462513).针对初步优化结果,根据实际的要求做适当的调整

和修正;考虑在作业单位内部以供应商为单位,并结合生产线的情况,以占用存储面积最小和零件向生产线供货距离最短为主要原则,对各作业单位内部进行布局,最后确定该车间缓存区的布局方案,如图3所示.

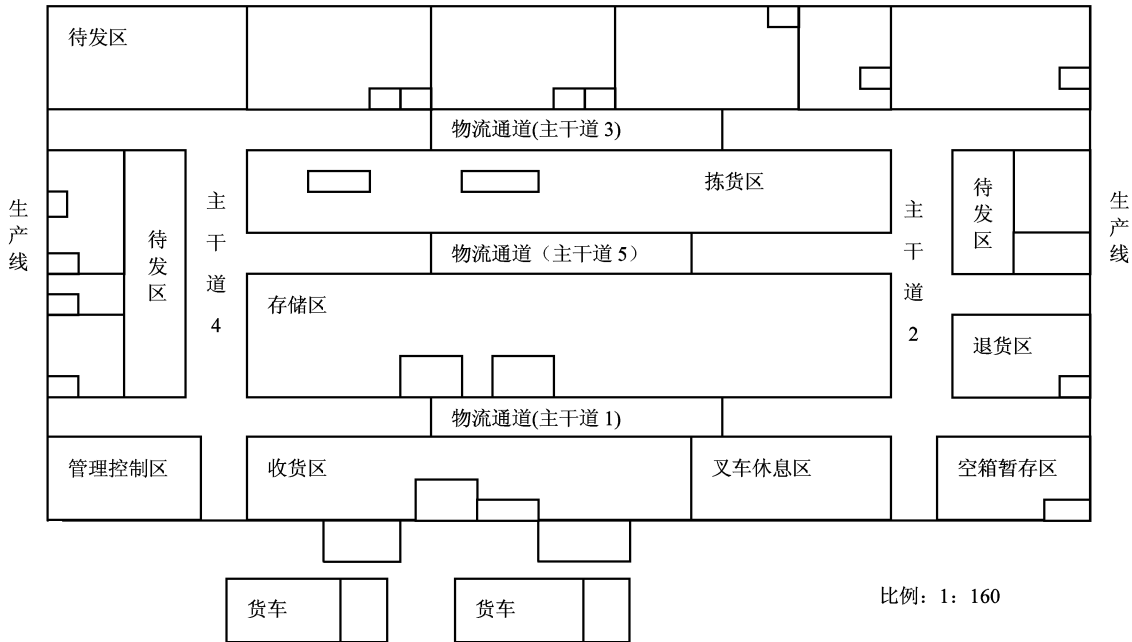


图3 焊装车间物流缓存区布局
Fig.3 Logistics buffer zone in a welding-assembling workshop

4 仿真分析

数学模型是对缓存区布局问题的抽象化描述和计算,不能直观地验证结果的准确性和可行性.应用计算机仿真检验物流缓存区的布局规划方

案^[15],并对物流缓存区内主干道的峰值、均物流流量等重要参数进行动态统计分析和评价,以此验证布局方案的可行性和合理性.

利用 eM-Plant 仿真软件对上述布局方案进行模拟.其仿真模型由下面几部分组成:仿真钟、随机

到达物料流、叉车模块、各作业单元模块、瓶颈分析器和资料收集表. 进行仿真初始化, 完成收货、分拣、存储和叉车卸货等逻辑过程, 运行仿真模型并输出仿真报告. 不考虑叉车的休息时间与维修时间, 叉车动态工作效率为 80% ~ 92%, 叉车平均工作效率为 82.75%, 卸货位的动态效率达到 70% 以上, 卸货位的平均效率为 84.74%. 动态效率仿真分析曲线如图 4 所示, 缓存区内主干道物流量输出结果如图 5 所示.

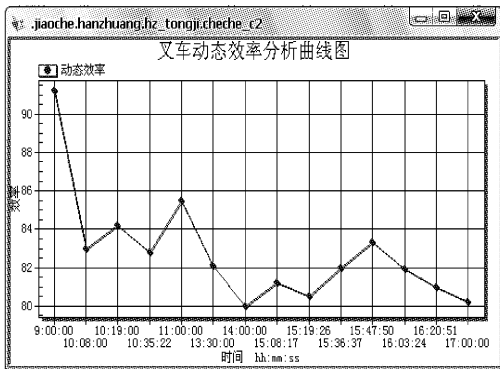


图 4 叉车效率仿真曲线
Fig. 4 Simulated forklift efficiency

分析仿真结果可知:

(1) 在总时间不包含休息时间和维修时间的情况下, 叉车的动态效率在 80% ~ 92% 之间; 考虑叉车的休息时间及可靠性为 95% 的情况下, 收货区中卸货位的动态效率均在 70% 以上, 平均效率为 84.74%, 并且还有很大富裕量, 说明来货的均匀性和卸货位利用率均较高, 两个卸货位可以满足目前的装卸量. 即使考虑异常情况下来货车辆波动, 卸货位的卸货能力也符合要求, 因此, 收货区卸货位的布局是合理的.

(2) 在总时间不包含休息时间和维修时间的情况下, 叉车的动态效率在 80% ~ 92% 之间; 考虑叉车的休息时间及可靠性为 95% 的情况下, 叉车动态效率在 68% ~ 79% 之间, 这说明叉车的利用率较高; 同时, 从仿真模型运行时的实时动态模拟过程可以看到, 叉车的运行路线无交叉和阻塞情况, 说明各区之间的相互位置布局是合理的.

(3) 根据暂存区内国产件和进口件的实时统计数量, 除 3 种国产零部件出现过较大库存量外, 其余各零部件库存量均较小, 并且没有出现缺货情

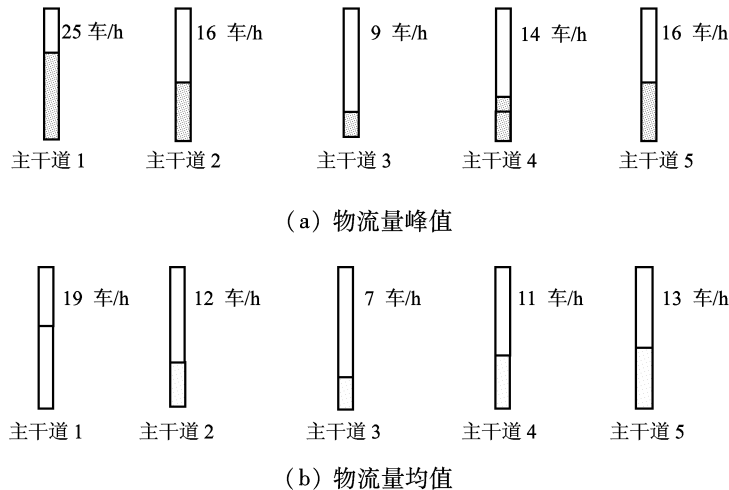


图 5 缓存区内主干道物流量
Fig. 5 Logistics flows of main paths in buffer zone

况, 说明暂存区的面积规划符合要求, 在满足供货要求的情况下具有较小的库存量、集约的存储面积, 节约了库存和作业成本.

(4) 从主干道的物流量统计结果可以见, 主干道 1 和主干道 5 较为繁忙, 可适当调宽主干道 1 和 5 的通道宽度或改变相关路线, 将部分物流作业调整到其它通道.

根据仿真运行结果, 该物流缓存区布局优化方案具有良好的运行效果, 对发现的问题进一步改

进, 使该布局方案更加合理和优化.

5 结论

本文采用了数理分析、实例验证和仿真检验相结合的研究方法, 用遗传算法求解物流缓存区布局优化模型, 得到科学合理的布局方案, 有效地减少了物料搬运量, 提高了物流运作效率, 解决了物流资源利用的不均衡性, 保证整个系统生产的顺利进行, 在理论和实践方面都具有重要意义.

生产物流系统是复杂、动态的系统,需要进行实时调整,物流缓存区布局也将随之变动,以适应生产系统的物料供应需求.因此,对物流缓存区的布局研究需要考虑更多的约束条件,如出入口位置、生产线布局和物料搬运系统的限制等,并不断发现问题,优化布局,以降低物流成本、提高物流服务质量.

参考文献:

- [1] HEURISTIC L H J. Graph-theoretic approach in facility layout problem: the development of a decision support system[D]. Arlington: University of Texas, 1988.
- [2] HO Y C, MOODIE C L. A hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree conformation[J]. International Journal of Production Research, 2000, 38: 895-928.
- [3] KUSIAK A, HERANU S S. The facility layout problem[J]. Eur. J. Oper. Res., 1987, 29: 229-251.
- [4] LEE K Y, ROB M I, JEONG H S. An improved genetic algorithm for multi-floor facility layout problems having inner structure walls and passages[J]. Computers & Operations Research, 2003, 30(1): 117-138.
- [5] 朱纪平,马琪. 矩形物体布局的模拟进化算法[J]. 计算机与现代化, 2002, 2: 15-19.
ZHU Jiping, MA Qi. A simulated evolution algorithm for rectangle parking based on sequence pair[J]. Computer and Modernization, 2002, 2: 15-19.
- [6] 陈希,王宁生. 基于脑模型联接控制器的车间布局多目标优化技术研究[J]. 南京理工大学学报, 2004, 28(6): 595-600.
CHEN Xi, WANG Ningsheng. Multi-object optimization technology of facility virtual layout based on cerebellar model articulation controller[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2004, 28(6): 595-600.
- [7] 朱耀祥,朱立强. 设施规划与物流[M]. 北京:机械工业出版社, 2004: 85-95.
- [8] 秦进,史峰,任鹏. 限制条件下的配送中心内部布局问题研究[J]. 系统工程, 2004, 22(11): 30-32.
QIN Jin, SHI Feng, REN Peng. Restricted layout problem in distribution center[J]. System Engineering, 2004, 22(11): 30-32.
- [9] WANG Zhanzhong, CHEN Zhiyong. Research on collaboration of before production logistics based on manufacturing industry[C] // 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI 2008), Beijing: [s. n.], 2008: 2038-2086.
- [10] 李冰,叶怀珍. 二维平行放位装车问题的布局约束启发式算法[J]. 西南交通大学学报, 2002, 37(4): 443-447.
LI Bing, YE Huaizhen. A heuristic layout restriction algorithm for solving two-dimensional rectangular layout loading problems[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2002, 37(4): 443-447.
- [11] 于瑞峰,王永县,彭海. 工作地中设施布局问题的改进遗传算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(10): 1351-1354.
YU Ruifeng, WANG Yongxian, PENG Hai. Improved genetic algorithm for workplace facility layout[J]. Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition, 2003, 43(10): 1351-1354.
- [12] 陈希,王宁生. 基于遗传算法的车间设备虚拟布局优化技术研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2004, 34(5): 627-631.
CHEN Xi, WANG Ningsheng. Research on optimization technology of facility virtual layout based on genetic algorithms[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2004, 34(5): 627-631.
- [13] 龚全胜,李世其. 基于遗传算法的制造系统设备布局设计[J]. 计算机工程与应用, 2004, 26: 202-205.
GONG Quansheng, LI Shiqi. Layout design of manufacturing system based on genetic algorithms[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 26: 202-205.
- [14] 许立,李经民,王秀伦. 基于遗传算法的车间设备布局优化设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004, 12: 45-48.
XU Li, LI Jingmin, WANG Xiulun. Optimal design for equipment layout of workshop based on genetic algorithms[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2004, 12: 45-48.
- [15] 常建娥,马立坤. 计算机仿真技术在设施布置中的应用[J]. 物流技术, 2007, 26(10): 95-97.
CHANG Jian'e, MA Likun. Application of computer simulation technology in facility assignment[J]. Logistics Technology, 2007, 26(10): 95-97.