

基于生物遗传算法的车间布局优化算法

李郝林, 杨 敏

(上海理工大学, 上海 200093)

摘 要: 为了有效地减少产品在车间中的传输时间, 根据车间中的生产工件的工艺流程对设备进行优化布局是十分必要的。本文应用遗传算法突出的寻优能力, 根据中小批量生产方式的特点, 提出了车间内设备布局的优化设计方法。

关键词: 车间布局; 遗传算法; 优化算法

中图分类号: TP278 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-760X(2001)04-0035-04

Optimal Algorithm for Equipment Arrangement of Job Shop Based on Genetic Algorithms

LI Hao-lin, YANG Min

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To shorten the transfer time of workpiece in job shop, it is necessary to optimize the equipment arrangement of job shops based on the technological process of workpiece. In this paper, we use the special optimization ability of genetic algorithms, in view of the characteristic of batch production, and give out the optimum algorithms for the equipment arrangement of job shop.

Key words: job shop arrangement; genetic algorithms; optimum algorithms

随着经济形势的发展, 制造业的竞争逐步从规模竞争、质量竞争转向速度竞争, 缩短从订货到交货的周期是赢得市场的首要因素。许多与此有关的新技术得到迅速的发展和应用, 如并行工程技术、快速原型成型技术、客户化生产方式等。据统计^[1], 在一个产品的生产周期中, 等待时间占的比例达到 90% ~ 95%, 真正用于产品加工的时间所占的比例很小, 其中车间内物料流动的时间是影响生产率的主要因素之一, 改变车间内设备间的布局, 使设备尽可能按照产品的工艺过程顺序布置, 可有效地减少搬运时间和降低生产成本。针对不同的生产条件, 设备的布局分为产品布局和工艺布局两种类型。其中产品布局是以产品或部件为对象, 适于大批量生产的车间使用, 而工艺布局是按照生产过程的各个不同的工艺阶段来进行布局, 适于中小批量生产车间使用。从数学的角度看, 设备布局优化算法属于非线性规划问题, 由于约束条件较多, 对较多设备的布局问题求解时, 将难于找到一种最优解。本文针对工艺布局情况, 结合我们所开发的生产车间调度系统软件^[2], 通过一个时期内工厂生产工件的工艺流程统计分析, 提出关于设备布局的合理化建议, 从而提高工厂的生产效率和

应变市场的能力。文章应用生物遗传算法突出的寻优能力, 根据中小批量生产方式的特点, 提出了车间内设备布局的优化设计方法。

1 车间设备布局问题

设车间中共有 n 个机床设备 $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ 通过生产调度软件的运行, 统计出工件在各设备间的传输次数为

$$\begin{matrix} & m_1 & m_2 & \dots & m_n \\ \begin{matrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{matrix} & \left| \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{matrix} \right| \end{matrix} \quad (1)$$

式中 a_{ij} 表示由设备 m_i 传输至 m_j 的次数, 当 $i = j$ 时, 令 $a_{ij} = 0$ 。另外, 设各设备间的距离为

$$\begin{matrix} & m_1 & m_2 & \dots & m_n \\ \begin{matrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{matrix} & \left| \begin{matrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{matrix} \right| \end{matrix} \quad (2)$$

收稿日期: 2001-06-17

基金项目: 国家教委高等学校骨干教师资助计划项目 (4078)

式中, d_{ij} 表示设备 m_i 与 m_j 之间的距离。车间布局的设计应使得各设备间的运输距离为最短, 即

$$\min_{i=1, j=1}^n a_{ij} d_{ij} \quad (3)$$

另外, 各设备在车间中均需占有一定的面积, 设备间还需为操作人员留有一定的活动空间。因此, 在车间布局设计中还需考虑一些约束条件。图 1 为设备 i 和设备 j 的相对位置图, 其中 d_{xij} 、 d_{yij} 分别为设备 i 、 j 在 X 方向和 Y 方向的最小间距, S_i 和 L_i 分别为设备 i 在 X 方向和 Y 方向的宽度。

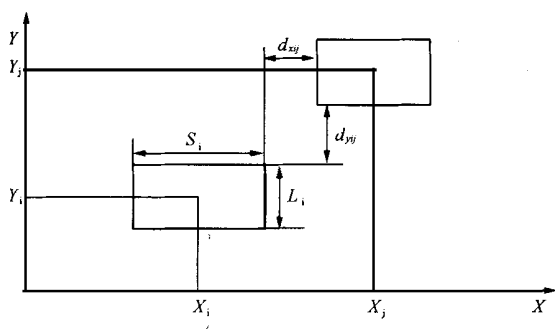


图 1 设备 i 与设备 j 的相对位置

实现车间布局的优化设计, 所需要的约束条件包括:

a) 间距约束: 设备间应保持一定的距离, 即满足下式

$$|X_i - X_j| \geq \frac{S_i + S_j}{2} + d_{xij} \quad (4)$$

$$|Y_i - Y_j| \geq \frac{L_i + L_j}{2} + d_{yij} \quad (5)$$

b) 边界约束: 设备在 X 、 Y 方向的布置不应超过车间的长宽尺寸, 即

$$\left\{ \begin{array}{l} |X_i - X_{i+1}| + \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \leq h \\ |Y_i - Y_{i+1}| + \frac{L_i + L_{i+1}}{2} \leq g \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |X_i - X_{i+1}| + \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \leq h \\ |Y_i - Y_{i+1}| + \frac{L_i + L_{i+1}}{2} \leq g \end{array} \right. \quad (7)$$

式中: h 、 g 分别为车间在 X 方向的长度和 Y 方向上的宽度。

c) 其它约束: 除了上述设备尺寸方面的约束条件外, 还需考虑布局美观及特殊要求方面的约束, 如每行设备的中心应对齐以及安全通道的设置等。本文仅从产品工艺的特点出发, 考虑上述两个约束条件下的设备优化布局问题。而对于第三条约束, 可由决策者在设计结果的基础上加以考虑和调整。要实现上述算法, 特别是要在无数种可能的设备布局中, 找出最优的设备布局方案, 在算法上是一件

非常困难的事情。为解决此问题, 本文采用遗传算法, 应用其突出的寻优能力, 确定最优的设备布局方案。

2 基于遗传算法的设备布局优化算法

遗传算法的术语来源于自然遗传学。一个备选解被称为一个染色体 (Chromosomes), 每个染色体由若干个基因 (Gene) 组成, 每个基因可用来表示一个数值, 若干个染色体组成一个群体 (Population)。遗传算法是一个对备选解进行迭代运算的过程, 每一次迭代称为一代。在完成一次迭代后, 利用一定的评价函数对当前的群体进行性能评价, 并在评价的基础上产生新一代。初始的群体可随机地根据经验主观地确定, 群体的容量固定为 N , 具体算法表示如下:

- 令 $i = 0$, 产生一初始的群体 $G(i)$;
- 通过一定的评价函数对 $G(i)$ 进行评价;
- 如满足结束条件, 转至(7);
- 由 $G(i)$ 产生新一代以 $G(i+1)$, 并令 $i = i + 1$;
- 评价 $G(i)$;
- 返回至(3);
- 停止。

以上迭代运算过程直至寻到一个满意的解或达到预先设定的迭代次数时为止。算法中的评价函数主要用于对当前一代中的各个染色体进行评价, 通过评价在下一代中除去若干个低性能的染色体, 保留一些高性能的染色体, 并通过遗传算子补充一些新的染色体, 以保证下一代群体包含有新的信息, 并使其平均性能不断得到改善, 最后得到非常优秀的群体, 满足问题求解的要求。

根据设备布局优化设计的要求, 设计两组染色体, 即

$$X(\text{设备的 } X \text{ 坐标}): x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots x_n \quad (9)$$

$$Y(\text{设备的 } Y \text{ 坐标}): y_1 \ y_2 \ y_3, \dots y_n$$

以表示设备在车间中的坐标位置。其中 x_i

$[S_{\min}/2, h]$, $y_i \in [L_{\min}/2, g]$, $i = 1, 2, \dots, n$, S_{\min} 、 L_{\min} 分别为设备的长度和宽度的最小值。若取遗传群体容量为 N , 则首先应在 X 、 Y 各自取值的范围内, 随机地产生 N 对 X 和 Y 染色体, 并依据约束条件(4) ~ (7) 对所产生的染色体进行检验, 去除不符合约束条件的染色体, 进一步补充符合约束条件

的染色体,直至其容量达到 N 。然后根据式(3) 计算每对染色体的优化目标函数值。

遗传过程中,通过式(3) 分别计算 N 对染色体各设备间的运输距离,选出当前一代中最为优秀的若干对染色体作为繁殖后代的双亲,形成交配池(Mating Pool),并通过遗传算子产生一些新的染色体,形成下一代染色体的群体。通常遗传算子包括交叉(Crossover) 和变异(Mutation) 两种,交叉表现了利用优良染色体进行杂交产生新个体的随机过程。变异模拟了生物进化过程中的偶然基因突变现象。对于(9) 中的一对染色体 X 和 Y 可分别对 X 和 Y 染色体进行交叉运算,即首先随机地从交配池中取出两个染色体 X_i 和 Y_i ,再随机生成一个交叉位置,将交叉位置左右两边的基因互易其位,从而得到一对新的染色体。例如

$$\begin{array}{cccc|cc} X_i: & x_{1i} & x_{2i} & x_{3i} & & x_{4i} & x_{5i} \\ X_j: & x_{1j} & x_{2j} & x_{3j} & & x_{4j} & x_{5j} \end{array}$$

在“|”位置处的交叉结果为

$$\begin{array}{cccc|cc} X_i: & x_{1i} & x_{2i} & x_{3i} & & x_{4j} & x_{5j} \\ X_j: & x_{1j} & x_{2j} & x_{3j} & & x_{4i} & x_{5i} \end{array}$$

对于选中变异的基因,其值由一个随机数或当前数的 110 % 或 90 % 替代。按照式(8) 的遗传过程,直至迭代次数达到规定的遗传代数 G ,最后将群体中满足最优条件(3) 的染色体作为解值。

有关上述遗传算法参数的选择,如遗传群体容量 N 、交叉概率、变异概率等,可参考文献³。

3 计算实例

现以某车间(大小为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$),要安放 10 台加工设备为例,进行车间布局优化的计算,以说明所提出算法的使用方法及其有效性。

首先按照工件的加工工艺,在一段时间内由生产调度软件统计出工件在各设备间的传输次数,如表 1 所示。各加工设备的外部尺寸如表 2 所示。

表 1 工件在各设备间的传输次数

	m_1 (车间料库)	m_2 (刨床)	m_3 (车床)	m_4 (钻床)	m_5 (蝗床)	m_6 (磨床)	m_7 (铣床)	m_8 (滚床)	m_9 (刨床)	m_{10} (成品检验)
m_1	0	572	1559	157	0	52	76	172	0	31
m_2	15	0	26	0	2	9	68	1187	74	0
m_3	6	54	0	64	36	0	88	290	6	118
m_4	0	14	37	0	38	7	86	0	183	6
m_5	7	4	0	22	0	11	51	172	0	77
m_6	20	25	13	28	27	0	18	0	735	0
m_7	5	10	4	9	35	16	0	43	15	44
m_8	0	12	3	1	5	19	27	0	1	0
m_9	3	0	1	73	17	106	10	69	0	142
m_{10}	2	13	4	25	24	6	567	0	64	0

表 2 加工设备的外部尺寸

m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9	m_{10}
3 × 3	1 × 0.8	1.5 × 0.8	1.5 × 0.8	0.8 × 0.7	1.5 × 0.8	1.2 × 1	1.5 × 0.8	0.7 × 1.1	2 × 3

按照式(9) 设计两组染色体,并取遗传算法的参数为,群体容量 $N = 100$,交叉概率 4 %,遗传代数为 100,进行车间布局的设计计算。计算过程中,考虑到操作空间问题,取设备在 x 方向上的最小间距为 0.8m,在 y 方向上的最小间距为 0.5m,(即 $d_{xij} = 0.8, d_{yij} = 0.5, i, j = 1, 2, \dots, 10, i \neq j$),由此

得出的车间布局如图 2 所示。考虑到设备的美观布置,对图 2 的计算结果再进行人工调整,结果如图 3 所示,并将其作为最后的设计结果。由表 1 和图 2 可以看出,对于工件传输较为频繁的两个设备,其间的距离也较近,说明通过车间布局的优化设计可有效的减少工件在设备间的运输时间。

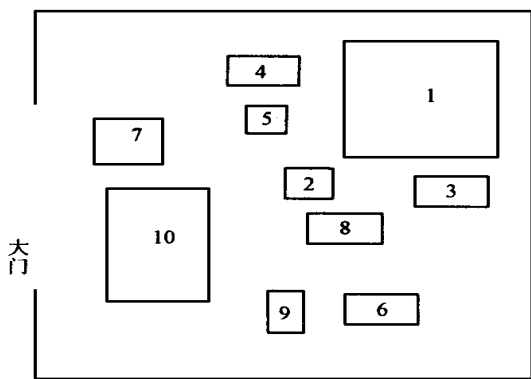


图 2 车间布局优化的计算结果

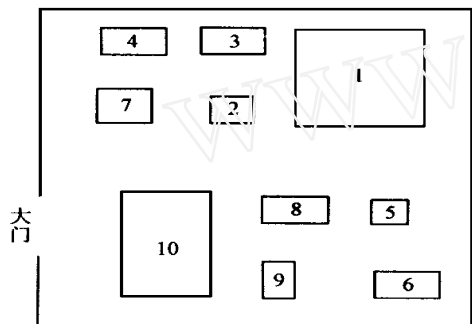


图 3 车间布局的人工调整结果

4 总结

a) 所提出的方法可有效的解决工厂设备布局

的优化设计问题。考虑产品工艺的特点,该方法保证了产品在车间中的运输距离为最短。对实际工厂车间的布局来讲,还需考虑美观等因素。因此,本文所给出的设计结果,可供工厂决策者在安排机床设备间的相对位置时参考。

b) 对于算法所需要的参数,如设备的长宽尺寸、设备间的最小间距等,均较易得到。而对各设备间物料流动情况的统计数据,一方面可根据车间的产品情况进行估计,另一方面可结合生产车间调度软件进行自动统计。

c) 为了提高生产率,我们所开发的生产车间调度软件中专门设置了一个关于车间优化布局的子模块。该软件可根据生产情况,随时向用户提供车间优化布局的建议方案,并将其与现有车间布局相比较,以供决策者参考。

参考文献:

- [1] Wiendahl H P. 面向负荷的生产控制[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [2] 李郝林. 基于生物遗传算法的 FMS 生产调度算法[J]. 机械工程学报,2000,(9):91-93.
- [3] Grefenstette J J. Optimization to control parameters for genetic algorithms[J]. IEEE Trans Syst. Man Cybern,1986,(1):122-128

(上接第 34 页)



图 3 录音笔凹缘、肋板制作过程



图 4 录音笔上盖渲染效果图

3 结论

基于 Solid Edge 软件进行录音笔的三维建模设计,发现作为 UGS 公司中端产品的 SOLID EdgO 软件除具有通用的造型功能之外,其独有的塑料件设计模块提供了方便的分割零件、凸缘/凹缘、网格筋等功能,可以简化操作,提高工作效率,再加上动态导航、特征路径查找器、渲染等设计工具,使用户的设计工作更加简便高效,另外,价格比 UG 软件要便宜的多,是一种值得推广的产品设计软件。

参考文献:

- [1] 陈泽人. CAD/CAM/CAE 在塑料模具设计和制造中的应用[M]. 北京:中国标准出版社,1998.
- [2] 康飞,等. SOLID EDGE 使用手册[M]. 北京:SOLID EDGE™,1999.
- [3] 马秋成. UG 实用教程—CAD 篇[M]. 北京:机械工业出版社,2001.