

遗传算法在多品种装配生产排序中的应用

曾洪鑫 宾鸿赞

摘要 针对多品种装配顺序的安排问题,以总工艺辅助时间最小为目标,表达为求解旅行商问题(TSP),提出并设计了合理的遗传算法。计算和仿真结果显示,该遗传算法的实用性和有效性。

关键词:遗传算法(GA) 排列排序 装配线 旅行商问题(TSP) 工艺辅助时间

中图分类号:F273;TH16 **文献标识码:**A **文章编号:**1671—3133(2005)07—0059—04

Application of GA in the multi-product assembly scheduling

Zeng Hongxin, Bin Hongzan

Abstract A problem of assembly production scheduling is discussed and represented as a traveling salesman problem(TSP), aiming at minimization of the sum of overhead time. A genetic algorithm(GA) is presented and designed to solve the problem. The results of simulation and the application in assembly workshop shows that the algorithm is practical and effective.

Key words:Genetic algorithm(GA) Scheduling Assembly line TSP Overhead time

1 多品种装配顺序安排问题的描述

在装配生产过程中对工艺辅助时间的需求与变换产品品种有关,同时工艺辅助时间的需求都是发生在某个工作站上的。例如,产品A在某个工作站使用的工艺装备(如夹具、量具等)是某一套,当产品A装配完成后需要生产产品B,而产品B需要另一套工艺装备,因而在工作站上需要装备更换的时间。同样,在其他的装配工作站也会发生类似的情况。

为了方便分析研究、建立数学模型,这里对本文引入的符号作如下说明: i 为产品品种,其中 $i=1,2,\dots,n$; M_k 为工作站,其中 $k=1,2,\dots,m$; (i,j,M_k) 为在工作站 M_k 上,加工的产品由品种 i 改变为品种 j 时引起的辅助时间需求,其中 $j=1,2,\dots,n$ 。对于装配流水线生产,在每个工作站上产品的排列顺序是相同的,是一个排列排序问题。因此,第一个工作站上的各个产品的加工顺序确定后,整条装配线的工艺辅助时间的需求就确定了。这里,用 $d(i,j)$ 表示品种 i 直接排在品种 j 前面装配时各个工作站上的工艺辅助时间需求总和。因此,可以得到以下关系:

$$d(i,j) = \sum_{k=1}^m (i,j,M_k) \dots\dots\dots (1)$$

这样,可以得到一个工艺辅助时间需求矩阵 D ,用于描述装配生产过程中,由于产品品种变更而产生的工艺辅助时间的需求情况,表达式如下。

$$D = \begin{bmatrix} d(1,1) & d(1,2) & \cdots & d(1,n) \\ d(2,1) & d(2,2) & \cdots & d(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d(n,1) & d(n,2) & \cdots & d(n,n) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

矩阵 D 所描述的是一个具有 n 个节点的有向完全图,每个节点代表一个产品品种,任意两个节点之间存在两条有向边,边上的权值就是品种变动引起的工艺辅助时间需求总和 $d(i,j)$ 。

在装配工作站 M_k 上先装配品种 i 再装配品种 j ,如果需要更换夹具的话,需先拆卸 i 的夹具再换上 j 的夹具;如果品种的顺序正好相反,则先拆卸 j 的夹具再换上 i 的夹具,因此 $(i,j,M_k) = (j,i,M_k)$ 不成立;进而, $d(i,j) = d(j,i)$ 也不成立。

设 n 维向量表示一个品种安排顺序 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,这样,由于品种的更换而产生的总工艺辅助时间可以由下式表示:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} d(x_i, x_{i+1}) \dots\dots\dots (3)$$

式中, $x_i \in \{1,2,\dots,n\}$, $i=1,2,\dots,n$ 。

$D \approx 2/3 \times D_1$ 处时,可将镜面由于自重引起的变形对光学系统的影响最小化。

参 考 文 献

- 1 杨力. 先进光学制造技术. 北京:科学出版社,2001
- 2 吴清文. 自重作用下中心支撑主反射镜面形变化研究. 精密工程,1996,4(4)
- 3 朱伯芳. 有限单元法原理与应用. 北京:中国水利水电出版社,1998

4 王勖成,邵敏. 有限元法基本原理和数值方法. 北京:清华大学出版社,2002

5 吴永前. 大型轻质反射镜加工支撑状态的有限元分析研究. 光学技术,2001,27(6)

作者通讯地址:1 重庆大学机械工程学院(400044)

2 重庆大学机械传动国家重点实验室(400044)

收稿日期:20040628

对于装配生产中各品种的装配顺序的安排问题,还需考虑装配线上的在制品的影响,一般装配线上的产品品种也构成一个装配序列,但对新进入装配线的产品的工艺辅助时间有影响的只有该序列的最后一个元素。

设在制品装配序列的最后一个产品的品种为 p , 则多品种装配顺序的安排问题的数学模型为:

$$\begin{cases} \min f(x) = d(p, x_1) + \sum_{i=1}^{n-1} d(x_i, x_{i+1}) & \dots\dots\dots (4) \\ \text{subject to: } D \text{ is given} \end{cases}$$

从式(3)和(4)中可以看出,多品种装配顺序的安排问题属于旅行商问题(TSP),可以描述为:生产过程从生产某一品种开始装配,将所有需要装配的产品品种按品种排列顺序进行装配加工,找出一种总工艺辅助时间最少的装配顺序。

2 多品种装配顺序安排的遗传算法设计

TSP 是图论中有代表性的组合优化问题,其解空间通常非常大,已被证明具有 NP 的计算复杂性,利用传统优化方法难以求解。用遗传算法(GA)求解 TSP 问题,被证明是一种实用有效的方法,因此本文采用遗传算法来解决多品种装配顺序安排问题。遗传算法是一种基于自然选择和群体遗传机理的搜索算法,对于复杂的优化问题,通过选择、交叉、变异等遗传操作寻找到优化的解。记 $N(p)$ 为种群大小; $P(t)$ 为第 t 代种群; P_c 为交叉概率; P_m 为变异概率。多品种装配顺序安排问题的遗传算法程序设计如下。

1) 参数设定:输入 $N(p)$ 、 P_c 、 P_m 的值。

2) 初始化种群:令 $t = 0$;产生个体(染色体)数量为 $N(p)$ 的初始种群 $P(0)$ 。

3) 适应度评估:计算第 t 代种群 $P(t)$ 中每个个体的适应度。

4) 选择操作:根据适应度,按“适者生存”法则,从第 t 代种群中选择 $N(p)$ 个个体把它们复制到第 $t+1$ 代种群中去。

5) 交叉操作:在第 $t+1$ 代种群中随机选取 $r = \frac{1}{2} P_c N(p)$ 对个体进行交叉;产生 r 对后代;用这 r 对后代取代原来的 r 对父代染色体。

6) 变异操作:以变异概率 P_m 对在第 $t+1$ 代种群 $P(t+1)$ 中的每一个个体进行变异操作;使用变异后的染色体取代变异前的染色体。

7) 循环:令 $t \leftarrow t+1$ 。如果满足停止条件,结束整个过程。否则,转向第3)步。

可以看出,遗传算法的应用关键在于确定算法的适度函数、编码方式和遗传算子。多品种装配顺序安排问题属于 TSP 问题,但与常规的 TSP 区别在于: $d(i, j) = d(j, i)$ 不成立。因此,需要对于求解所用的遗传算子作相应改进,以适应新问题。

2.1 编码方式

遗传算法是基于码串来工作的,编码的目的就在于将解空间用码串来表达,然后通过复制、交叉、变异等遗传算子来搜索出优化解。

对于 TSP 的编码就是对旅行路径的表达,具体到产品装配生产排序问题,采用对品种序列进行排列组合的方法进行编码,一个染色体就对应一个产品品种加工排列。到目前为止,与 TSP 问题相关的编码方式有三种:邻接表达(adjacency)、普通表达(ordinal)、路径表达(path)。本文采用易于理解和操作的路径表达式,例如,对于 8 个品种的多品种装配顺序安排问题的一个编码串(染色体)为:12345678,表示一个加工路径,其中每一个值(基因)代表一个品种,这个编码串表示品种加工的顺序是品种 1→品种 2→…→品种 8。

必须注意的是,在制品序列的最后一个产品的品种 P 是由上次生产过程决定的,不是决策变量,因此 P 不能作为基因编码到染色体中,只能作为其他参数传给适度函数。

2.2 适度函数

适度函数是衡量个体好坏的标准,是根据不同问题和目标而制定的目标函数,它是每个个体生存或淘汰的最终仲裁者。本文要优化的目标是使由品种变更而引起的总工艺辅助时间最小,故选取适度函数为:

$$F(X) = \frac{1}{f(X)} \dots\dots\dots (5)$$

2.3 选择算子

选择适应性强的个体进行复制,并替代适应性弱的个体。适应性是用适度值来表征的,通过适度函数计算得到。本文按赌轮盘方式来实现选择算子。

设群体的规模为 $N(p)$,染色体分别为 $T_1, T_2, \dots, T_{N(p)}$ 。对于每个染色体,被选中的概率为:

$$P(T_i) = F(T_i) / \sum_{j=1}^{N(p)} F(T_j) \dots\dots\dots (6)$$

式中, $F(T_i)$ 为 T_i 的适度值。

赌轮盘如图 1 所示,根据选中概率的大小将赌轮盘分为多个扇区,其中 $P(T_1) = 0.144$ 、 $P(T_2) = 0.492$ 、 $P(T_3) = 0.055$ 、 $P(T_4) = 0.309$ 。赌轮转动后,通过小球随机落入各个扇区的方式来进行选择(通过产生一个 0~1 的随机数来实现),选中概率大的染色体,对应扇区就大,其被选中的可能性就要大。

2.4 交叉算子

交叉算子是两个染色体之间交换它们部分基因的操作,交叉生成的后代应尽量保留双亲的优良基因成分。对于路径表达方式,常用交叉算子有多种,但相比之下,边重组算子(ERX)能更好地将优良特性遗传到下一代中去,本文选择边重组算子进行交叉操作。

边重组交叉算子是由 Whitley 等人提出的,主要思想是强调了染色体(加工路径)上基因(品种)之间的邻接关系的遗传。对于一对染色体某个基因,它的邻接基因最多有 4 个,例如,对于如图 2 所示的两个染色体 T_x 和 T_y ,基因 6 的邻接基因为 2、3、5。边重组交叉算子的实现过程如图 3 所示。边重组交叉算子具体实现过程如下。

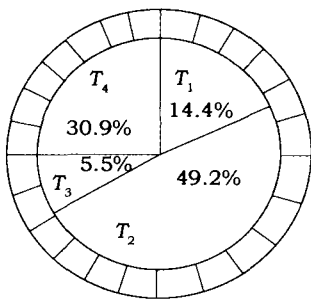
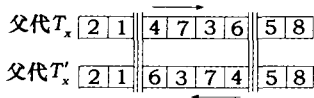


图1 赌轮盘的构造



径已经完全确定,转向第6)步。否则,转回第3)步去确定 T'_x 的下一个基因。

6)用染色体 T_y 代替 T_x ,重复上述第1)~5)步,确定另一条染色体 T'_y 。

以6个品种的加工路径的TSP问题为例,对于如图2给定的两个染色体 T_x 和 T_y ,各个基因对应的邻接基因表初始值为: $P_1 = \{2, 3, 5\}$, $P_2 = \{1, 4, 6\}$, $P_3 = \{1, 4, 6\}$, $P_4 = \{2, 3, 5\}$, $P_5 = \{1, 4, 6\}$, $P_6 = \{2, 3, 5\}$ 。

2.5 变异算子

变异就是以很小的概率随机地改变染色体某个位置的基因,能确保群体中基因的多样性,避免早熟收敛,与复制、交叉算子结合在一起,保证了遗传算法的有效性。在路径表达方式下,变异算子有倒置、插入、移位、互换等,本文采用倒置算子来实现变异,具体过程是:随机选择染色体中的两个基因座 i 和 j ,将 i 和 j 之间的基因的顺序倒置,如图2所示。

2.6 遗传算法程序结构的设计

遗传算法是一种随机的搜索过程,初始群体是随机产生的,选择、交叉、变异等遗传算子都是随机性操作,使得遗传算法的结果带有很大的随机性。同时,在一次遗传算法中,一旦找到某个局部极值点,算法可能会收敛于该点,而无法找到更优的解。

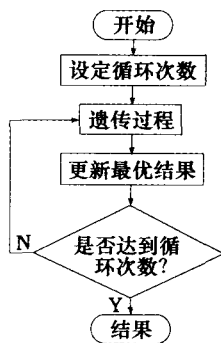


图4 遗传算法程序结构

因此,本文采用多次运行遗传算法,取其中最好结果的办法,将本文2节遗传算法程序设计中的1)~7)步所描述的整个遗传算法流程作为一个遗传过程,有限次循环运行遗传过程,在每个遗传过程中初始群体重新生成,并取所有遗传过程结果的最好解作为最优,算法的

程序结构如图4所示。

3 应用举例与仿真

在中小型装配生产企业的生产实践中,由于产品品种的变动使得某些工作站或工位需要更换工艺装备,包括更换夹具和辅具,其更换操作时间有的只有几分钟,而有的却要十几分钟,一般在1~2min左右。然而,品种变动经常引起多个工作站需要更换工艺装备,这样总工艺辅助时间可能达到10min甚至几十分钟以上,品种变动次数增多以后,总工艺辅助时间的增加对装配生产的影响是不能忽视的。

图3 边重组交叉算子的实现过程

1)从染色体 T_x 和 T_y 中确定每一个基因对应的右邻接基因表 P_k (染色第一个基因左邻接与最后一个基因), $k=1, 2, \dots, n$ 。

2)设定新的染色体 T'_x 的第一位基因为 $t_1^{x'} = t_1^x$, 并置计数器 $i=1$ 。

3)记 $t = t_1^{x'}$, 并从所有邻接基因表 P_k 中将 t 删除。

4)从邻接表 P_i 中随机选取一个基因 c , 如果 P_i 为空集, 则从所有没有被选择的基因中随机地选择一个基因 c , 以该基因作为新的染色体 T'_x 要加工的下一个基因 $t_1^{x'} = c$ 。

5)更改计数器 $i=i+1$ 。如果 $i=n$, 则新的加工路

工艺与工艺装备

根据对制造企业装配线的分析和在某装配企业的实际应用情况,本文举例如下:设某小型企业,有装配线一条,生产十二种不同类型的产品,根据式(1)求得工艺辅助时间需求矩阵 D ,如图5所示,图中横、纵坐标数据用于标明产品的品种,并设在制品序列最后一个产品的品种 $P=3$ 。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	11	6.1	6.2	7.4	7.4	5.1	6.2	4.5	12.5	11.6	9.3
2	6.5	0	7.1	5.2	6.2	6.2	5.3	7	4.3	5.2	10	9.5
3	4.3	4.3	0	5	3.7	3.7	4.3	5.1	4.2	6.2	6.1	5.5
4	4.2	4.2	3.2	0	5.9	5.9	5.3	4.7	4.3	5.1	7.4	5.1
5	7.8	6.1	8.4	4.4	0	0	11.2	9.2	8.5	11.4	7.3	13.3
6	7.8	6.1	8.4	4.4	0	0	11.2	9.2	8.5	11.4	7.3	13.3
7	4.9	4.3	6.5	5.7	10.5	10.5	0	4.5	3.7	11.3	4.5	8.9
8	13.5	11	13	6.8	13.4	13.4	3.8	0	11.3	9.5	9.7	9.7
9	13.6	7.7	11	7.3	12.5	12.5	6.7	7.5	0	13.1	8.4	7.3
10	9.3	6.9	7.7	7.9	1.5	1.5	8.3	6.7	7.5	0	11.3	10.3
11	7.5	5.3	4.3	9.5	6.5	6.5	7.5	5.5	11.7	5.7	0	9.6
12	5.8	7.3	5.4	4.7	7.6	7.6	8.9	8.7	11.5	5.3	11.6	0

图5 工艺辅助时间需求矩阵

笔者在 CPU 为 XP1800 的普通 PC 机上和 Matlab6.5 软件平台上,编制多品种装配顺序安排问题遗传算法程序,进行计算和仿真。程序设计按照图4所示的程序结构,设置了100次遗传过程的循环。对于每个遗传过程,终止条件为遗传代数不能超过200代,对于遗传过程的参数采用常用设置:交叉概率 $P_c = 0.80$ 、变异概率 $P_m = 0.08$ 。

得到的最好生产顺序为:3→12→10→5→6→4→1→8→7→11→2→9,对应的总工艺辅助时间需求为45min,运行时间为1306s。而该问题由计划员手工进行排序,没有任何规则可以遵循,费时费力,根本无法对问题进行优化,得到的总工艺辅助时间需求均在1h以上。图6描述的是得到最好解的遗传过程,其中虚线表示最优解的进化过程,实线表示的是遗传过程中每代种群适应度均值的演化过程。

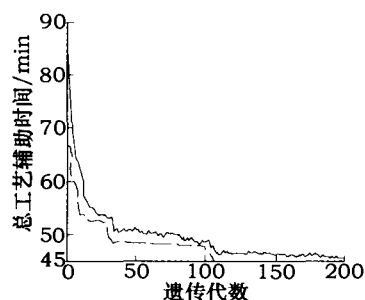


图6 遗传算法进化过程

4 结语

多品种装配顺序安排问题是一个典型 TSP,是具有 NP 计算复杂性的优化问题。本文以工艺辅助时间需求最小为优化目标,针对多品种装配顺序安排问题,提出并设计了合理的遗传算法。计算和仿真的结果显示,遗传算法对于解决多品种装配顺序的安排问题是

行之有效的,能够在很大程度上减少工艺辅助时间,减轻了生产调度人员的工作强度,并大大减轻了工人的劳动强度,节约了装配生产时间,从某种角度来说,提高了装配生产能力,对于中小型装配生产企业有着切实意义。

参考文献

- 1 纪树新,钱积新,孙优贤.遗传算法在车间作业调度中的应用.系统工程理论与实践,1998,(5)
- 2 李逍波.遗传算法选择操作的递归实现.上海交通大学学报,1998,(4)
- 3 Oliver, I. M., Smith, D. J., and Holland, J. R. C. A study of Permutation Crossover Operator on the Traveling salesman problem. Proceeding of the Second International Conference on Genetic Algorithms.

作者通讯地址:华中科技大学机械学院工艺装备与自动化系现代制造研究所(430074)

收稿日期:20050311

△新书介绍△

重庆大学梁锡昌教授编著的《机械创造方法与专利设计实例》一书已出版发行。该书提出的发明内容涉及机械、汽车、船舶、飞机、发动机、机器人、减速器、测试、控制及机械制造等领域。

《机械创造方法与专利设计实例》一书共分三篇。第一篇介绍创新性的思维方法,并结合两种产品具体讲述了新产品的创造过程,从立意、框架构思、系统结构、结构创新、总体布局、设计、制造、试验、修改的创造过程,已具体的实例深化对创新过程的认识。第二篇介绍作者创造的专利成果56项,其中发明专利40项。每一个专利都有其创新点,有的专利从立意上有新意,有的专利从结构上有新意,有的专利从工艺上有新意,使读者从这些具体的创新实践中,广泛开拓思维,提高创新的意识和能力。第三篇为齿轮制造创新研究,集中介绍一个专题的研究成果。

《机械创造方法与专利设计实例》一书适用于从事机械、交通运输、机械电子、自动控制等领域的工程技术人员,大中专院校教师、研究生及大学生参考。

《机械创造方法与专利设计实例》一书由国防工业出版社出版,290页,定价35.00元。