

基于多种群遗传算法的装配线平衡问题研究

李 锋^{1a}, 邢静忠^{1a,1b}, 刘 伟²

(1. 天津工业大学 a. 机械工程学院, b. 现代机电装备技术天津市重点实验室, 天津 300387;

2. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘 要:产品在制造过程中,装配作业成本大约占制造成本的 30%,装配线平衡问题是影响装配作业效率的关键因素。在装配线平衡研究中,提出在固定作业工位下求解装配线平衡的问题,建立了以生产节拍和工位负荷均衡为目标的装配线平衡优化模型,采用多种群遗传算法对固定工位下装配线的生产节拍、工序分配、工位负荷均衡、装配线平衡率进行求解,并基于 MATLAB 环境实现了多种群遗传算法的编码和求解。最后通过实例求解,验证了模型和算法的可行性。结果分析表明:装配线平衡问题得到了较明显的改善。

关键词:装配线平衡;多种群遗传算法;生产节拍;工位负荷均衡

中图分类号:TB497

文献标志码:A

引 言

产品制造过程中,研究并改善装配线是提高制造业经济效益的重点。产品装配作业中,如何在满足生产节拍以及工序优先顺序的前提下,合理分配各个工序,使各工位上总作业工时尽可能相等,消除各工位上作业空闲或忙碌的现象,实现整个装配线上各工位负荷均衡,这就是装配线平衡问题^[1],本文将对装配线平衡问题进行研究。

在装配线平衡问题中,根据优化目标不同,可将装配线平衡问题分为三类^[2-3]:(1)给定生产节拍,求最优工位数;(2)给定工位数,求最优生产节拍;(3)已知生产节拍和作业工位数,求最小平滑指数,即装配线负荷均衡指数。装配线平衡问题主要研究方法有^[4-6]:(1)目标规划法;(2)启发式算法;(3)人工智能算法。Suwanarongsri 采用禁忌搜索算法求解了装配线平衡问题^[7],文章根据生产节拍约束、优先作业关系等约束条件,建立了生产节拍和装配线平衡的多目标优化模型,并通过

目标转换函数将多目标转化单目标进行求解,最终提高了装配线平衡率;张则强等人根据装配工序的优先关系,提出了带信息素总合规则的混合搜索机制的蚁群算法,并对混合品种装配线平衡问题进行了求解^[8];刘再设计了免疫协同进化算法对生产线平衡问题进行了求解^[9];潘国强、冯定忠等人基于 SIMIO 仿真环境,对固定作业时间下的装配线平衡问题进行了仿真分析^[10];李明、李珊等人针对大规模工位装配线平衡问题,提出了规则组合算法对第一类和第二类装配线平衡问题进行了求解^[11];刘俨后、左敦稳等人针对随机作业时间的装配线平衡问题,以完工率节拍为优化目标,建立了随机作业下的第二类装配线平衡问题,并提出双染色体遗传算法对该平衡问题进行求解^[12]。

本文将综合考虑第二类和第三类装配线平衡问题,提出了在固定工位下求解装配线平衡的问题,以生产节拍和工位负荷均衡为目标,采用改进的多种群遗传算法对装配线上各工位之间工序的分配进行研究,最终实现工序的合理分配,优化生产节拍,保证工位负荷均衡,

收稿日期:2015-01-25

作者简介:李 锋(1987-),男,四川自贡人,硕士,主要从事装配线平衡方面的研究,(E-mail)253517126@qq.com;

邢静忠(1966-),男,甘肃兰州人,教授,博士,主要从事复合材料结构力学方面的研究,(E-mail)hsingjzh@tjpu.edu.cn

提高装配线的平衡率。

1 装配线平衡问题描述

在装配线平衡中,用 m 表示工位数, n 表示作业工序, CT 表示生产节拍, T_i 表示第 i 个作业工序的作业工时, S_k 表示第 k 个工位上所有工序的集合, $T(S_k)$ 表示第 k 个工位上的总作业工时,装配线平衡问题一般分为三类:

(1) 第一类装配线平衡问题是已知生产节拍 CT 和作业工时 T_i ,求最优作业工位数 m ,其数学模型为:

$$\max \eta = \sum_{i=1}^n T_i \times 100\% / (m \times CT) \quad (1)$$

式(1)中,生产节拍 CT 和作业工时 T_i 已知, $\max \eta$ 表示装配线平衡率最大化。因此,当装配线平衡率最大时可以求解出最小作业工位数 m 。

(2) 第二类装配线平衡问题是已知作业工位数 m 和作业工时 T_i ,求最优生产节拍 CT ,其数学模型为:

$$\max \eta = \sum_{k=1}^m T(S_k) \times 100\% / [m \times \max(T(S_k))] \quad (2)$$

式(2)中,作业工位数 m 和各工位作业工时 $T(S_k)$ 已知, $\max \eta$ 表示装配线平衡率最大化, $\max(T(S_k))$ 表示各工位中的最大作业工时,即瓶颈工位的工时,生产节拍 $CT = \max(T(S_k))$ 。因此,当装配线平衡率最大时可以求解出最小生产节拍 CT 。

(3) 第三类装配线平衡问题是已知生产节拍 CT 和作业工位数 m ,求最小平滑指数 SI ,即装配线负荷均衡指数,其数学模型为:

$$\min SI = \left[\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (CT - T(S_k))^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式(3)中,生产节拍 CT 和作业工位数 m 已知, $\min SI$ 表示装配线负荷均衡指数最小。因此,当各工位作业工时 $T(S_k)$ 趋近于生产节拍 CT 时,可以求解出最小装配线负荷均衡指数 SI ,实现工位负荷均衡,提高装配线平衡率。

本文将综合考虑第二类和第三类装配线平衡问题,在固定作业工位数下,以式(2)和式(3)为优化目标,采用改进的多种群遗传算法对各工位上的工序进行合理分配,最终优化生产节拍,保证工位负荷均衡,提高装配线平衡率。

2 建立装配线平衡的数学模型

已知作业工位数 m ,在满足工序作业优先关系的基础上,将作业工时较大的工位上的工序和作业工时较小的工位上的工序进行调整,调整后减小生产节拍,实现各工位作业负荷均衡,降低装配线平滑指数 SI ,提

高装配线平衡率。

2.1 模型假设

(1) 各作业工序的标准作业工时确定。

(2) 作业工序是不可再分的最小作业单元,一个作业工序不能被分配到两个工位中。

(3) 每个作业工序的作业工时小于或等于该工位作业总工时。

(4) 装配线的生产节拍大于或等于各作业工位工时中的最大值。

(5) 装配线上工人和设备在任何时间的作业效率都一样。

(6) 装配线上没有并行的作业工位。

2.2 参数定义

已知装配线作业工位数为 m ,作业工序为 n ,生产节拍为 CT , SI 表示装配线平滑指数, T_i 表示第 i 个作业工序的作业工时;各工位上工序的分配为 $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_k, \dots, S_m$,其中 $S_k (k=1, 2, 3, \dots, m)$ 表示第 k 个工位上作业工序的集合;各工位上的作业工时为 $T(S_1), T(S_2), T(S_3), T(S_4), \dots, T(S_k), \dots, T(S_m)$,其中 $T(S_k) (k=1, 2, 3, \dots, m)$ 表示第 k 个工位上总的作业工时; $r[a][b]$ 表示工序关联矩阵,即工序之间的优先顺序约束(其中: $a=1, 2, 3 \dots n, b=1, 2, 3 \dots n$)。

2.3 约束条件

在对各工位上的工序进行分配和调整时,必须满足各工序之间的优先作业顺序,若装配线上共有 n 个工序,则工序关联矩阵应为 $n \times n$ 的矩阵,工序的优先约束条件表示为:

$$r[a][b] = \begin{cases} 1 & \text{表示工序 } a \text{ 是工序 } b \text{ 的紧前作业工序;} \\ 0 & \text{表示工序 } a \text{ 不是工序 } b \text{ 的紧前作业工序} \end{cases}$$

若工序满足 $r[a][b] = 1$,则在工序分配和调整时,工序 a 必须优先于工序 b ;若 $r[a][b] = 0$,则在工序分配和调整时,工序 a 必须处于工序 b 之后。

2.4 模型原理

在一个可行的初始分配中,令:

$$T(S_i) > T(S_j)$$

$$(i > j; i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, m)$$

$$\delta = [T(S_i) - T(S_j)] / 2$$

其中, δ 表示 $T(S_i)$ 和 $T(S_j)$ 工时之差的一半,将第 i 个工位上工序时间 $t \leq \delta$ 的工序重新分配到 j 工位上,其分配后各工位的作业工时为: $T(S_1), T(S_2), T(S_3), T(S_4), \dots, T(S_i) - t, \dots, T(S_j) + t, \dots, T(S_m)$ 。

工序调整前的实际生产节拍 CT^* 为:

$$CT^* = \max T(S_k) \quad (k = 1, 2, 3 \dots m) \quad (4)$$

工序调整后的生产节拍为:

$$CT = \max \{ \max(T(S_k), \max(T(S_i - t), T(S_j + t))) \} \quad (5)$$

工序调整后生产节拍的变化量 ΔCT 为:

$$\Delta CT = \max \{ \max(T(S_k), \max(T(S_i - t), T(S_j + t))) \} - \max T(S_k) \quad (6)$$

根据式(4)~(6)可得:

$$\Delta CT = \max \{ \max(T(S_k), \max(T(S_i - t), T(S_j + t))) \} - \max T(S_k) \leq 0 \quad (7)$$

由式(6)~(7)可得:

$$\max \{ \max(T(S_k), \max(T(S_i - \delta), T(S_j + \delta))) \} - \max T(S_k) \leq 0 \quad (8)$$

根据式(7)与式(8)可知:工序调整后,生产节拍变化量 $\Delta CT \leq 0$,因此工序调整后生产节拍会减小。

工序调整前工位负荷指数为:

$$SI = \left[\frac{1}{m} [(CT - T(S_1))^2 + \dots + (CT - T(S_i))^2 + \dots + (CT - T(S_j))^2 + \dots + (CT - T(S_m))^2] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

工序调整后工位负荷指数为:

$$SI = \left[\frac{1}{m} [(CT - T(S_1))^2 + \dots + (CT - (T(S_i) - t))^2 + \dots + (CT - (T(S_j) + t))^2 + \dots + (CT - T(S_m))^2] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

工序调整后工位负荷指数的变化量 $\Delta(SI^2)$ 为:

$$\Delta(SI^2) = \frac{1}{m} [((CT - (T(S_i) - t))^2 + (CT - (T(S_j) + t))^2) - ((CT - T(S_i))^2 + (CT - T(S_j))^2)] \quad (11)$$

将式(11)中的 t 换为 δ 可以推出:

$$\Delta(SI^2) \leq \frac{1}{m} [((CT - (T(S_i) - \delta))^2 + (CT - (T(S_j) + \delta))^2) - ((CT - T(S_i))^2 + (CT - T(S_j))^2)] \quad (12)$$

将式(12)化简可得:

$$\Delta(SI^2) = 2 \times CT \times t \times [T(S_j) - T(S_i)] \leq 2 \times CT \times \delta \times [T(S_j) - T(S_i)] < 0 \quad (13)$$

根据式(11)~(13)可知:工序调整后,工位负荷指数变化量 $\Delta(SI^2) < 0$,因此工序调整有效。

2.5 优化目标模型

已知作业工位数 m ,在满足工序作业优先关系的基础上,对工位上的工序进行合理分配和调整,使得装

配线的平衡率最大、生产节拍最小、各工位负荷均衡,即装配线平滑指数最小,优化目标的数学模型为式(2)和式(3)。

3 装配线平衡的遗传算法设计

本文将采用双种群遗传算法对装配线平衡问题进行求解,双种群遗传算法包含于多种群遗传算法。多种群遗传算法是指多个子种群在进化时相互独立,并按照一定规则在适宜节点上相互交流。它的优点主要有:子种群之间独立进化保证了种群的多样性和独立性;优秀子种群之间的相互交流保证了可行解的收敛速度,同时也保证了种群的多样性,避免了局部最优解的发生。

3.1 编码

本文遗传算法编码分两步。第一步是根据工序优先顺序对作业工序编号,将工序按照优先作业顺序排列;第二步是根据工序编号对染色体编码,根据作业顺序将工序与染色体的基因位置相对应。下面事例是对编码过程的描述,图1是作业工序优先顺序及编号图。

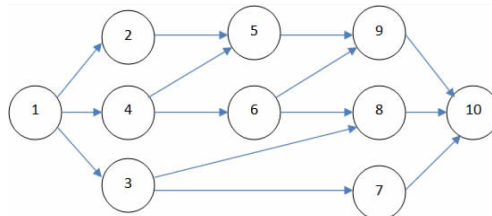


图1 作业工序优先顺序及编号

根据图1,将工序[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]按照优先作业顺序将其分配到染色体基因位置上,这样就完成了对染色体的编码,图2给出了两个染色体的编码。



图2 染色体编码

根据作业工序的优先关系矩阵对染色体进行编码,获得初始种群的染色体,这种编码方式对操作算子和目标函数的适应性较好,能减小计算量,提高计算的精确度。

3.2 译码

译码是根据遗传编码方式,在满足工序优先关系的前提下,将染色体基因位置上的工序转换成装配线平衡问题解的形式,译码的主要步骤如下:

(1)生成初始生产节拍 $CT_{theory} = T/m$ 。其中 CT_{theory} 为初始节拍, T 为所有工序的工时之和, m 为工位。

(2) 根据生产节拍 CT_{theory} , 将各工序按照作业优先关系分配到各工位上, 则各工位上的工时为: $T(S_1), T(S_2), T(S_3), T(S_4), \dots, T(S_k), \dots, T(S_m)$; 此时的实际生产节拍值为: $CT^* = \max T(S_k) (k = 1, 2, 3 \dots m)$ 。

(3) 随机选择装配线工位, 计算工位之间的工时差: $\delta = [T(S_i) - T(S_j)]/2$ 。

(4) 根据 δ 值对工位上的工序进行调整, 计算调整后的生产节拍 CT , 若 $CT \leq CT^*$, 则表明调整后的工序分配优于调整前。继续步骤(3), 最终提高装配线的平衡率。

3.3 初始化种群

根据编码的染色体, 得到初始化种群, 种群在初始化时要考虑种群个体之间的多样性和差异性, 本文采用随机法进行循环搜索。

3.4 适应度函数

适应度函数可以用来衡量种群个体的优劣, 是种群进化的标准, 通过适应度函数可以对种群内部的结构进行控制, 使得群体个体不断地向着优化的方向调整。本文根据生产节拍和工位负荷均衡指数的目标函数, 建立了下面的适应度函数:

$$Fit_1 = \left(\sum_{i=1}^n T_i \right) / (\max T(S_k) \times m) \quad (14)$$

式中, Fit_1 是根据装配线的生产节拍最小而建立的适应度函数, Fit_1 的函数值越接近于 1 表明生产节拍越小。

$$Fit_2 = 1 / \left[\left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (CT - T(S_k))^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \lambda \right] \quad (15)$$

式中, Fit_2 是根据装配线上各工位负荷均衡而建立的适应度函数, 其中 $\lambda (\lambda > 0)$ 指工位均衡放宽值, 当取 $\lambda = 1$ 时, Fit_2 的函数值越趋近于 1, 表明工位负荷越均衡, 负荷均衡指数越小。

3.5 选择操作

在选择个体时, 本文采用转轮选择的原理, 将个体采用“一对一”方式映像到一个连续区间, 个体区间的大小与对应个体的适应度相匹配, 适应度越高, 则被选中的可能性就越大, 进入下一代的概率就越大, 每个个体的选择概率正比于适应度, 其选择概率 P 为:

$$P = Fit(p) / \left[\sum_{q=1}^{pop_size} Fit(q) \right] \quad (16)$$

式中, $Fit(p)$ 表示个体 p 的适应度, $Fit(q)$ 表示任意个体的适应度, pop_size 表示种群个体的总数。

3.6 交叉操作

本文采用两点交叉的方法^[13]。在有 N 个基因的染色体中, 随机产生 2 个交叉点。先在 $[1, N - 1]$ 之间随机产生一个整数, 将其作为第一个交叉点 $cross1$; 再在

$[cross1, N]$ 之间随机产生第二个整数, 将其作为第二个交叉点 $cross2$ 。染色体的交叉操作在这两个交叉点之间进行, 其交叉操作如图 3 所示。



图 3 染色体交叉操作

根据图 3 中的(a)、(b)可知, 染色体 1 需要交叉的基因为 3、5、6、9, 在染色体 2 中搜索基因 3、5、6、9 的排列方式, 将其作为染色体 1 的新基因序列。同理, 在染色体 1 中搜索基因 2、6、5、7 的排列方式, 将其作为染色体 2 的新基因序列。交叉操作后的新染色体如图 4 所示。



图 4 交叉操作后的新染色体

3.7 变异操作

在种群变异操作中, 随机选取一条染色体, 并在该染色体基因片段 $[1, N - 1]$ 上随机产生一个变异点。将该变异点前面部分的基因片段保留到子代染色体中, 将变异点之后的基因片段根据工序优先关系矩阵重新排列, 将排列后的基因片段与之前保留的基因片段组合到一起得到变异后的子代染色体, 其变异操作过程如下:

(1) 假设染色体基因位置 4 的地方随机产生了一个变异点, 如图 5 所示。

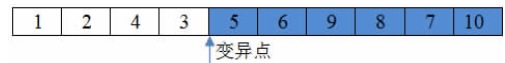


图 5 染色体变异点

(2) 将染色体上变异点前面部分的基因片段 $[1\ 2\ 4\ 3]$ 保留到子代染色体。根据工序优先关系矩阵, 将变异点后面的基因片段 $[5\ 6\ 9\ 8\ 7\ 10]$ 重新排列为 $[6\ 5\ 7\ 9\ 8\ 10]$ 。将基因片段 $[1\ 2\ 4\ 3]$ 和 $[6\ 5\ 7\ 9\ 8\ 10]$ 重新组合得到变异后的子代染色体, 如图 6 所示。



图 6 变异后的子代染色体

3.8 种群之间基因交换

为了提高算法的精确性,本文将种群基因的交换分为两个部分进行。首先,将两个种群间适应度最好的种群基因进行交换;其次,将两个种群剩余基因进行随机交换。这样可以提高算法的收敛速度,同时也保证了种群的多样性,避免了局部最优解发生。

4 算例验证

本文将采用多种群遗传算法对文献[14]中的 Lutz1 装配线平衡问题进行求解,以验证该模型和算法的可行性。

4.1 算例描述

已知 Lutz1 装配线作业工序 $n=32$,各工序作业优先关系如图 7 所示,各工序作业工时及紧前作业见表 1,求解该装配线在作业工位 $m=11$ 时的最优生产节拍,并对各工位上的工序进行合理的分配,实现工位负荷均衡,提高装配线的平衡率。

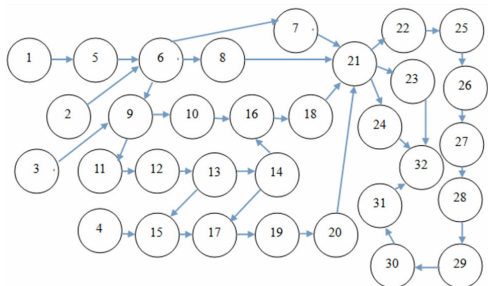


图 7 Lutz1 装配线平衡问题作业关联图

表 1 Lutz1 装配线作业工时及紧前工序

作业工序	紧前工序	作业工时/s	作业工序	紧前工序	作业工时/s
1	-	458	17	14,15	616
2	-	276	18	16	678
3	-	520	19	17	328
4	-	1400	20	19	324
5	1	352	21	7,8,18,20	100
6	2,5	196	22	21	352
7	6	214	23	21	544
8	6	456	24	21	500
9	3,6	646	25	22	382
10	9	512	26	25	858
11	9	408	27	26	388
12	11	262	28	27	352
13	12	544	29	28	428
14	13	202	30	29	238
15	4,13	458	31	30	258
16	10,14	694	32	23,24,31	196

4.2 算例求解

基于 MATLAB 环境,求解作业工位 $m=11$ 时的生

产节拍,并对工序进行合理分配,实现工位负荷均衡,图 8 是求解后输出的装配线平衡图。

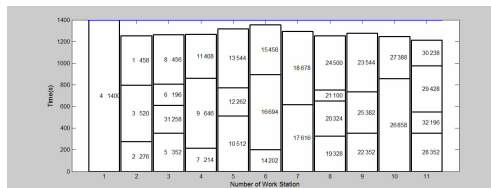


图 8 $m=11$ 的装配线平衡图

在图 8 中,横轴表示工位数 m ,纵轴表示各工位上所分配的所有工序的工时之和,即各工位对应的作业工时。从图中可以看出各工位上的工序分配、各工位上的作业工时、以及装配线的工位负荷是否均衡。

4.3 结果比较

将本文求解结果与文献[14]中的结果进行比较。工序分配结果对比见表 2;生产节拍、装配线平衡率、装配线平滑系数结果比较见表 3。

表 2 本文与文献[14]中工序分配结果比较

作业工位	本文	文献[14]
1	4	1,2,5,6
2	1,2,3	3,7,9
3	5,6,8,31	11,12,13
4	7,9,11	4
5	10,12,13	10,14,15
6	14,15,16	16,17
7	17,18	18,19,20
8	19,20,21,24	8,21,22,25
9	22,23,25	26,27
10	26,27	23,28,29
11	28,29,30,32	24,30,31,32

表 3 本文与文献[14]结果比较

算法	工位数 m	生产节拍 $CT(s)$	平衡率 LE	平滑系数 SI
本文	11	1400	91.8%	125.39
文献[14]	11	1414	90.9%	134.40

通过本文与文献[14]中结果比较,可以得出装配线生产节拍减小了 14 s,平衡率提高了 0.9%,平滑系数减小了 9.01,装配线平衡得到了一定的改善。

4.4 变工位求解

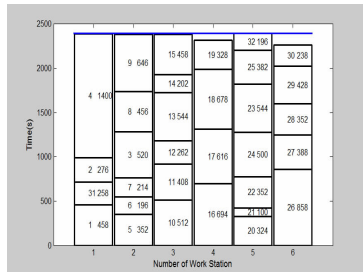
为了验证本文算法的可行性和有效性,本文分别求解了作业工位 $m=6, m=8, m=10$ 的生产节拍和工序分配情况,如图 9 所示。

本文将工位数 $m=6, m=8, m=10, m=11$ 的求解结果与文献[14]进行了比较(表 4)。

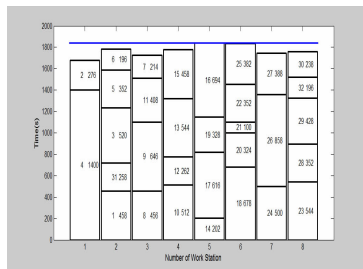
分析表 4 可知,装配线的生产节拍、平衡率、平滑系数(即工位负荷均衡)得到了一定的改善,验证了本文中模型和算法的有效性。

表 4 本文与文献[14]求解结果比较

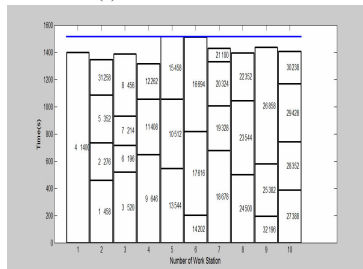
作业工位 数/m	生产节拍 CT/s		平衡率 LE		平滑系数 SI	
	本文	文献[14]	本文	文献[14]	本文	文献[14]
6	2828	2398	83.3%	98.28%	449.6	64.62
8	2020	1840	87.5%	96.06%	110.6	88.85
10	1572	1512	89.9%	93.52%	134.3	107.13
11	1414	1400	90.9%	91.82%	134.4	125.39



(a)m=6的装配线平衡图



(b)m=8的装配线平衡图



(c)m=10的装配线平衡图

图 9 装配线平衡图

5 结 论

(1) 本文综合考虑了第二类和第三类装配线平衡问题,提出了在固定作业工位下求解装配线平衡的问题;建立了以生产节拍和工位负荷均衡为目标的装配线平衡优化模型;采用了多种群遗传算法对固定工位下装配线的生产节拍、工序分配、工位负荷均衡、装配线平衡率进行了求解。

(2) 多种群遗传算法根据工序作业优先关系随机产生初始种群,通过种群之间的选择、交叉、变异、交换,保证了进化后的种群都是可行解;多种群遗传算法扩大了搜索范围,避免了局部最优解的发生。

(3) 文章通过实例求解,验证了模型和算法的可行性和有效性,通过对实例求解前后结果的比较分析,使

装配线平衡问题取得了一定的改善效果。

参 考 文 献:

- [1] Armin S,Christian B.State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing [J].European Journal of Operational Research,2006,168(3):666-693.
- [2] 窦建平,苏春,李俊.求解第 I 类装配线平衡问题的离散离子群优化算法[J].计算机集成制造系统,2012,18(5):1021-1029.
- [3] 郑巧仙,李元香,李明,等.面向第 II 类装配线平衡问题的蚁群算法[J].计算机集成制造系统,2012,18(5):999-1005.
- [4] 卫东.给定序列的混合品种装配生产线平衡算法[J].机械工程学报,2004,40(4):135-138.
- [5] Marc P,Zeger D. A linear programming based lower bound for the simple assembly line balancing problem[J]. European Journal of Operational Research,2006,168(3):716-731.
- [6] 蒋艳,黎向锋,左敦稳,等.基于改进遗传算法的混流装配线的优化设计[J].中国机械工程,2010,21(19):2322-2328.
- [7] Suwannarongsri S,Puangdownreong D. Optimal balancing of multi-objective U-shaped assembly lines using the TSGA method[C]//Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore, December 8-11, 2008:307-311.
- [8] 张则强,程文明,钟斌,等.混合品种装配线平衡问题的一种混合搜索机制的蚁群算法[J].机械工程学报,2009,45(5):95-101.
- [9] 刘冉,楼佩煌,唐敦兵,等.解决 U 形装配线平衡调度问题的免疫协同进化算法[J].中国机械工程,2010,21(7):815-821.
- [10] 潘国强,冯定忠.基于 SIMIO 仿真的随机型电机装

- 配线优化研究[J].工业工程与管理,2013,18(2):65-70.
- [11] 李明,李珊,夏绪辉,等.大规模多工位装配线平衡问题的规则组合算法[J].计算机集成制造系统,2013,19(11):2780-2787.
- [12] 刘伊后,左敦稳,张丹.随机作业时间的装配线平衡问题[J].计算机集成制造系统,2014,20(6):1372-1378.
- [13] Sener A, Gunhan M B. A hybrid genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem with parallel workstations and zoning constraints[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011, 24 (3): 449-457.
- [14] 邓福平.基于蚁群算法的装配线平衡问题研究[D].武汉:华中科技大学,2011.

Research of Assembly Line Balancing Problem Based on the Multiple Population Genetic Algorithm

LI Feng^{1a}, XING Jingzhong^{1a,1b}, LIU Wei²

(1a. School of Mechanical Engineering; 1b. Tianjin Key Laboratory of Advanced Mechatronics Equipment Technology, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Department of Management and Economy, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In the process of manufacture, assembly cost of the product is about 30% of the cost of manufacture, and the assembly line balancing problem is the key factor that influences the efficiency of the assembly work. In the study of assembly line balancing, the solution of assembly line balancing problem under fixed work location is presented, the assembly line balancing optimization model with the target of production tempo and station load balance is set up; the multiple population genetic algorithm is adopted to solve the production rhythm, process allocation, load balancing and the assembly line balance rate of an assembly line under fixed location; basing on the MATLAB environment, the encoding and solution of multiple population genetic algorithm are realized. Finally, through the test of the instance, the feasibility of the model and algorithm is verified, and through the comparison of the results of example, the improving effect of assembly line balancing problem is obvious.

Key words: assembly line balancing; multiple population genetic algorithm; production rhythm; station load equilibrium