

文章编号: 1671-0444(2018)04-0569-09

海工装备生产车间可重构制造单元动态布局方法

史恭威, 鲍劲松, 周亚勤, 张启万, 郭东升

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要: 为满足海工装备品种多、批量小的生产特点,具有多个可重构制造单元的海工装备生产车间需要及时做出布局调整。针对此问题,将改进非支配排序的遗传算法-II(NSGA-II)应用于车间的设备动态布局优化过程,结果显示,求得的 Pareto 前沿具有良好的分布性。建立了相应的求解数学模型,并用 Matlab 软件进行求解。结合实例采用仿真软件对求解的布局结果建立仿真模型,并进行仿真分析,为设备布局的选用和改进提供决策依据。

关键词: 海工装备; 可重构制造单元; 设备动态布局; 改进 NSGA-II 算法; 布局仿真

中图分类号: TH 165; TH 181 **文献标志码:** A

Dynamic Layout Method of Reconfigurable Manufacturing Cells in Production Workshop of Marine Engineering Equipment

SHI Gongwei, BAO Jinsong, ZHOU Yaqin, ZHANG Qiwan, GUO Dongsheng

(College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to meet the characteristics of multi-varieties and small batch of marine engineering equipment, the marine engineering equipment production workshop with numbers of reconfigurable manufacturing cells need to be adjusted in time in layout. To solve this problem, the improved non-dominated sorting genetic algorithm-II(NSGA-II) algorithm was used in the optimal process of dynamic layout in the production workshop, and the results show a good distribution of the obtained Pareto frontiers. A corresponding mathematical model was established, and its solution was solved by Matlab software. Combined with the example and simulation software, the simulation model was established for the layout results and the simulation results were analyzed, providing the decision basis for the selection and improvement of equipment layout.

Key words: marine engineering equipment; reconfigurable manufacturing cells; dynamic facility layout; improved NSGA-II algorithm; layout simulation

海工产品的制造具有一定的独特性,大部分海工产品的生产制造具有品种多、批量小甚至定制化生产的特点。企业要想对生产任务产生快速响应,必须缩短交货周期,其关键在于缩短生产过程,而及时调

整生产车间设备布局和提高生产物流系统的效率是缩短生产过程的关键。可重构制造系统(RMS)可以通过设备的重新部署及时调整车间布局^[1],对于海工产品生产车间,其生产设备受生产条件限制而不能完

收稿日期: 2018-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475301)

作者简介: 史恭威(1992—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为智能制造与测控, E-mail: 1062901747@qq.com

鲍劲松(联系人),男,副教授, E-mail: Bao@dhu.edu.cn

全打乱重组,但是这些不可转移设备的制造单元却可以进行重构。通过对可重构制造单元的重新布局进行模拟仿真,可以为企业减少机器闲置率、提高生产率提供帮助,从而提高企业的利润率和竞争力。

可重构制造系统车间的设备动态布局属于多目标优化问题^[2],在解决组合优化问题上,遗传算法由于其良好的表现以及易于编码等优点被广泛地应用在设备动态布局问题中^[3]。Dunker 等^[4]提出一种混合布局方法,这种方法是遗传算法与动态规划的结合,其将多目标单一化,但是具有系数难以确定、容易早熟的特点。郭爽等^[5]在求解时使用的是改进遗传算法。此外,黄君政等^[6]采用非支配排序的遗传算法 II(NSGA-II)求解多目标动态布局问题,刘景发等^[7]基于 Wang-Landau 算法进行动态设施布局。从国内外研究可以看出,关于车间设备的动态布局的研究已有很多,但是针对海工产品生产车间多个可重构制造单元的设备动态布局的研究并不多见,应用改进 NSGA-II 算法可以有效解决这个问题。

1 数学建模

针对海工产品各个可重构制造单元设备的周

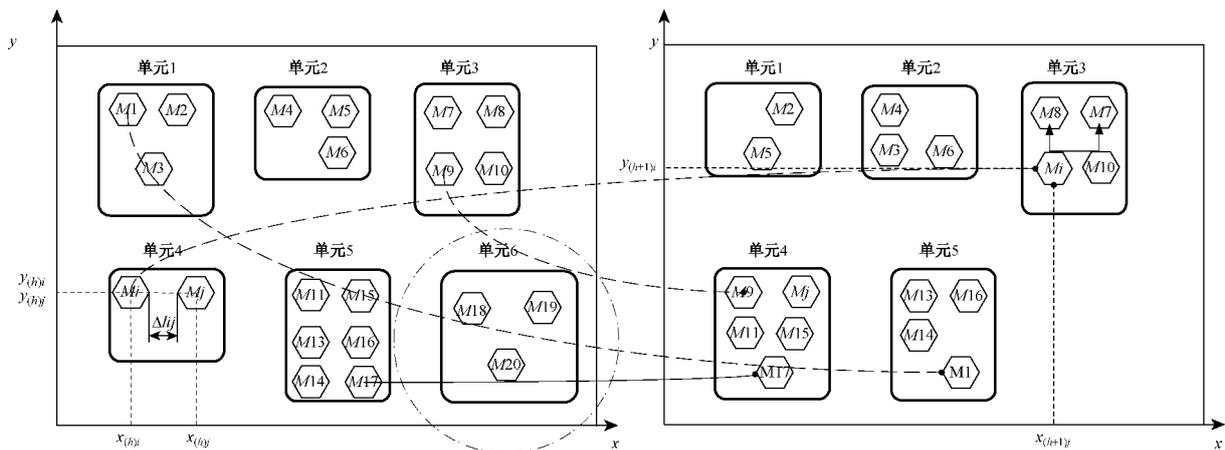


图 1 不同阶段设备布局模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of equipment layout model at different stages

1.2 布局优化目标和目标函数

(1) 物流和重构成本最小化。各个生产阶段的总成本 P_h 包括物流重构成本 W_{ph} 和设备重构成本 C_{ph} 两部分,三者关系如公式(1)所示。

$$P_h = W_{ph} + C_{ph} \quad (1)$$

其中,物流费用是指在车间制造生产过程中,搬运货物、零件与产品所产生的费用。在 h 子周期内物流费用计算如式(2)所示。

期性重构,在未来生产计划期可预测的前提下进行布局规划,以物流和重构成本、单元封闭性和设备作业面积占用率为优化要素,建立优化数学模型。

1.1 问题定义

关于海工产品多生产阶段的设备布局,针对每个生产阶段制定相应的设备布局方案,每个生产阶段的布局方案属于静态布局,并且按照以下情况制定布局方案:

(1) 海工产品可重构制造单元设备按行排列,其安全间距已知;

(2) 海工产品制造车间真实占地情况和设备真实立体结构细节难以准确计算,故将其设为矩形块状结构。

海工产品设备的布局模型如图 1 所示,其中有 h 阶段和 $h+1$ 阶段车间中可重构制造单元和单元内设备布局模型参数示意图。从图 1 可以看出,不同的生产阶段车间内需要的制造单元数量不一定相同,而且制造单元内设备的数量和种类也会发生变化。

$$W_{ph} = \sum_i^{N_h} \sum_j^{N_h} c_{hij} D_{hij} f_{hij} \quad (2)$$

$$D_{hij} = |x_{ch,i} - x_{ch,j}| + |y_{ch,i} - y_{ch,j}| \quad (3)$$

式中: c_{hij} 表示物料在当前阶段的单位搬运成本; D_{hij} 表示当前阶段设备 i 和 j 之间的物料搬运距离; f_{hij} 表示物料搬运次数。

车间布局重构成本 R_{ch} 的计算如式(4)所示。

$$R_{dh} = \sum_i^{N_h} K_{hi} (\alpha_q + \beta_q + \gamma_q) + \quad (4)$$

$$\sum_{q=1}^M (J_{hq}^+ \alpha_q + J_{hq}^- \beta_q) + \sum_{h=2}^H \mu_h$$

$$K_{hi} = \begin{cases} 1, & \text{需要进行移动} \\ 0, & \text{不需要进行移动} \end{cases} \quad (5)$$

式中: H 为生产阶段数量; M 为设备总类数; μ_h

$$S_h = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{c_i} \left[\max\left(x_{ij} + \frac{1}{2} l_{ij}\right) - \min\left(x_{ij} - \frac{1}{2} l_{ij}\right) \right] \times \left[\max\left(y_{ij} + \frac{1}{2} w_{ij}\right) - \min\left(y_{ij} - \frac{1}{2} w_{ij}\right) \right] \quad (6)$$

式中: c_i 表示第 C 个制造单元内存在的设备个数; S 表示车间的总面积。

(3) 单元的封闭性最大化。制造单元的封闭性最大化是指零件加工过程中跨单元移动的次数 F_h 最少, 计算公式如式(7)所示。

$$F_h = \frac{1}{2} \sum_h^H \sum_c^C \sum_p^P \left\{ \frac{D(h)_p}{B_m} \right\} \sum_{P=1}^{J_p-1} \left| \sum_{m=1}^M V_{j+1, pcmh} - \sum_{m=1}^M V_{jpcmh} \right| \quad (7)$$

$$V_{jpcmh} = \begin{cases} 1, & \text{零件 } p \text{ 的工序 } j \text{ 在 } m \text{ 类设备上加工} \\ 0, & \text{零件 } p \text{ 的工序 } j \text{ 不在 } m \text{ 类设备上加工} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $D(h)_p$ 为第 h 阶段零件 p 的需求量; C 为可重构制造单元的数目; P 为生产的零部件类型; B_m 为 m 类设备的加工能力。

1.3 约束条件

式(9)~(11)为车间布局中设备的坐标表达式。

式中: (x_i, y_i) 为设备 i 的纵横轴坐标; $\Delta l_{i(i-1)}$ 为同

为由于重构而产生的损失; J_{hq}^+ 和 J_{hq}^- 为 h 子周期内设备的增减数量; α_q 、 β_q 、 γ_q 分别为 q 类型设备的安装成本、拆卸成本和搬运成本。

(2) 设备作业面积占用率最大化。针对诸多文献忽略车间各设备之间间距等因素的问题, 本文采用各设备的块状矩形结构作为车间布局中的包络面积, 则在 h 子周期内车间设备布局的占用面积 S_h 表达式如式(6)所示。

行设备 i 与 $i-1$ 之间的净间距; S_0 和 S 分别为第一行与车间边缘的固定间距和车间相邻中心线之间的间距; l_i 为设备 i 的长度; r 为车间设备行数; Z_{ir} 为决策变量; 当设备 i 位于 r 行时为 1、否则为 0。

$$\rho_i = \sum_{r=1}^R Z_{ir} r \quad (9)$$

$$x_i = x_{i-1} + \frac{1}{2} (l_i + l_{i-1}) + \Delta l_{i(i-1)} \quad (10)$$

$$y_i = S_0 + (\rho_i - 1)S \quad (11)$$

式(12)~(15)用来保证车间布局中的同行相邻设备之间具有足够的间距; 以防止设备之间发生干涉或者重叠。其中: h_{ij} 为设备 i 和设备 j 水平方向上的安全间距; Δ_{ij} 为设备 i 和设备 j 之间的净距离; Δl_{ij} 为设备 i 和设备 j 之间的水平距离; L 为车间长度; w_i 为设备 i 的宽度; S_{ij} 为设备 i 与 j 所在行的间距。

$$\Delta l_{ij} = h_{ij} + \Delta_{ij} \quad (12)$$

$$\max\{x_i\} - \min\{x_i\} + \frac{1}{2} (l_i + l_j) \leq L \quad (13)$$

$$|x_j - x_i| \geq \Delta l_{ij} + \frac{1}{2} (l_i + l_j) \quad (14)$$

$$|y_j - y_i| \geq S_{ij} + \frac{1}{2} (w_i + w_j) \quad (15)$$

式(16)表示为了更加贴近真实情况, 物料搬运应该按不同情况进行最优路线的选择。

$$d_{ij} = \begin{cases} |x_i - x_j| + |y_i - y_j|, & |\rho_i - \rho_j| = 1 \text{ 或 } 0 \\ x_i + x_j + |\rho_i - \rho_j - 1|S, & |\rho_i - \rho_j| \geq 2 \text{ 且 } x_i + x_j \leq L \\ 2L - (x_i + x_j) + |\rho_i - \rho_j - 1|S, & |\rho_i - \rho_j| \geq 2 \text{ 且 } x_i + x_j \geq L \end{cases} \quad (16)$$

2 基于改进 NSGA-II 算法的布局优化设计

本文主要从以下 3 个方面进行改进:(1)在种群的初始化方式上,引入一般的反向学习策略;(2)将正太分布交叉算子和混合变异算子引入到 NSGA-II 算法中,加强算法的全局搜索能力和局部搜索能力;(3)引入新的精英个体选择方法,确保种群的先进性。

2.1 种群初始化的改进

Tizhoosh^[8]提出反向学习机制,并证明了其有效性。随后,Peng 等^[9]将该方法应用在种群初始化过程中,也取得了很好的效果。本文基于一般的反向学习策略进行种群初始化,过程如下:

(1) 随机方式生成种群 P 中的个体

$$x_{ij} = \text{rnd}(0, 1)(\max_j - \min_j) + \min_j$$

$$i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, D \quad (17)$$

式中: N 为种群规模; D 为解空间维数; x_{ij} 为 i 个体 j 维变量值; \max_j 为解空间第 j 维变量上界; \min_j 为解空间第 j 维变量下界。

(2) 求初始个体反向解

$$p_{.ij} = \text{rnd}(0, 1)(\max_j + \min_j) - x_{ij} \quad (18)$$

式中, $p_{.ij}$ 为第 i 个初始解的第 j 维坐标。

(3) 比较种群 P 和其反向解种群,对两个种群排序从优择取 N 个解作为初始种群。

2.2 算子的改进

为了提高算法全局搜索能力并且保留种群多样性,本文舍弃原算法中的 SBX(simulated binary crossover)交叉算子,使用效果更好的正太分布交叉算子,如式(19)所示。

$$\begin{cases} C_{1/2,i} = \frac{y_{1,i} + y_{2,i}}{2} \pm 1.481 \cdot \\ |N(0, 1)| \cdot \frac{y_{1,i} - y_{2,i}}{2}, u \leq 0.5 \\ C_{1/2,i} = \frac{y_{1,i} + y_{2,i}}{2} \mp 1.481 \cdot \\ |N(0, 1)| \cdot \frac{y_{1,i} - y_{2,i}}{2}, u > 0.5 \end{cases} \quad (19)$$

式中: $y_{1,i}, y_{2,i}$ 为父代染色体上对应的第 i 个变量; u 为区间(0,1)上均匀分布的随机数; $N(0, 1)$ 为正态分布随机变量。

本文使用混合变异算子,对于均匀变异,由于使用广泛,本文不多做介绍。有关高斯变异算子,个体 (x_i, y_i) 在高斯变异算子下变为 (x'_i, y'_i) ,具体为

$$\begin{cases} y'_i = y \cdot \text{Exp}(\epsilon'N(0, 1) + \epsilon N(0, 1)) \\ x'_i = x_i + y'_i N(0, 1) \end{cases} \quad (20)$$

式中: $N(0, 1)$ 为正太分布随机变量; ϵ 和 ϵ' 算子集参数,其中 $\epsilon' = (\sqrt{2n})^{-1}$, n 为变量个数, $\epsilon = (\sqrt{2\sqrt{q}})^{-1}$, q 为种群大小。混合变异算子的具体形式如式(21)所示。

$$X'_i = \begin{cases} X_i + U(-\sigma_1, \sigma_1), t \leq T/2 \\ X_i + N(0, \sigma_2), T/2 < t \leq T \end{cases} \quad (21)$$

式中: T 为最大进化代数; t 为当前进化代数。

2.3 改进的精英个体选择策略

本文引入了一种精英个体选择方法,该方法的优势是可以将大多数的精英个体保存下来,与此同时将少部分的精英舍弃,解决了原算法选择策略存在的问题。其基本思想为:使用非支配排序方法对 R_t 进行排序,然后得到 F_1, F_2, \dots, F_n 各个 Pareto 前沿,之后以某一分布函数(见式(22))选取个体进化父代种群 P_{t+1} ,选取的部分为每一级非支配前沿。

$$n_i = |F_i| * e^{-i/2} \quad (22)$$

改进前后的精英个体选择策略如图 2 所示。

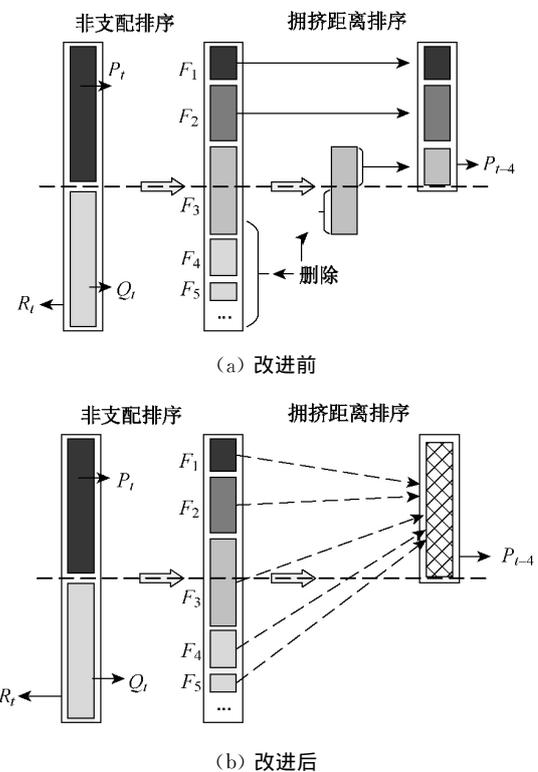


图 2 改进前后精英个体选择策略

Fig. 2 The strategy of elite individual selection before and after improvement

3 案例研究与分析

本文以某重型企业箱体生产车间的可重构系统设备布局为例进行分析求解与仿真验证。车间长为

124.9 m,宽为 27.7 m。用改进的 NSGA-II 算法对其进行求解。案例分为 2 个计划阶段,每个阶段生产 1 种类型的箱体,需要不同类型的钢板零件。

调查企业生产实际情况,确定将生产周期分为两个计划阶段,每个阶段生产的零件种类有 6 种,每个阶段的具体生产量如表 1 所示。

两个生产阶段中设备的信息如表 2 和 3 所示。由于不同生产阶段,生产的零件种类和数量不同,生产零件的设备种类也不同,根据生产需要在

表 1 各阶段产品产量预测表

计划阶段	1#	2#	3#	4#	5#	6#
1	500	300	800	450	0	400
2	0	600	0	250	800	300

每个计划阶段安排如表 3 所示的设备(F-1, F-2, ..., F-9)数量。

分别对两个阶段设备从类型 F-1 到 F-9 进行排序,物流频率如表 4 和 5 所示。

表 2 车间布局中各设备属性

Table 2 Properties of each device in the workshop layout

设备类型	设备尺寸/ (mm×mm)	安全范围/mm	拆卸成本/元	安装成本/元
坡口铣边机	1 850×1 080	200	2 500	3 000
机器人焊接站	1 000×220	150	3 500	5 000
钢板划线焊缝打磨机	320×150	150	1 000	1 800
板缝液轮矫形机	410×206	200	500	1 400
角钢组对机	556×200	300	780	1 580
角钢焊接工作站	450×359	250	600	1 200
板片数控矫形机	1 650×200	550	1 300	1 500
钢板预拼装机	1 300×500	300	900	1 000
单面焊双面成型机	620×300	280	500	400

表 3 不同生产阶段设备个数

Table 3 Number of equipment at different stages of production

计划阶段	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9
1	2	0	1	1	2	1	0	1	1
2	0	1	2	1	2	1	2	0	1

表 4 段 1 物料搬运频率

Table 4 Material handling frequency in Stage 1

设备	F-1	F-1	F-3	F-4	F-5	F-5	F-6	F-8	F-9
F-1	0	11	8	9	14	6	8	9	0
F-1	9	0	16	11	9	10	15	6	9
F-3	10	9	0	4	12	6	12	3	8
F-4	12	12	10	0	0	7	11	5	12
F-5	8	6	14	0	0	7	10	0	7
F-5	12	14	6	2	7	0	7	7	14
F-6	8	7	13	5	8	6	0	1	0
F-8	14	0	7	4	12	10	12	0	12
F-9	9	9	8	5	0	11	6	0	0

由于第 2 计划阶段不需要设备 F-1 的参与,因

此设备 F-1 不会产生物流,在表 5 中不再加入。

表 5 阶段 2 物料搬运频率
Table 5 Material handling frequency in Stage 2

设备	F-2	F-3	F-3	F-4	F-5	F-5	F-6	F-7	F-7	F-9
F-2	0	8	10	11	14	9	5	5	17	12
F-3	8	0	8	7	7	6	7	6	5	8
F-3	10	8	0	13	12	13	10	14	5	11
F-4	11	7	13	0	5	11	5	7	11	14
F-5	15	7	12	5	0	8	5	14	13	7
F-5	9	6	13	11	8	0	12	11	22	14
F-6	5	7	10	5	5	12	0	8	11	7
F-7	5	6	14	7	14	11	8	0	7	11
F-7	17	5	5	11	13	7	11	7	0	13
F-9	12	8	11	14	7	14	7	11	13	0

案例中优化过程各项参数设置如下:初始种群个体数为 100,交叉概率为 0.8,变异概率为 0.1,最大迭代次数为 100 次,惩罚函数常数值 T 为 500。

本文所提出的改进 NSGA-II 算法步骤如下:

(1) 编码规则。针对多行设备布局问题,本文采用如式(23)所示的编码公式。

$$\{P_{ij} | C_{ij} | G_{mc} | |\Delta_i|\} \quad (23)$$

式中: Δ_i 为设备之间净距离,取值范围: $[\Delta_{\min}, \Delta_{\max}]$; 矩阵 P_{ij} 为零件 i 的 j 工序所在的加工设备类型; C_{ij} 为 i 零件的 j 工序所在的制造单元; G_{mc} 为 m 类设备在制造单元 C 中数量。

(2) 初始化种群。通过反向学习机制对随机生成的初始种群进行反向求解,获取反向种群,将两个种群中的个体以适应度值为标准进行排序,优选出 N 个个体作为初始种群。

(3) 快速非支配排序。对初始种群进行非支配排序,优选个体产生种群 P_t 。

(4) 使用锦标赛选择方式。

(5) 交叉和变异。本文采用正太分布交叉算子、均匀变异算子以及高斯变异算子相结合的混合变异算子,算法的搜索空间更为广阔,避免了局部最优和进化过程不稳定的问题,有利于维持种群的多样性,最后形成新的种群 Q_t 。

(6) 联合种群。联合 P_t 、 Q_t 种群,产生种群 R_t ,其种群大小规模为 $2N$, $R_t = P_t \cup Q_t$ 。

(7) 精英个体保留策略。依照本文提出的策略进行种群的更新,形成新的种群 P_{t+1} 。

(8) 惩罚函数。本文采用的惩罚函数为

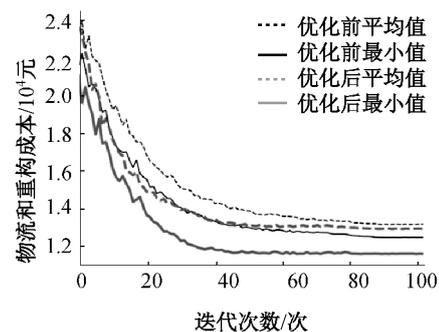
$$Q_k = \begin{cases} 0, \max\left\{y_i + \frac{1}{2} \omega_i\right\} \leq W \\ T\left(\max\left\{y_i + \frac{1}{2} \omega_i\right\} - W\right), \max\left\{y_i + \frac{1}{2} \omega_i\right\} > W \end{cases} \quad (24)$$

式中: i 为在这个生产计划阶段中存在的设备个数; T 为一个较大正常数。

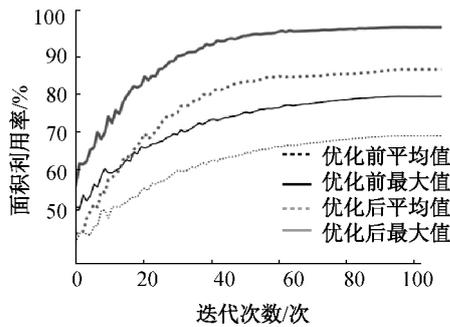
(9) 迭代终止条件。算法迭代终止条件设置为达到最大迭代次数。不满足终止条件时,第(7)步中得到的个体返回到第(4)步循环操作,如此反复,直到满足终止条件为止。

(10) 算法终止。算法结束,获得相关参数和 Pareto 有关图形。

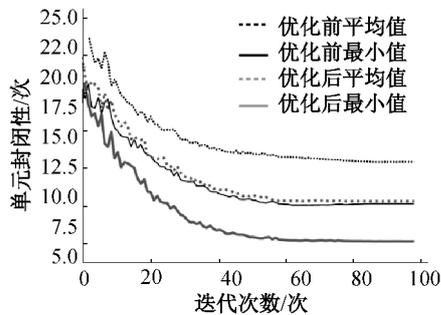
以上文提到的 3 个方面为优化目标,运用 Matlab 进行编程求解。两种算法的进化对比图和 Pareto 前沿比较结果如图 3 所示,图 3 中 f_1 、 f_2 和 f_3 分别代表优化目标 1~3。从图 3 中可以看出,改进后的算法在优化趋于稳定时需要更少的迭代次数,并且优目标的平均值与最大值或最小值均比原来算法更优异。改进后的算法 Pareto 前沿更加集中和符合真实最优解。



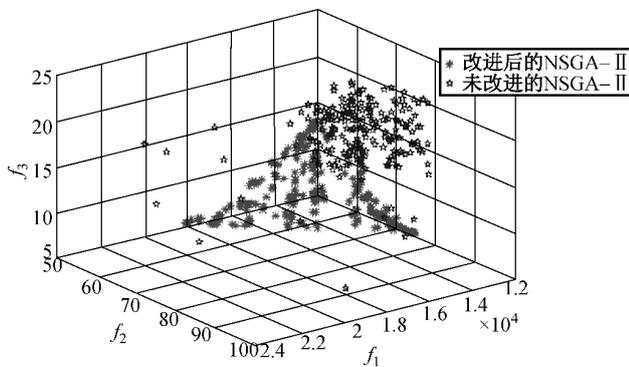
(a) 优化目标 1 的平均值与最小值



(b) 优化目标 2 的平均值与最大值



(c) 优化目标 3 的平均值与最小值



(d) Pareto 前沿比较

图 3 优化目标值与 Pareto 前沿比较

Fig. 3 Comparison of target values and Pareto frontiers

根据运算结果中 3 个优化目标, 得出备选方案集。为了使求得的结果更加准确, 从求得的 Pareto

前沿中另选出方案作为备选方案(见表 6)。从表 6 可以看出, 方案 A、B、C 分别是 3 个优化目标的单独最优解, 方案 D、E、F 为从 Pareto 前沿中选出的备选方案。

表 6 备选方案
Table 6 Alternatives

备选方案	目标 1/元	目标 2/%	目标 3/次
A	11 700	92.3	12
B	13 165	88.3	11
C	14 724	90.7	8
D	20 906	88.4	14
E	16 851	82.4	15
F	17 060	85.8	10

两种算法运行时间和收敛迭代次数比较结果如表 7 所示。从表 7 中可以直观地分析得出, 改进的 NSGA-II 与传统的 NSGA-II 算法相比, 前者具有更强全局搜索能力和局部搜索能力, 算法的运行速度有了很大提升, 改进算法求得的 Pareto 解集相比未改进算法范围缩小了, 且分布更加均匀。

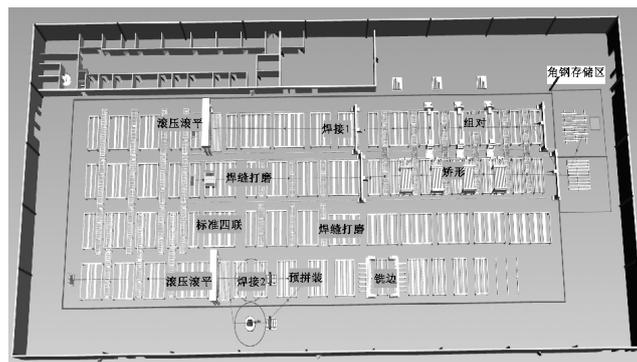
表 7 两种算法运行时间和收敛迭代次数比较

Table 7 Comparison of running times and convergence iterations of two algorithms

项目	传统 NSGA-II 算法	改进 NSGA-II 算法
平均运行时间/s	16.783 2	10.476 9
平均收敛迭代次数/次	40	30

上文通过 Matlab 得到了设备布局的优选方案, 用 Plant Simulation 软件进行上述备选方案的仿真, 进行结果分析。

车间三维布局俯视图和车间产品加工工艺流程的二维仿真如图 4 所示, 仿真过程中各优选方案的各项参数设置相同, 仅考虑各设备的位置不同。



(a) 车间布局三维俯视图

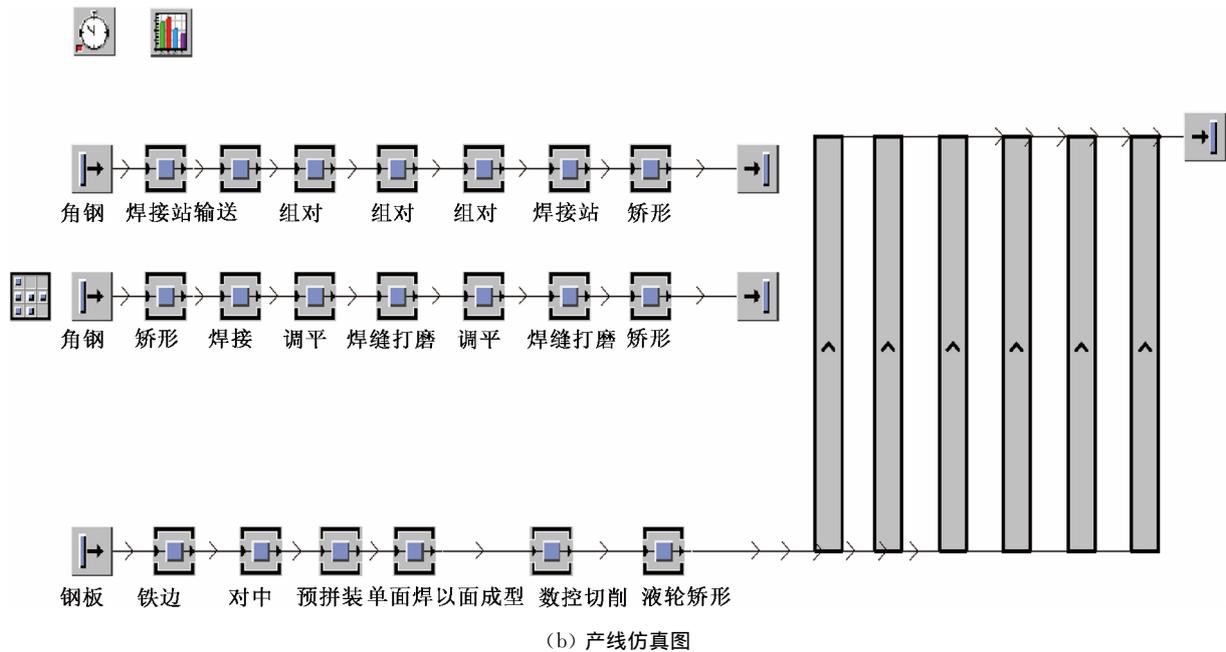


图 4 车间布局三维俯视图与产线仿真图

Fig. 4 Workshop layout 3D view and production line simulation

本仿真模型中以设备利用率为指标确定备选方案中的最佳方案,通过分析仿真数据可以清楚地了解不同方案在整个生产过程成中各设备利用率情况。

由于数据过多,本文采用表格形式进行对比。设备利用率情况如表 8 所示。

表 8 设备利用率情况
Table 8 Utilization rate of facilities

备选方案	设备利用率范围	设备利用率 100% 的个数	设备利用率低于 50% 的个数	平均利用率/%
A	(40%,100%]	3	4	82.1
B	(50%,100%]	9	3	83.0
C	(50%,100%]	6	2	86.5
D	(40%,100%]	9	3	84.2
E	(40%,100%]	4	2	76.0
F	(50%,100%]	3	3	80.7

从生产效益方面来说,设备的利用率越高越好,所以设备利用率应该尽可能的在较高的范围内。为了防止一定程度的阻塞,利用率为 100% 的设备个数也应该控制在一定数量,其数量并不是越多越好,并且应该尽量减少利用率低于 50% 的设备。为了不使设备出现较多的空闲状态,从而导致资源浪费,设备的平均利用率要维持在较高水平。根据表 8 分析对比,各备选方案中 C 为最优方案。

4 结 语

本文对可重构制造系统的设备动态布局问题进行了研究,从物流和重构成本、单元封闭性和作业面积 3 个方面进行优化,并提出了一种基于 NSGA-II 的改进算法,然后通过 Matlab 以及仿真软件 Plant Simulation 验证了算法的有效性和可行性。通过 Plant Simulation 仿真分析,可以对规划中的布局进行建模,能简单有效获得设备的利用率情况,可以为方案的选择和布局的优化起到很好的辅助作用。

参 考 文 献

- [1] AKHIL J, UDATTA S. Aggregate production planning for a continuous reconfigurable manufacturing process[J]. Computer & Operations Research, 2005, 32(5): 1213-1236.
- [2] 陈友玲,刘文科,严键. 基于 RMC 的可重构制造系统设备布局优化研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4550-4553.
- [3] 王鹏云. 基于遗传算法的设备布局与生产调度优化软件设计与实现[D]. 南京: 南京大学机电学院, 2008.
- [4] DUNKER T, RADONS G, WESTKAMPER E. Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 165(1): 55-69.
- [5] 郭爽,徐克林,孙立峰. 基于遗传算法的动态连续型设备布局方法[J]. 现代制造工程, 2011, (11): 58-62.
- [6] 黄君政,李爱平,雷明. 基于 NSGA-II 的多目标设备动态布局方法[J]. 中国工程机械学报, 2014, 12(1): 1-6.
- [7] 刘景发,王大文. 基于 Wang-Landau 算法的动态设施布局方法[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(3): 844-848.

- [8] TIZHOOSH H R. Opposition-based learning: a new scheme for machine [C] // International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation/International Conference on Intelligent Agents Web Technologis and International Commerce. 2005: 695-701.
- [9] PENG, L WANG Y, DAI G. A novel opposition-based multi-objective differential evolution algorithm for multi-objective optimization[C]//Advances in Computation and Intelligence Lecture Notes in Compture Science 2008. 5370(15):162-170.

(责任编辑:杜 佳)

(上接第 554 页)

- transportation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 227-228(43): 135-141.
- [10] MEISEL F, KIRSCHSTEIN T, BIERWIRTH C. Integrated production and intermodal transportation planning in large scale production-distribution-networks[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2013, 60(6): 62-78.
- [11] MEHRDAD S, AVINASH U. Robust hub network design problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 70(C): 356-373.
- [12] HATEFI S M, JOLAI F. Robust and reliable forward - reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(9/10): 2630-2647.
- [13] MARUFUZZAMAN M, EKSIÖGLU S D, HUANG Y X. Two-stage stochastic programming supply chain model for biodiesel production via wastewater treatment[J]. Computers & Operations Research, 2014, 49(10): 1-17.
- [14] KEVIN Y, CRAIG W, MATTHEW Jet al. Lee Two stage stochastic bilevel programming model of a pre-established timberlands supply chain with biorefinery investment interests [J]. Computers and Chemical Engineering, 2015, 73(73): 141-153.
- [15] SIMIC V. A two-stage interval-stochastic programming model for planning end-of-life vehicles allocation under uncertainty[J]. Resources Conservation and Recycling, 2015, 98: 19-29.
- [16] YANG T H. Stochastic air freight hub location and flight routes planning[J]. Applied Mathematical Modelling, 2009, 33(12): 4424-4430.
- [17] DEMIR E, BURGHOLZER W, HRUSOVSKY M et al. A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2006, 93(7): 789-807.
- [18] SCHILDBACH G, MORARI M. Scenario-based model predictive control for multi -echelon supplychain management [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 252(2): 540-549.
- [19] MARIN A, CANOVAS L, LANDETE M. New formulations for the uncapacitated multiple allocation hub location problem [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 172(1): 274-292.

(责任编辑:杜 佳)