

# 面向复杂零件协同制造的资源优化配置技术研究

王增强 姚倡锋 张定华 彭文利 蔺小军 任军学  
西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室, 西安, 710072

**摘要:** 面向复杂零件的异地协同制造, 提出依据工艺流程进行制造任务分解, 研究了以工艺流程为核心的逻辑制造单元(LMU)和逻辑加工路线(LMP)设计, 有效利用 LMP 和 LMU 描述针对复杂零件的协同制造任务。对复杂零件异地协同制造的制造资源优化配置问题进行了数学分析和描述, 阐述了问题的目标与约束条件, 将资源优化配置问题归结为多目标优化问题, 利用遗传算法进行求解, 并进行了应用实例分析, 证明了采用制造资源优化配置方法可以有效解决复杂零件网络化异地协同制造的资源优化配置问题。

**关键词:** 资源优化配置; 物理制造单元; 逻辑制造单元; 逻辑加工路线; 可执行加工路线; 遗传算法

中图分类号: TH 165

文章编号: 1004—132X(2006)02—0152—05

## Research on Networked Cooperative Manufacturing Resource Optimization Deployment for Complex Parts

Wang Zengqiang Yao Changfeng Zhang Dinghua Peng Wenli Lin Xiaojun Ren Junxue  
The Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology,  
Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072

**Abstract:** To solve resource optimizing deployment problem for networked cooperative manufacturing of complex parts, the cooperative manufacturing task was decomposed according to the processes of the complex parts. The design of LMP (logical manufacturing process) and LMU (logical manufacturing unit) was studied, and the cooperative manufacturing tasks were described as LMP and LMU. The objectives and restrictions of the manufacturing resource optimization deployment were discussed, and an improved algorithm based on GA was proposed to solve the problem. At last, an example is given to prove the feasibility and validity of the method.

**Key words:** manufacturing resource optimization deployment; physical manufacturing unit (PMU); logical manufacturing unit (LMU); logical manufacturing process (LMP); executive manufacturing process (EMP); genetic algorithm

## 0 引言

随着网络技术的不断成熟和企业联盟概念的日渐普及, 利用网络优势形成企业联盟, 实现网络化协同制造, 已经成为中小制造企业发展的趋势。资源优化配置的核心, 目前与制造资源优化配置问题相关的研究可以分为以下两方面: ①以产品结构(部件、子部件)或生产任务(如采购、制造、原料提供、设计、运输、组装、测试和销售)为核心的合作伙伴选择, 实现企业级的资源优化配置, 形成虚拟企业或者动态联盟<sup>[1,2]</sup>; ②面向工件的加工工序, 进行以工序作业为核心的局限于车间内的设备组或设备选择, 实现设备级的资源优化配置,

使车间资源得到有效合理利用<sup>[3,4]</sup>。

然而, 在中小企业网络化制造模式下, 面向复杂零件制造如何配置分布在异地的制造单元, 目前还没有很好的解决方案。本文结合基于制造资源优化配置的制造过程管理系统的研究, 面向复杂零件的网络化协同制造, 提出依据零件的工艺流程进行任务分解, 研究以工艺流程为核心的制造资源优化配置技术。

## 1 制造任务分解和描述

协同制造任务是指因本企业不能完成加工, 需要和其他企业合作的加工任务。针对需要进行协同制造的复杂零件, 接到任务的企业需要先根据本企业的制造资源制订零件的加工工艺, 按照工艺流程, 根据工艺特征及本企业的资源能力将整个零件的生产过程划分为若干加工阶段, 由工艺人员确定哪些加工阶段本企业无能力完成, 哪

收稿日期: 2005—04—04

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (2001A A412020, 2003A A414320); 西北工业大学博士论文创新基金资助项目 (CX200412); 航空科学基金资助项目 (04H53064)

些加工阶段需要和其他企业协同完成,每个加工阶段用逻辑制造单元(logical manufacturing unit, LMU)描述。这些有序的 LMU 从逻辑上构成了协同制造任务,称为逻辑加工路线(logical manufacturing process, LMP)。

1.1 LMU 设计

LMU 是面向某类零件的工艺特征,根据某类零件的典型特征及加工要求初步确定的主要工序集合,对应特定的加工生产能力,是某类零件的典型特征及加工要求的抽象描述。LMU 用一个八元组描述:  $LMU(Pf, F, Ma, Rm, Dc; Mach, Pre, Pro)$ 。其中,第一部分信息是零件信息:  $Pf$  表示零件类别,  $F$  表示零件的主要几何特征,  $Ma$  表示零件的材料类别,  $Rm$  表示毛坯类别,  $Dc$  表示尺寸范围;第二部分表示零件的主要工艺信息:  $Mach$  表示零件的加工方法,  $Pre$  表示零件的加工精度,  $Pro$  表示零件的生产类别。

LMU 的设计主要借鉴德国 OPTIZ 零件分类系统。发动机产品的零件类别包括涡轮、叶片、叶盘、机匣、管道等;主要几何特征包括锥面、外圆、内孔、端面、外方锥、轴向孔、径向孔、台阶轴、复杂曲面等;材料类别包括钛合金等;毛坯类别包括锻件、铸件等;尺寸范围指加工的最大尺寸和最小尺寸;加工方法包括普通车、铣、磨和数控车、数控铣等;加工精度指对某类零件可实现的加工精度;生产类别包括单件、小批量、中批量、大批量和大量生产。LMU 起着联系工艺和制造资源的桥梁作用,表现在一个 LMU 既封装了主要工艺信息,又封装了所需制造资源的能力信息。

1.2 LMP 设计

LMP 表示复杂零件的整个加工过程,它是 LMU 的有序组合,同时包含零件加工质量、成本、时间要求等动态信息。它是在仅考虑本企业制造资源、不考虑协作企业制造资源的条件下,对零件制订逻辑上的工艺分工路线,是对零件的工艺分工路线的抽象,它描述了零件的制造需求与约束。

当企业接到复杂零件的制造任务后,工艺人员根据复杂零件的 CAD 信息、工艺信息,确定 LMP 的 LMU 组成及顺序,设计 LMP 的静态信息,即 LMU 的有序集合,再根据具体的订单要求及加工要求等信息,采用文献[5]提出的方法,确定 LMP 中每个 LMU 所需时间、成本、质量以及特殊设备、工装要求,设计 LMP 的动态信息。

1.3 制造任务描述

最终面向复杂零件的制造任务用 LMP 表示为

$$LMP = \{ LMU(0), C_0, T_0, Q_0, F_0, E_0; \\ LMU(1), C_1, T_1, Q_1, F_1, E_1; \dots; \\ LMU(N-1), C_{N-1}, T_{N-1}, Q_{N-1}, F_{N-1}, E_{N-1} \} \quad (1)$$

式中,  $C_i, T_i, Q_i (i = 0, 1, \dots, N-1)$  分别为 LMU( $i$ ) 的成本、时间和质量约束;  $F_i, E_i$  分别为特殊工装和特殊设备要求。

2 协同制造资源建模

笔者在文献[6]中提出了基于物理制造单元层、工作中心层、物理设备层的网络化制造资源组织模型。物理制造单元(physical manufacturing unit, PMU)是由同处一地的加工设备、工装附件、计算机硬件等物理设备组成,面向生产车间的满足某种加工工艺的多台设备和工装附件的集合。在实际生产中,它指具有独立核算能力的中小型企业或者大型企业的车间,由单个或多个工作中心组成。工作中心指处于同一位置,能够实现同一工种的物理设备的集合。PMU 的制造能力信息模型主要包括零件类别、零件主要几何特征、零件的材料、毛坯、尺寸范围、主要加工方法、加工精度以及生产类别。为便于实现制造资源和制造任务之间的配置,用 LMU 来封装 PMU 的主要制造能力信息。

3 制造资源优化配置的数学描述

3.1 制造资源优化配置问题的提出

面向复杂零件协同制造的资源优化配置解决的问题是针对 LMP,综合考虑总体运行时间、成本及质量,在所有参与竞争的 PMU 中组合一条最优的 PMU 组合序列,称为可执行加工路线(executive manufacturing process, EMP)。EMP 表示复杂零件的全部加工过程需要经过的 PMU,内含不同企业不同 PMU 的制造资源详细信息。

如图 1 所示,当 PMU1 接到订单任务,将任务分解为  $N+1$  个子任务,经过分析,在子任务中 LMU(0)和 LMU( $N$ )本企业 PMU 可以完成。而对于其他任务,综合运行时间、成本及质量等约束,需寻求合作的 PMU,因此问题的实质是对参与竞争的 PMU 组合出一条最优的 PMU 序列。

3.2 制造资源优化配置问题的数学模型

3.2.1 PMU 和 EMP 的选择域

对具体的零件,设计一条 LMP,根据每个 LMU 的详细信息和 PMU 的能力信息,能够映射完成该 LMU 的所有 PMU,称为 PMU 子集,结果记为

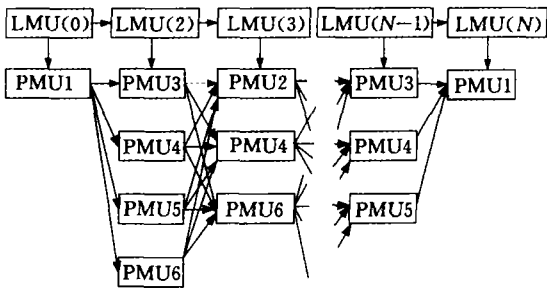


图 1 制造资源优化配置问题示意图

$$G_i = \{PMU(i, 0), PMU(i, 1), \dots, PMU(i, m_i - 1)\} \quad (2)$$

式中,  $m_i (i = 0, 1, \dots, N-1)$  为  $G_i$  中 PMU 的数量;  $G_i$  为 LMU( $i$ ) 对应的 PMU 的选择域。

对于式(1)所示的制造任务 LMP, EMP 的选择域为

$$G = \{G_0, G_1, \dots, G_{N-1}\} \quad (3)$$

### 3.2.2 LMU 和 PMU 优化配置的目标

LMU 和 PMU 优化配置的目的是对式(3)进行评估优选, 寻求一条最优的 EMP, 使得通过该条 EMP 的运行费用最低、运行时间最短、加工质量最好。针对式(1)所示的 LMP, EMP 由  $N$  个 PMU 有序组成, 记为

$$EMP = \{PMU(0, k_0), PMU(1, k_1), \dots, PMU(N-1, k_{N-1})\} \quad (4)$$

$$k_i \in [0, m_i - 1]$$

式中,  $PMU(i, k_i)$  为  $G_i$  中的第  $k_i$  个 PMU。

### 3.2.3 目标函数

该问题可以简化为多目标优化问题, 优化目标函数为

$$\left. \begin{aligned} \min C &= \min(C_{in} + C_{tr}) = \min \left( \sum_{j=0}^{N-1} C_i(j) + \sum_{i=0}^{N-2} C_{i+1}(j, k) \right) \\ \min T &= \min(T_{in} + T_{tr}) = \min \left( \sum_{j=0}^{N-1} T_i(j) + \sum_{i=0}^{N-2} T_{i+1}(j, k) \right) \\ \min Q &= \min \sum_{j=0}^{N-1} (1 - Q_i(j)) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$j \in [0, m_i - 1] \quad k \in [0, m_{i+1} - 1]$$

式中,  $C_{in}$  为 PMU 内在加工成本;  $C_{tr}$  为相邻 PMU 间运输成本;  $C_i(j)$  为  $G_i$  中 PMU( $i, j$ ) 的内在加工成本;  $C_{i+1}(j, k)$  为  $G_i$  中 PMU( $i, j$ ) 和相邻  $G_{i+1}$  中 PMU( $i+1, k$ ) 的运输成本;  $m_i$  为  $G_i$  中 PMU 数量;  $T_{in}$  为 PMU 内在加工时间;  $T_{tr}$  为相邻 PMU 间运输时间;  $T_i(j)$  为  $G_i$  中 PMU( $i, j$ ) 内在加工时间;  $T_{i+1}(j, k)$  为  $G_i$  中 PMU( $i, j$ ) 和相邻  $G_{i+1}$  中 PMU( $i+1, k$ ) 间的运输时间;  $Q_i(j)$  为  $G_i$  中 PMU( $i, j$ ) 所承诺的加工质量, 用加工零件的合格率来表示。

### 3.2.4 约束条件

根据订单信息, 对整个 LMP 有一释放期  $R$  和交货期  $D$ , 有总的成本约束  $C^T$  和质量约束  $Q^T$ , 在  $[R, D]$  内, 必须完成 LMP 的所有 LMU; 同样, 每个 LMU( $i$ ) 有一释放期  $R^i$  和交货期  $D^i$ , 有成本、时间、质量约束, 表示为  $C^i, T^i, Q^i$ , 在时间区间  $[R^i, D^i]$  内, 必须完成 LMU( $i$ ) 的所有工序, 同时, LMU( $i$ ) 有一个可选择的开始加工时间  $B^i$ 。

任务的顺序约束:

如果 LMU( $i$ ) 在 LMU( $j$ ) 之前, 则

$$R^i + T^i \leq D^j \leq R$$

任务 LMU( $i$ ) 的释放期约束:

$$B^i \geq R^i$$

即任务的开始加工时间滞后于任务的释放时间。

任务 LMU( $i$ ) 的交货期约束:

$$B^i + T^i \leq D^i$$

任务 LMU( $i$ ) 的时间约束:

$$\max T_i(j) \leq T \leq D^i - R^i$$

$$\max \left( \sum_{j=0}^{N-1} T_i(j) + \sum_{i=0}^{N-2} T_{i+1}(j, k) \right) \leq R - D$$

任务 LMU( $i$ ) 的成本约束:

$$\max C_i(j) \leq C$$

$$\max \left( \sum_{j=0}^{N-1} C_i(j) + \sum_{i=0}^{N-2} C_{i+1}(j, k) \right) \leq C^T$$

任务 LMU( $i$ ) 的质量约束:

$$\min \sum_{j=0}^{N-1} Q_i(j) / N \geq Q^T \quad \min Q_i(j) \geq Q$$

## 4 基于 GA 的制造资源优化配置算法

制造资源优化配置是一个典型的多目标组合优化问题, 一般不存在使所有目标同时满足的 EMP, 因此需要对 3 个优选目标分配权重, 表示对于它们考虑的重要程度不一样, 记为  $(W_C, W_T, W_Q)$ , 其中  $W_C + W_T + W_Q = 1$ 。多目标优化问题可通过定义效用函数将多目标优化转化为单目标优化, 然后用 GA 求解<sup>[7,8]</sup>。

### 4.1 遗传编码

根据制造资源优化配置问题的特点, 采用整数编码作为遗传编码方案, 具体的编码规则如下:

(1) 对任务进行编码, 依次为  $0, 1, \dots, N-1$  ( $N$  为任务数, 即 LMP 中 LMU 的个数), 如染色体第  $i$  位基因表示 LMP 中的第  $i$  个 LMU, 其中  $i = 0, 1, \dots, N-1$ 。

(2) 染色体一个基因位对应一个 LMU, 染色体的长度(基因个数)与 LMP 中 LMU 的个数相同。

(3) 对资源进行编码, 依次为  $0, 1, \dots, m_i - 1$ , 其中  $m_i$  为  $G_i$  中 PMU 的个数。

(4) 染色体的一个基因值对应一个资源。

(5) 如在染色体中第  $i$  位基因值  $x_i$  表示  $G_i$  中的第  $x_i$  个 PMU 资源, 对应的任务为 LMP 中的第  $i$  个 LMU,  $x_i$  为整数且  $0 \leq x_i < m_i$ 。

(6) 一个染色体对应一条 EMP, 如染色体  $X$  (记为  $x^0 x^1 \cdots x^i \cdots x^{N-1}$ ) 对应的 EMP 为

$$\text{EMP} = \{ \text{PMU}(0, x_0), \text{PMU}(1, x_1), \cdots, \text{PMU}(N-1, x_{N-1}) \} \quad (6)$$

式中,  $\text{PMU}(i, x_i)$  为  $G_i$  中第  $x_i$  个 PMU。

4.2 适应度函数

GA 在进化搜索中基本不利用外部信息, 仅以适应度函数为依据, 利用种群中每个个体的适应度函数值进行搜索。一般而言, 适应度函数由目标函数变换而成。通过式 (5) 计算出每代群体中所有个体的  $(C, T, Q)$ , 统计出每代群体中的最大加工成本  $C_{\max}$  和最小加工成本  $C_{\min}$ , 最大加工时间  $T_{\max}$  和最小加工时间  $T_{\min}$ , 最差加工质量  $Q_{\min}$  和最优加工质量  $Q_{\max}$ 。经过对  $(C, T, Q)$  的标准化处理, 定义的适应度函数为

$$f(X) = W_C \frac{C_{\max} - C(X)}{C_{\max}} + W_T \frac{T_{\max} - T(X)}{T_{\max}} + W_Q \frac{Q_{\max} - Q(X)}{Q_{\max}} \quad (7)$$

4.3 算法设计

4.3.1 遗传算子设计

选择过程的第一步是计算适应度, 每个个体具有一个选择概率, 其大小取决于种群中个体的适应度及分布。设每代个体数量为  $M$ , 个体选择概率的计算采用轮盘选择法。假设种群中每个个体适应度为  $f_k (k = 1, 2, \cdots, M)$ , 将  $f_k / \sum_{k=1}^M f_k$  作为第  $k$  个个体的选择概率。交叉算子采用单点交叉产生新一代个体, 在 LMU 和 PMU 的优化配置过程中通过随机函数确定一个 0 到  $N-1$  之间的整数交叉位置。变异操作有一定的约束条件, 其中每一位的变异是在可取整数范围的变异, 如对染色体第  $i$  位  $x_i$  进行变异, 由于染色体第  $i$  位  $x_i$  表示  $G_i$  中第  $x_i$  个 PMU, 因此变异操作通过随机函数确定  $x_i$  在 0 到  $m_i - 1$  之间变异。

4.3.2 选择策略及算法的终止条件

从杂交变异后产生的新种群和父种群中, 按照适应度大小选取前  $M$  个个体, 组成新一代种群, 新一代保留了每代较优个体。采用新一代所有个体适应度函数值没有显著变化作为算法终止条件。

5 典型实例和结果分析

5.1 典型实例

某企业接到一个叶片加工的订单, 由于该企

业具有三轴和五轴数控加工中心, 但是不具备线切割、型面抛光的能力, 因此需要寻求具备线切割和型面抛光能力的合作 PMU, 而且如果在数控加工中心进行粗铣, 成本太高, 因此还需要寻求具备普通粗铣能力的合作 PMU。考虑本 PMU 的资源能力, 依据叶片加工工艺, 将任务分解如下:

(1) 需普通铣床粗铣榫根进排气边和盆侧榫根、背侧榫根、榫根底平面及叶尖工艺台外形。

(2) 需数控线切割铣床线切割叶根及工艺台。

(3) 需三坐标加工中心粗铣盆侧、背侧榫根三角区域、叶背、叶盆型面, 半精铣叶背叶盆型面。

(4) 需五坐标加工中心精铣进排气边台阶面、盆侧叶根榫根、背侧叶根榫根、盆侧、背侧型面。

(5) 需抛光机进行型面抛光。

为保证批量为 30 件的叶片在 90 天内完成加工, 而且总的成本不超过 9.2 万元, 由有经验的工艺人员将订单分解。加工制造任务 LMP 描述为  $\text{LMP} = \{ \text{LMU}1, 9000, 30, 0.7, 30; \text{LMU}5, 1500, 5, 0.8, 30; \text{LMU}3, 6000, 25, 0.8, 30; \text{LMU}8, 18000, 8, 0.8, 30; \text{LMU}2, 1500, 5, 0.8, 30 \}$  (8)

对应的 LMU 如表 1 所示。对 LMP 中的 5 个 LMU, 该企业 PMU 可以完成 LMU3 和 LMU8, 需要寻求有能力完成 LMU1、LMU5 及 LMU2 的合作 PMU。从制造能力、单元状态、当前负载和开始加工时间等因素进行 PMU 的初选, 结果为

$$G = \{ G_0, G_1, G_2, G_3, G_4 \} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} G_0 &= \{ \text{PMU}1, \text{PMU}2, \text{PMU}3, \text{PMU}5 \} \\ G_1 &= \{ \text{PMU}5, \text{PMU}6, \text{PMU}7, \text{PMU}8 \} \\ G_2 &= \{ \text{PMU}4 \} \\ G_3 &= \{ \text{PMU}4 \} \\ G_4 &= \{ \text{PMU}1, \text{PMU}3, \text{PMU}7, \text{PMU}9 \} \end{aligned}$$

式中, PMU4 为接到订单的企业车间。

其中,  $G$  中的 PMU 完成相应的 LMU 所承诺的加工成本、加工时间、加工质量如表 2 所示, 相邻 PMU 之间的运输费用和运输时间如表 3 所示。

5.2 结果分析

设种群数量为 20, 交叉概率  $P_c = 0.9$ , 变异概率  $P_m = 0.1$ , 算法的终止条件为新一代群体中个体的最大适应度和最小适应度之差小于 0.001。

经过 47 代模拟, 算法最终是收敛的。最优的染色体编码为 13001, 对应的适应度为 0.240 55, 对应的  $\text{EMP} = \{ \text{PMU}2, \text{PMU}8, \text{PMU}4, \text{PMU}4, \text{PMU}3 \}$ ; 次优的染色体编码为 10001, 对应的适应度为 0.240 12, 对应的  $\text{EMP} = \{ \text{PMU}2, \text{PMU}5, \text{PMU}4, \text{PMU}4, \text{PMU}3 \}$ 。

表 1 LMP 的详细信息

LMU	零件类别 <i>Pf</i>	零件几何特征 <i>F</i>	零件材料类别 <i>Ma</i>	毛坯类别 <i>Rm</i>	尺寸范围 <i>Dc</i> (mm)	加工方法 <i>Mach</i>	加工精度 <i>Pre</i>	生产类别 <i>Pro</i>	设备需求	工装需求
LM U1	叶片类	复杂曲面	钛合金	锻件	120× 24. 5× 80	普通铣削	低级精度	小批量生产	普通铣床	需要特殊夹具
LM U5	叶片类	平面	钛合金	锻件	120× 24. 5× 80	线切割	中级精度	小批量生产	线切割机床	需要特殊夹具
LM U3	叶片类	复杂曲面	钛合金	锻件	120× 24. 5× 80	数控铣	中级精度	小批量生产	三坐标加工中心	需要特殊夹具
LM U8	叶片类	复杂曲面	钛合金	锻件	120× 24. 5× 80	数控铣	高级精度	小批量生产	五坐标加工中心	需要特殊夹具
LM U2	叶片类	复杂曲面	钛合金	锻件	120× 24. 5× 80	抛光	高级精度	小批量生产	抛光机	需要特殊夹具

表 2 PMU 完成相应的 LMU 所承诺的加工成本、加工时间以及加工质量

	G <sub>0</sub>				G <sub>1</sub>				G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>			
	PMU1	PM U2	PM U3	PM U5	PMU5	PMU6	PMU7	PM U8	PMU4	PMU4	PMU1	PMU3	PMU7	PMU9
α (元)	9000	8900	8000	8500	1500	1500	1500	1500	60000	18000	1500	1000	1200	1100
T(d)	30	25	30	28	5	4	5	4	25	8	5	3	4	4
Q	0. 8	0. 9	0. 9	0. 9	0. 95	0. 8	0. 8	0. 9	0. 8	0. 8	0. 9	0. 9	0. 9	0. 9

表 3 相邻 PMU 之间的运输费用和运输时间( 运输时间 / 运输成本: 天 / 元)

	PM U1	PM U2	PM U3	PMU4	PMU5	PM U6	PM U7	PMU8	PMU9
PMU1	1/50	3/150	2/100	5/250	6/300	4/200	2/100	3/150	4/200
PMU2	3/150	1/50	3/150	4/200	2/100	3/150	4/200	2/100	2/100
PMU3	2/100	3/150	1/50	2/100	3/150	4/200	3/150	3/150	3/150
PMU4	5/250	4/200	2/100	1/50	5/250	7/350	5/250	4/200	2/100
PMU5	6/300	2/100	3/150	5/250	1/50	3/150	3/150	7/350	5/250
PMU6	4/200	3/150	4/200	7/350	3/150	1/50	7/350	5/250	3/150
PMU7	2/100	4/200	3/150	5/250	3/150	7/350	1/50	3/150	4/200
PMU8	3/150	2/100	3/150	4/200	7/350	5/250	3/150	1/50	3/150
PMU9	4/200	2/100	3/150	2/100	5/250	3/150	4/200	3/150	1/50

6 结语

基于本文提出的制造资源优化配置方法已开发了“可重构制造资源优化配置平台”。该平台可对企业及其联盟企业进行统一的资源管理; 可动态构造复杂零件的 LMU 和 LMP; 可通过实现满足一定约束( 时间、质量、成本) 的制造资源快速重组, 映射 EMP。针对本文建立的资源优化配置数学模型, 在其求解算法中, 仅通过综合评判线性加权平均模型建立 GA 的适应度函数, 没有深入考虑目标变化范围对优化结果的影响, 这是作者下一步将要研究的主要问题。

参考文献:

[ 1] 曹束, 周根贵. 一种新的敏捷虚拟企业合作伙伴选择与评价方法. 中国机械工程, 2004, 15( 22): 2010 ~ 2017

[ 2] 伍乃骥, 苏平. 敏捷制造下合作伙伴选择的有效算法. 计算机集成制造, 2004, 10( 8): 971 ~ 979

[ 3] 饶运清, 朱传军, 张超勇, 等. 支持网络化制造的车间资源集成与执行系统. 计算机集成制造, 2003, 9( 12): 1120 ~ 1125

[ 4] 孙志峻, 朱剑英. 基于遗传算法的多资源作业车间智能动态优化调度. 机械工程学报, 2002, 38( 4): 120 ~ 125

[ 5] Martinez M T, Fouletier P, Park K H, et al. Virtual Enterprise – organisation, Evolution and Control. International Journal of Production Economics, 2001, 74( 1 – 3): 225 ~ 238

[ 6] 姚倡锋, 张定华, 彭文利, 等. 基于物理制造单元的网络化制造资源建模研究. 中国机械工程, 2004, 15( 5): 414 ~ 417

[ 7] Silva C M, Biscaia E C Jr. Genetic Algorithm Development for Multi – objective Optimization of Batch Free – radical Polymerization Reactors. Computers and Chemical Engineering, 2003, 27( 8 – 9): 1329 ~ 1344

[ 8] Hajela P, Lin C Y. Genetic Search Strategies in Multi – criterion Optimal Design. Structural Optimization, 1992, 5( 4): 99 ~ 107

( 编辑 周本盛)

作者简介: 王增强, 男, 1961 年生. 西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室高级工程师. 主要研究方向为数控加工技术. 发表论文 30 余篇. 姚倡锋, 男, 1975 年生. 西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室博士研究生. 张定华, 男, 1958 年生. 西北工业大学机电学院院长、教授、博士研究生导师. 彭文利, 男, 1968 年生. 西北工业大学机电学院副教授、博士研究生. 简小军, 男, 1967 年生. 西北工业大学机电学院工程师、博士研究生. 任军学, 男, 1968 年生. 西北工业大学机电学院副教授、博士研究生.