

文章编号: 1006-5911(2004)05-0523-05

面向网络化制造的制造资源优化配置研究

马雪芬¹, 戴旭东², 孙树栋¹

(1. 西北工业大学系统集成与工程管理研究所, 陕西 西安 710072;

2. 西安交通大学润滑理论及轴承研究所, 陕西 西安 710049)

摘要: 在网络化制造环境下, 根据生产企业在外部资源利用方面的三类需求, 提出了两种可行的制造资源优化配置方法; 详细论述了优化的步骤和过程, 建立了优化模型, 给出了模型求解的有效算法。最后, 给出具体的计算实例, 以验证优化配置方法及算法的有效性。

关键词: 网络化制造; 制造资源; 优化

中图分类号: TH166 **文献标识码:** A

1 概述

国际化的市场竞争和信息技术的快速发展, 使制造环境发生了根本性的转变, 企业仅依赖内部制造资源进行生产的模式已经很难适应现有的发展。只有充分利用外部制造资源, 借助信息技术, 生产出低成本、高质量的产品, 才是制造企业赢得竞争的根本出路。网络化制造就是在这样的环境下应运而生的一种新的制造模式^[1]。

网络化制造的目标是利用不同地区的现有制造资源, 把它们迅速组合成一种没有围墙的、超越空间约束的、靠电子手段联系的、统一指挥的经营实体, 以便快速推出高质量、低成本的新产品^[2]。

网络化制造的制造资源分布于不同的地域, 如何根据生产任务, 对可利用的制造资源进行最优的配置, 使它们能够在较短的时间内, 以较低的成本生产出最高质量的产品, 是进行网络化制造的关键。本文讨论了在网络化制造环境下, 进行制造资源优化配置的两种方法, 建立了制造资源优化配置的 0-1 规划模型, 并用遗传算法对模型进行了有效的求解。

2 制造资源优化配置的两种方法

制造资源是企业生产能力的体现, 广义的制造资源是企业完成产品整个生命周期所有生产活动的物理元素的总称^[3, 4]。企业可根据它的组织结构划分为企业层、车间层、单元层、工作站层和设备层五个层次, 每个层次所代表的制造资源都具有一定的属性和功能。由于前三个层次都是由多个制造设备组成的、大小不同的设备组, 而后两个层次均指单台的制造设备, 因此, 本文将制造资源划分为设备组和设备两级。设备组指的是企业、车间或者单元, 而设备是指工作站或者单台制造设备。

目前, 制造企业利用网络化制造生产模式进行产品生产时, 在利用外部资源方面有以下三种需求:

(1) 生产企业接到产品订单, 将产品进行分解, 同时根据产品的交货期限给出各个零部件应完工的日期。产品分解过程中, 对那些本企业不能生产或虽然自己能生产, 但是考虑到经济利益或加工质量等方面的原因, 仍然希望与网上其他企业合作完成的零部件, 主生产企业可以从网上寻找合适的设备组, 来完成相应的生产任务。

收稿日期: 2003-05-06; 修订日期: 2003-07-01。

基金项目: 国家 863/CIMS 主题资助项目(2002A A414060)。

作者简介: 马雪芬(1973-), 女, 山西长治人, 西北工业大学系统集成与工程管理研究所博士研究生, 主要从事资源优化、供应链理论及应用、系统集成与工程管理等研究。E-mail: maxuefen@yahoo.com.cn。

(2) 对本企业可以生产的零部件, 先将部件分解为单个具体的零件。针对这些本企业完全可以生产或零件的大部分加工可以在本企业完成的具体零件的生产任务, 首先将各零件的生产任务进行粗略的工艺分工(每一项工艺分工任务称为工艺段, 由一道或多道工序组成), 制定加工路线, 并在工艺分工的同时, 给出各工艺段生产的时间限制。如果部分工艺段的生产任务由于部分原因在本企业内无法完全得到满足, 则希望寻找合适的设备组进行协作。

(3) 生产企业在进行零件的某一工艺段的加工时, 其中某一道或几道工序也希望与网上其他的企业合作, 以寻找合适的设备完成相应的生产任务。

从上述三种需求可以看出, 前两种都是希望寻找合适的设备组, 而第三种是针对设备。因此, 面向网络化制造模式, 进行制造资源优化配置, 可以采取两种方法, 即设备组资源优化配置和设备资源优化配置。通过这两种方法的优化配置, 可以为产品的生产找到最合理的加工路线。

3 制造资源优化配置模型

3.1 设备组资源优化配置

设备组资源的优化配置过程如图 1 所示。该配置主要分为两步: 预配置和优化配置。

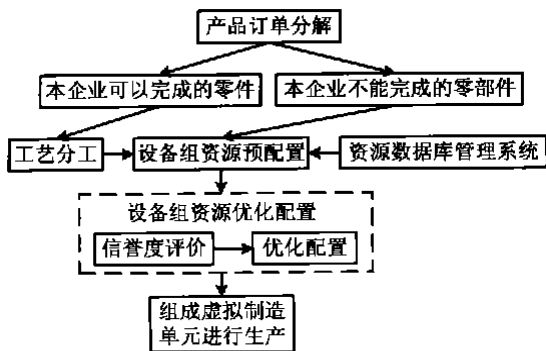


图1 设备组资源优化配置过程

3.1.1 预配置

预配置的主要任务就是确定不能生产的零部件, 以及本企业可以生产的零件的每一个工艺段的候选设备组。它是进行资源优化配置的前提和基础。

针对本企业不能生产的零部件, 主生产企业首先通过网络进行信息发布, 同时包含生产任务以及需要完成的日期, 然后将信息发布的反馈结果作为备选的设备组。

主生产企业通过本企业数据库管理系统, 首先对本企业资源进行查询, 选择可以使用的设备组。由于各种原因需要外部资源进行协作时, 也采取信息发布的方式, 同时包含生产任务以及需要完成的日期, 将反馈结果作为备选的设备组资源。找出零部件以及零件加工的各个工艺段可使用的备选设备组, 是进行预配置的必要步骤。

设备组资源预配置应遵循以下规则: ① 备选设备组的历史记录。如果备选组有完成这个零部件或者工艺段的历史, 则直接将其作为候选对象。④ 特殊设备需求。查询备选设备组有无工艺信息需求的特殊设备。④ 特殊工装需求。某些工艺段需要特殊的工装才能完成, 那么, 在进行预配置时, 要找出可以完成生产任务的候选单元。④ 零部件类型。④ 加工方法。④ 零部件的几何特征。

除此之外, 还有备选设备组的生产类型、零件的材料类别, 以及设备组加工零件的尺寸范围等规则。

对零件分类时, 借鉴了我国机械工业部标准(JLBM - 1 分类系统)、捷克斯洛伐克分类标准(VUOSO 系统), 以及德国分类标准(OPITZ 系统), 并对这些标准进行扩展, 建立了一套自己的标准体系。后三种规则就是建立的分类标准中的部分内容。

根据预配置的结果, 主生产企业与备选设备组进行协商, 如果愿意作为备选, 则协作者需要给予可以登录其管理系统的一定的权限, 主生产企业可以用自己的权限登录对方的数据库获取部分信息。另外, 主生产企业也将与自己有过协作的设备组的部分信息(包括设备信息)输入自己的数据库, 这样, 不断地增加信息量, 为优化配置做好必要的准备。

3.1.2 优化配置

任何一个主生产企业与企业外的设备组资源进行协作之前, 均需对其信誉度进行评价, 所以, 优化配置包括两个环节: 信誉度评价和优化配置。

根据预配置的结果, 对候选设备组资源从时间、成本、质量三方面进行信誉度评价。时间、成本主要指设备组完成生产任务所消耗的时间和费用; 质量主要是衡量设备组完成任务的完成率和合格率。信誉度评价根据设备组资源的历史信息, 对每一个候选的设备组信誉度打分。具体办法是: 针对各候选者实际完成加工任务所消耗的时间、成本和保证的质量, 与其事先承诺的相应值进行比较, 按照一定的算法对其进行定量打分, 得出在本次生产中该设备

组的综合信誉度值,并存储到主生产企业的数据库管理系统中。每次加工任务完成后都进行一次这样的工作,经过一定时间的积累,就可形成该企业的信誉度值。主生产企业与该设备组进行再次协作时,可将其作为历史信息 and 依据。信誉度计算包括时间信誉度、成本信誉度和质量信誉度三部分内容。

设备组资源的优化配置主要是根据预配置和信誉度评价的结果建立交货期、成本、质量三目标的优化模型,采用适当的算法进行优化求解。

3.2 设备资源优化配置

设备资源的优化是针对某些工艺段中的一道或多道工序进行。其优化配置步骤与设备组资源基本相同。所不同的是:

- (1) 预配置规则都是针对零件的,不包括部件。
- (2) 根据具体的加工要求,预配置时遵循规则的重要程度,即规则的先后顺序,与设备组资源有别。
- (3) 相应候选设备资源的信誉度评价,要根据该设备的历史信息,以及设备所属设备组的信誉度进行综合评价。

3.3 制造资源优化配置模型

面向网络化制造的制造资源优化配置目标是使整个产品的生产最优,即交货期最短、生产成本最低和产品质量最高。建立产品交货期、成本以及加工质量的三目标优化模型,是进行产品优化配置的核心。

要对基于两种需求的设备组资源进行优化配置,包括整个产品的三目标优化和针对主生产企业生产的各个零件的三目标优化。这两种情况和设备资源的优化都可以采用相同的优化模型,现以主生产企业生产的各个零件的三目标优化为例,分别建立三个优化目标函数。

零件交货期包括每个工艺段的生产时间和相邻工艺段之间的物流运输时间。成本包括各工艺段的生产费用和相邻工艺段之间的运输费用。质量目标用设备组完成加工任务的完成率和合格率来衡量。

3.3.1 决策变量

$\lambda_{piu}, \lambda_{piu} \in \{0, 1\}$ —对于工艺段 i , 如果选择第 u 个设备组则为 1, 否则为 0。

$\zeta_{prv}, \zeta_{prv} \in \{0, 1\}$ —对于工艺段 r , 如果选择第 v 个设备组则为 1, 否则为 0。

3.3.2 目标函数

$$\min T_p = \sum_{i=1}^{n_p-1} \left(\sum_{u=1}^{k_{pi}} \lambda_{piu} \times \alpha_{piu} \times t_{piu} \right) +$$

$$\sum_{i=1}^{n_p-1} \left(\sum_{v=1}^{k_{pr}} \zeta_{prv} t'_{piw} \right),$$

$$\min C_p = \sum_{i=1}^{n_p-1} \left(\sum_{u=1}^{k_{pi}} \lambda_{piu} \times \beta_{piu} \times c_{piu} \right) +$$

$$\sum_{i=1}^{n_p-1} \left(\sum_{v=1}^{k_{pr}} \zeta_{prv} c'_{piw} \right),$$

$$\max Q_p = \sum_{i=1}^{n_p-1} \left(\sum_{u=1}^{k_{pi}} \lambda_{piu} \times \gamma_{piu} \times (w_{piu} + h_{piu}) \right) / 2n_p。$$

式中: p —产品; k_{pi}, k_{pr} —产品 p 工艺段 i, r 的候选设备组数量; T_p, C_p, Q_p —产品 p 的交货期、成本和加工质量; $\alpha_{piu}, \beta_{piu}, \gamma_{piu}$ —产品 p 工艺段 i 的第 u 个候选设备组的交货期、成本和质量信誉度; t_{piu}, c_{piu} —产品 p 工艺段 i 的第 u 个候选设备组的生产时间、生产成本; r —工艺段 $i+1, r=i+1$; t'_{piw}, c'_{piw} —工艺段 i 的第 u 个候选设备组与工艺段 $i+1$ 的第 v 个候选设备组之间的运输时间、运输成本; w_{piu}, h_{piu} —产品 p 工艺段 i 的第 u 个候选设备组的完成率、合格率; n_p —产品 p 的工艺分工的工艺段数量。

3.3.3 约束

设备组资源优化模型存在决策变量约束、交货期约束、产品成本约束和加工质量约束四方面约束。

(1) 决策变量约束

$$\lambda_{piu} \in \{0, 1\}, \sum_{u=1}^{k_{pi}} \lambda_{piu} = 1, \zeta_{prv} \in \{0, 1\}, \sum_{v=1}^{k_{pr}} \zeta_{prv} = 1$$

(2) 目标值约束

$$T_p \leq T_p^{\max}, C_p \leq C_p^{\max}, Q_p \geq Q_p^{\min}$$

式中: $T_p^{\max}, C_p^{\max}, Q_p^{\min}$ —用户要求的最长交货期、可以支付的最高成本和要求的最低加工质量。

4 遗传算法实现

遗传算法是一种全局性的概率搜索算法,不同于传统的搜索和优化方法,具有对函数的性态无要求、并行性很高、搜索效率高,以及全局最优解求解能力较好等独特的性能。所以,我们采用遗传算法对制造资源优化配置模型进行求解^[5,6]。

由于制造资源优化配置模型是多目标的,求解前先采用最通常的权重法,将多目标转化为单目标。

$$\max Z_p = w_1 \times ((T_p^{\max} - T_p) / T_p^{\max}) + w_2 \times$$

$$((C_p^{\max} - C_p) / C_p^{\max}) + w_3 \times ((Q_p - Q_p^{\min}) / Q_p^{\min})$$

式中: Z_p —产品 p 的加工路线的综合评分; $w_1, w_2,$

w_3 —产品交货期、成本以及加工质量的权重系数。

采用遗传算法求解制造资源优化模型,需要确定以下问题:

(1) 编码 制造资源优化配置模型是典型的 0-1 规划问题,通常采用二进制编码求解。

(2) 群体规模 群体规模与优化函数的性质、维数、复杂程度以及编码精度等有直接的关系。在计算量许可的情况下,要尽量选择较大规模的群体,保证群体的多样性及其进化能力,避免群体早熟现象的发生。假设群体规模为 n , 位串长度为 l , 通常情况下, $1.5l \leq n < 2^{l/2}$ 。其中, 位串长度由决策变量数决定。

(3) 遗传算子的参数设计 遗传算子的参数设计主要是确定交叉和变异概率的大小。交叉和变异概率的确定是一件很困难的事情,没有标准可以遵循,对不同的问题,可能有不同的选择。对二进制编码而言,通常情况,交叉概率 $p_c = 0.40 \sim 1.00$, 变异概率 $p_m = 0.005 \sim 0.01$, 不能大于 0.05, 否则,GA 的进化过程近似于随机搜索行为。

(4) 遗传算子的形式设计

1) 适应度函数 直接选择目标函数作为适应度函数。

2) 选择算子 选择算子对算法的影响将起到举足轻重的作用,为了避免过早收敛现象和停滞现象,采用联赛选择的方法。

3) 交叉算子 从群体多样性的角度来看,随着交叉点数的增多,交叉算子群体多样性测度保持不变。而且,对较长的位串,多点交叉算子的性能通常

比两点交叉有一定程度的提高;对较短的位串,多点交叉算子的性能比两点交叉提高的程度不显著。从整体上看,交叉算子的性能并不是随着交叉点数的增长而等比例提高,这是对传统观念的修正。通常,对于二进制编码形式的部分参数,在实际中大量采用两点交叉算子,本文也采用两点交叉算子。

4) 变异算子 采用二进制编码形式,变异算子通过按变异概率随机反转某位基因的进制字符值来实现。

(5) 终止条件 采用最大进化代数作为算法的终止条件。

5 实例

某生产企业接到一个产品订单,将产品生产任务分解后,现针对拟在该企业完成的某一零件 A 进行生产。

首先,对 A 进行粗工艺分工,分为 A_1, A_2, A_3 三个工艺段。对于每一个工艺段,经过预配置获得了它们的候选设备组(如表 1)。然后,根据候选设备组进行设备组资源的优化配置,确定最优的加工路线。已知的参数如表 2 所示。本实例是在 Matlab6.5 的遗传算法工具箱的基础上实现的,具体采用的遗传算法参数如表 3 所示。

表 1 候选设备组

工艺分工	A_1	A_2	A_3
候选单元	A_{11}	A_{21}	A_{31}
	A_{12}	A_{22}	A_{32}
	A_{13}	A_{23}	A_{33}

表 2 已知参数

候选单元	时间信誉度	生产时间	相邻单元的运输时间/小时		成本信誉度	生产成本	相邻单元的运输成本/元		质量信誉度	完成率	合格率
A_{11}	0.92	8	A_{21}	5	0.93	15	A_{21}	10	0.97	0.95	0.990
			A_{22}	7			A_{22}	15			
			A_{23}	8			A_{23}	17			
A_{12}	0.90	9	A_{21}	4	0.89	14	A_{21}	9	0.98	0.96	0.985
			A_{22}	3			A_{22}	8			
			A_{23}	6			A_{23}	11			
A_{13}	0.96	10	A_{21}	8	0.95	15	A_{21}	17	0.99	0.95	0.987
			A_{22}	9			A_{22}	19			
			A_{23}	10			A_{33}	20			
A_{21}	0.94	18	A_{31}	12	0.93	54	A_{31}	24	0.98	0.97	0.989
			A_{32}	13			A_{32}	27			
			A_{33}	11			A_{33}	21			

续表 2

候选单元	时间信誉度	生产时间	相邻单元的运输时间/小时		成本信誉度	生产成本	相邻单元的运输成本/元		质量信誉度	完成率	合格率
A_{22}	0.95	19	A_{31}	7	0.94	55	A_{31}	13	0.97	0.98	0.970
			A_{32}	6			A_{32}	10			
			A_{33}	9			A_{33}	15			
A_{23}	0.93	18	A_{31}	10	0.94	60	A_{31}	21	0.98	0.99	0.969
			A_{32}	12			A_{32}	23			
			A_{33}	11			A_{33}	22			
A_{31}	0.89	9			0.91	23			0.99	0.98	0.978
A_{32}	0.91	8			0.93	29			0.96	0.95	0.988
A_{33}	0.93	10			0.94	21			0.97	0.97	0.980

表 3 遗传算法参数

群体规模	15
交叉概率	0.75
变异概率	0.01
最大进化代数	100

进行优化时, 权重分别为: $w_1 = 0.25$, $w_2 = 0.25$, $w_3 = 0.5$, 三个目标值的约束为: $T^{\max} = 72$, $C^{\max} = 155$, $Q^{\min} = 0.9$ 。采用该遗传算法搜索, 最后获得了零件 A 最优的加工路线为: A_{12} , A_{22} , A_{31} 。

6 结束语

在网络化制造新模式环境下, 进行制造资源的优化配置是网络化制造取得应有效益的重要方面。本文探讨了面向网络化制造的制造资源优化配置问题。基于制造企业在外部资源利用方面的三类需求, 提出了制造资源优化配置的两种方法, 建立了优化模型, 设计了模型求解的遗传算法, 并采用一个数

值例子验证了优化配置方法及算法的有效性。

参考文献:

[1] YANG Shuzi, et al. Network manufacturing and enterprise integration[J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11(1-2): 45-48(in Chinese). [杨叔子, 等. 网络化制造与企业集成[J]. 中国机械工程, 2000, 11(1-2): 45-48.]

[2] ZHANG Shu. Disperse networked manufacturing[J]. Mechanical and Electronic, 1998, (5): 3-6(in Chinese). [张曙. 分散网络化制造[J]. 机械与电子, 1998, (5): 3-6.]

[3] SONG L G. Design and implementation of a virtual information system for agile manufacturing[J]. IIE Transaction, 1997, (29): 839-857.

[4] SHENG Buyun. A model for the integration of the constantly changing of manufacturing resources of enterprises[J]. Journal of Wuhan Univ. of Car and Tech., 2000, 22(2): 19-21(in Chinese). [盛步云. 企业集成化动态制造资源建模[J]. 武汉汽车工业大学学报, 2000, 22(2): 19-21.]

[5] LI Minqiang, et al. Genetic algorithm: theory and application[M]. Beijing: Science Press, 2002(in Chinese). [李敏强, 等. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.]

[6] WANG Xiaoping, CAO Liming. Genetic algorithm: theory, application and actualization[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong Univ. Press, 2002(in Chinese). [王小平, 曹立明. 遗传算法—理论与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.]

Optimization Deployment of Networked Manufacturing Resources

MA Xue-fen¹, DAI Xu-dong², SUN Shu-dong¹

(1. System Integration and Eng. Management Inst., Northwest Polytechnical Univ., Xi'an 710072, China; 2. Theory of Lubrication and Bearing Inst., Xi'an Jiaotong Univ., Xi'an 710049, China)

Abstract: Based on three aspects of requirements when enterprises utilizing external resources, two valid methods of optimization deployment for networked manufacturing resources are presented. The optimization model is also constructed and the process of optimization is discussed in detail. Then, the solution of the model is introduced. Finally, the method is illustrated by an example.

Key words: networked manufacturing; manufacturing resources; optimization