

面向工序能力的制造装备重构*

吴宝中 龚京忠 李国喜 郭米娜

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 :为提高制造系统的快速响应能力,分析了面向可重构的制造机床模块化设计方法,提出了面向工序能力的制造机床重构的总体思路,重点从能力相似度计算、相关性分析、缺少能力参数的模块重构、冗余能力参数模块重构、能力比较、模块替换、能力验证等方面研究了基于模块的机床重构算法。通过加工中心的配置与重构对算法进行了验证,结果表明,该算法是可行和有效的。

关键词 :制造装备 ;工序能力 ;模块 ;重构 ;算法

中图分类号 :TH16 文献标识码 :A

Manufacturing Equipment Reconfiguration Facing to Process Capability

WU Bao-zhong GONG Jing-zhong LI Guo-xi GUO Mi-na

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :To enhance the rapid response ability of manufacturing system, the machine tools' modular design oriented to reconfiguration was analyzed. Then the general idea of machine tools' reconfiguration oriented to process-capability was presented. The machine tools' reconfiguration arithmetic based on modularization was researched mostly in such aspects as ability similarity account, relativity analysis, module reconfiguration of lacking ability parameter, module reconfiguration of redundancy ability parameter, ability comparing, module displacing and ability checking up. The arithmetic was validated by the configuration and reconfiguration of machining center, which indicates the arithmetic is feasible and effective.

Key words :manufacturing equipment ;process capability ;module ;reconfiguration ;arithmetic

随着市场、用户对产品多样化需求的不断发展,企业在追求利润最大化的同时必须尽可能地满足众多市场、用户的个性化需求。尽管柔性制造系统能加工较多的零件品种,但是通常也只能限于所设定的同族(组)零件,一般而言,加工零件品种数愈多,则设备的结构愈复杂、功能的储备也愈多,它是一种局限性的生产资源柔性组织方法,不能真正地解决产品生产中所面临的多品种、小批量、多变化的生产要求。因此,需要发展一种新的生产制造组织方法以适应产品多样化的生产制造,基于模块化设计的制造装备重构是在充分利用企业已有资源的基础上,针对产品工艺规程,通过适当地调整和改变机床模块,能够快速形成适应新产品、新制造环境的制造系统,从而大幅度缩短产品生产制造周期,降低制造成本,提高对市场需求的快速响应能力。

1 机床模块化设计

机床的模块化设计是一种根据广大用户提出的各种要求,在功能分析的基础上,划分并设计出一系列具有不同用途(或性能)、结构而功能相同的、可互换的功能模块(包括组件、部件、装置或系统等)和一些专用独立部件,然后通过模块的选择和组合来组装成不同性能和规格的普通或数控的单台机床、专用机床、柔性加工单元(或系统等),以满足市场不同需求的一种设计方法,这种方法可以提高机床的灵活性和可变性。

* 收稿日期:2006-07-31
基金项目:国家部委资助项目(51318010407)
作者简介:吴宝中(1974—),男,讲师,在职博士生。

无论一般机械产品还是机床设备,它们的模块化设计都可以归纳为两个过程:一是根据设计要求进行功能抽象合理创建模块的过程,即模块创建;二是根据要求合理地选择一组模块并组成产品方案的过程,即模块组合。模块创建是模块组合的基础,模块组合是模块创建的目的,模块选择是维系模块创建和模块组合的纽带。

可重构机床的模块化划分方法是由设计目标的任务驱动的,即设计的机床应满足给定的加工任务所需的功能与性能,而且对给定的模块集,其重构方案应是最优设计,具有的冗余功能与性能最少,成本最低。

机床的任务是通过工件和刀具的相对运动实现基本加工功能,所以运动是其实现加工能力的基本途径,可重组机床是以完成给定的加工任务为设计目标,包括完成加工任务所需的各种运动功能和相应的功率。为了加工出各种表面,一般机床必须具有工件的运动、刀具的运动、辅助运动等。为了实现加工过程所需的各种运动,机床必须具备执行件、动力源、传动装置、控制系统等。这四个基本部分按照动力源—控制系统—传动装置—执行件或执行件—控制系统—传动装置—执行件的方式构成机床的传动链。因此,在机床模块化划分的过程中,依据机床工作的特点通过功能分析,一般可以首先将机床划分为加工基本模块、驱动单元模块、传动单元模块和控制系统模块,此外还包括其他辅助功能模块等几种部件级模块,对每一个模块单元进一步进行功能分解,得到一些功能模块单元、功能模块,然后通过多种结构求解方法,得到机床的结构模块。

2 机床重构总体思路

机床的可重构过程就是依据工艺规划的结果,在对现有机床的加工能力进行分析的基础上,选择合适的功能模块对现有的机床进行重构,以产生能够满足工艺需求的新的机床。机床重构的对象是不能满足工艺需求的整机机床,根据分析可知有两种情况需要进行机床重构分析:(1)机床整机不具有工序需求能力中的某些能力参数,称这种情况为“*A*需求”;(2)机床整机具有工序需求能力中的所有能力参数(也可能具有某些工序不要求的能力),但是参数值不能够满足工序能力需求,称这种情况为“*B*需求”。

根据基于模块化的机床重构分析,提出机床重构的流程如图1所示。

3 机床重构算法

设工序 T_{ij} 的机床能力需求为 $X_j = \{U_j, W_j\} = \{\{U_{j1}, U_{j2}, \dots, U_{jp}\}, \{W_{j1}, W_{j2}, \dots, W_{jq}\}\}$, 其中, U 表示定性需求, W 表示定量需求; p 为定性参数的个数, q 为定量参数的个数。

机床集合为 $M = \{M_1, M_2, \dots, M_N\}$, N 代表机床的总数。机床 M_s 加工能力参数记为 $X'_s = \{U'_s, W'_s\} = \{\{U'_{s1}, U'_{s2}, \dots, U'_{sp}\}, \{W'_{s1}, W'_{s2}, \dots, W'_{sq}\}\}$ 。其中定量能力参数中与工序 T_{ij} 的机床能力需求相对应的能力参数值矩阵为: $W''_s = [W''_{s1} \quad W''_{s2} \quad \dots \quad W''_{sq}]$

3.1 能力相似度计算

进行能力相似度计算的目的是通过计算选择出能力最相似的机床,这样就会减少机床组成模块改变的数量,减少更换费用和更换时间。

机床相似匹配过程中,需要注意定性参数的匹配问题,因为一般定性参数的值是模糊的,是很难加以匹配的,它们之间不是简单的相同或不相同的问题,也有可能存在一定程度的相似性,应该采用模糊处理的方式对它们之间的差异程度进行分级,并在差异程度分级的基础上求定性参数之间的差异度。这里对差异程度采用打分的形式进行描述,按照 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 这 11 个级别标注差异程度。

按专家的经验 and 知识,针对于定性参数 U_{jt} ($0 < t \leq p$),建立参数值与机床组中的能力相对应的参数值之间的差异度 $\{d_{t1}, d_{t2}, \dots, d_{tN}\}$ 。在“*A*需求”下,如果某一机床没有此类定性参数,则令参数值与此机床对应的参数值之间的相似度为 0。

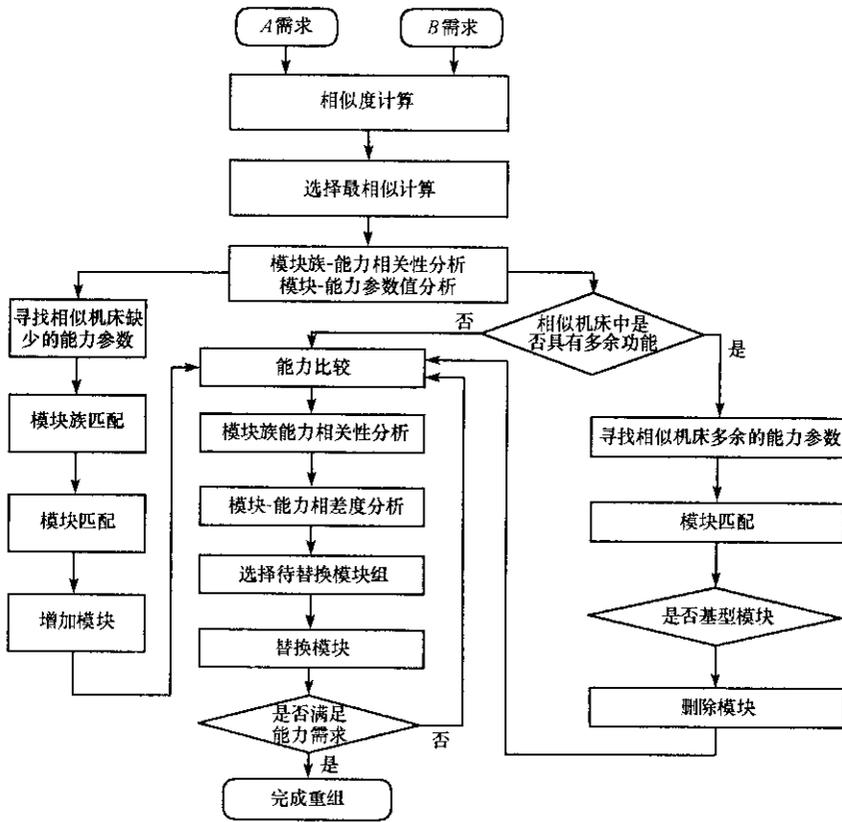


图1 机床重构流程

Fig.1 Machine tool reconfiguration flow

对机床的选择匹配需要考虑工艺和经济两个方面,工艺方面主要参考各个加工模块对工艺影响程度的大小,经济方面着重考虑更换模块的复杂程度,即各模块的可拆性分析,分别对应到各种机床生产能力的工艺权重和可拆性权重的分析。假设机床 M_S 的生产能力工艺权重矩阵为 δ_S ,可拆卸性权重矩阵为 φ_S ,则可以分别将机床的工艺权重矩阵和可拆卸性权重矩阵表示为:

$$\delta = [\delta_1 \quad \delta_2 \quad \dots \delta_S \quad \dots \quad \delta_N]$$

$$\varphi = [\varphi_1 \quad \varphi_2 \quad \dots \varphi_S \quad \dots \quad \varphi_N]$$

选择加工能力综合差异最小的机床为目标机床,数学表达为:

$$\min \left\{ s \left| \sum_{i=1}^p (\delta_S + \varphi_S) \times d_{iS} + \sum_{i=1}^q (\delta_S + \varphi_S) \times \frac{|W''_{Si} - W_{ji}|}{W_{ji}} \right. \right. \left. \left. 0 < s \leq N \right\} \quad (1)$$

则可得与工序 T_{ij} 的工艺需求能力最相似的机床,设为 M_o 。

3.2 相关性分析

机床进行模块化设计过程中,将一系列功能和结构相似的机床组成机床族,每一类机床族都有对应机床族 BOM,机床族 BOM 由多种模块族组合而成,每一个模块族又包括一系列结构和功能相似的机床模块。每一个具体的机床都可以通过配置不同模块族中的模块而成。机床根据功能可以将组成模块分为基本模块、辅助模块和可选模块,那么机床族中的组成模块族也包括基本模块族、辅助模块族以及可选模块族。

机床 M_S 所在机床族 MF 组成结构记为:

$$MF = \{MF_1, MF_2, \dots, MF_M\}$$

机床 M_S 包含的机床模块所在模块族集合记为:

$$M_S F = \{M_S F_1, M_S F_2, \dots, M_S F_{M_S}\}$$

则有 $M_S F \subseteq MF; M_S \leq M$ 。

机床 M_S 中没有包含的模块族集合:

$$M_S F^- = MF - M_S F = \{M_S F_1^-, M_S F_2^-, \dots, M_S F_{(M-M_S)}^-\}$$

(1) 模块族-能力相关度

每一个模块族都与机床加工能力有一定的相关性,机床族 MF 中模块族与机床能力相关性矩阵为:

$$\gamma = [\gamma_{ab}]_{(p+q) \times M} \quad (0 < a \leq (p+q) \quad 0 < b \leq M) \quad (2)$$

其中,

$$\gamma_{ab} = \begin{cases} 1 & \text{相应第 } a \text{ 个机床能力与模块族 } MF_b \text{ 相关} \\ 0 & \text{相应第 } a \text{ 个机床能力与模块族 } MF_b \text{ 不相关} \end{cases}$$

(2) 模块-能力参数值

同一模块族内的模块对与模块族相关的加工能力的参数值不同,根据模块能力库中的数据知识可以得到模块能力矩阵。如:假设模块族 MF_b ($0 < b \leq M$) 包含的模块集合为 $\{M_{b1}, M_{b2}, \dots, M_{bN_b}\}$,那么对应的模块-能力参数值矩阵为:

$$W_{MF_b} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{模} & \text{块} \end{matrix} \\ \begin{matrix} W''''_{11} & W''''_{12} & \dots & W''''_{1N_b} \\ W''''_{21} & W''''_{22} & \dots & W''''_{2N_b} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W''''_{(p+q)1} & W''''_{(p+q)2} & \dots & W''''_{(p+q)N_b} \end{matrix} & \left. \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \text{工} \\ \text{艺} \\ \text{需} \\ \text{求} \\ \text{能} \\ \text{力} \end{matrix} \end{matrix} \quad (3)$$

3.3 缺少能力参数模块重构

该过程是针对“ A 需求”的情况,如果是“ B 需求”直接进入 3.4 节。重构方法是:

(1) 寻找相似机床缺少的能力参数:搜索出属于工序需求能力集合 X_j 但是不属于相似机床 M_o 的加工能力集合 X'_o 的所有能力集合。

(2) 模块族匹配:在模块族 $M_S F^-$ 通过模块族-机床能力相关性矩阵 γ 找出与这些能力集合相关的模块族集合,从这些模块族集合中按照模块族个数最小的优化方法选择出能够满足能力需求的最小模块族集合 MF_{min} 。

(3) 模块匹配:从最小模块族集合中各选择相应的模块,机床中不同模块族的模块之间的接口存在一定相关度,从模块族中选择模块是按照模块与机床 M_o 已有模块的接口相关度最高的方法进行模块选择。例如将模块族集合 MF_{min} 某一特定模块族所包含的模块与机床已有模块的相关度记为:

$$\lambda = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{模块族包含的模块} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1E} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2E} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \lambda_{F1} & \lambda_{F2} & \dots & \lambda_{FE} \end{matrix} & \left. \begin{matrix} \\ \\ \\ \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \text{当} \\ \text{机} \\ \text{床} \\ \text{包} \\ \text{含} \\ \text{模} \\ \text{块} \end{matrix} \end{matrix} \quad (4)$$

按照 $\min \left\{ j \mid \sum_{i=1}^F \lambda_{ij} \quad 0 < j \leq E \right\}$ 所得到的 j 值对应的模块为所选要增加配置的模块。将增加模块后的机床总能力和工艺需求能力进行分析,即进入到 3.5 节。

3.4 冗余能力参数模块重构

针对“ B 需求”中具有冗余功能的情况进行机床重构,如果不具有多余功能,则直接进入 3.5 节。重构方法是:

(1) 寻找相似机床冗余的能力参数:搜索出属于相似机床 M_o 的加工能力集合 X'_o 但不属于工序需求能力集合 X_j 的所有能力集合。

(2) 模块匹配 选择与这些能力集合相关的机床 M_o 包含的模块集合, 选择能够尽量多地去除这些能力的最小的模块集合, 然后在这些模块集合与机床 M_o 其余模块的接口相关度矩阵中, 按照相关度从小到大的顺序进行排序。首先从相关度最小的模块起判断这个模块是否属于机床的基型模块, 基型模块不可以去除, 所以如果是基型模块就判断下一个模块, 依次类推, 直至找到不属于基型模块的相关度最小的模块, 即为机床需要删除的模块。删除模块是为了充实备选模块库, 以方便其他机床需要增加或者替换模块时使用。

3.5 能力比较

(1) 定性能力比较

由 3.1 节可以得到 M_o 与工序 T_{ij} 定性参数值相似度 $\{d_{1o}, d_{2o}, \dots, d_{po}\}$, 对应相差度矩阵:

$$\Delta\theta' = [\Delta\theta_{11} \quad \Delta\theta_{12} \quad \dots \quad \Delta\theta_{1p}] \quad (5)$$

其中,

$$\Delta\theta_{1t} = \begin{cases} 0, & d_{to} \leq 0.5 \\ -1, & d_{to} > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

(2) 定量能力比较

计算 M_o 与工序 T_{ij} 的工艺需求能力之间的能力差:

$$\Delta W = f(W''_o - W_j) = [\Delta W_1 \quad \Delta W_2 \quad \dots \quad \Delta W_q] \quad (7)$$

$$\Delta W_i = \begin{cases} W''_{oi} - W_{ji}, & \text{如果第 } i \text{ 列能力参数代表机床能力极大值} \\ W_{ji} - W''_{oi}, & \text{如果第 } i \text{ 列能力参数代表机床能力极小值} \end{cases}$$

对应相差度矩阵:

$$\Delta\theta'' = [\Delta\theta_{21} \quad \Delta\theta_{22} \quad \dots \quad \Delta\theta_{2q}] \quad (8)$$

其中,

$$\Delta\theta_{2s} = \begin{cases} 1 & \Delta W'_s > 0 \\ 0 & \Delta W'_s = 0 \\ -1 & \Delta W'_s < 0 \end{cases} \quad (9)$$

(3) 能力相差度

将定性能力相差性和定量能力相差性组合构成机床与工序需求的能力相差度:

$$\Delta\theta = [\Delta\theta' \quad \Delta\theta''] = [\Delta\theta_{11} \quad \dots \quad \Delta\theta_{1p} \quad \Delta\theta_{21} \quad \dots \quad \Delta\theta_{2q}] \quad (10)$$

3.6 替换模块

(1) 模块族相关性分析

按照式(2)计算机床 M_o 的模块族集合 M_oF 与工艺需求能力的相关性矩阵:

$$\gamma_o = [\gamma_{ab}]_{(p+q) \times M_o} \quad (0 < a \leq (p+q) \quad 0 < b \leq M_o) \quad (11)$$

(2) 模块相关性分析

根据机床 M_o 组成模块所在模块族, 得到机床组成模块与能力需求相关性矩阵:

$$\gamma'_o = [\gamma'_{st}]_{(p+q) \times G_o} \quad (0 < s \leq (p+q) \quad 0 < t \leq G_o) \quad (12)$$

其中, G_o 表示机床 M_o 包含的机床总数, γ'_{st} 取值对应模块所在模块族在 γ_o 中第 s 行的值。

(3) 替换模块

结合机床与工序需求的能力相差度矩阵得到模块-能力相差度矩阵:

$$\gamma''_o = [\gamma''_{st}]_{(p+q) \times G_o} \quad (0 < s \leq (p+q) \quad 0 < t \leq G_o) \quad (13)$$

其中,

$$\gamma''_{st} = \gamma'_{st} \times \Delta\theta_s \quad (0 < s \leq (p+q) \quad 0 < t \leq G_o; \Delta\theta_s \in \Delta\theta) \quad (14)$$

由式(13)就可以得到具体模块相关能力的相差情况, 然后以通过替换最少的模块为目标, 综合考虑

模块接口相关度,将能力不足的模块替换为能力满足工艺能力需求且与机床已有模块相关度最大的模块。

3.7 能力验证

将最后重构好的机床能力与工艺需求能力进行比较,如果满足需求,则重构完毕,否则,返回到3.5节进行新一轮的重构,直至结果满足工艺能力需求。

4 结论

上述面向工序能力的制造装备选择、配置与重构算法已在装备模块化设计与制造原型系统中得到了实现,并初步应用于面向快速响应制造车间的加工中心的选择、配置与重构,应用证明,该算法是可行和有效的,较好地解决了工件工序能力需求实现的问题。

针对个性化、多样化产品快速响应制造的需求,基于机床的模块化设计,给出了制造机床重构的算法过程,为基于制造机床工序能力的模块配置与重构初步提供了理论支持和量化依据,支持提高可重构制造系统对多样化产品、制造环境的响应能力,缩短生产准备时间,合理利用资源,减少系统建造的投资,降低生产成本。

参考文献:

- [1] 李国喜, 慈元卓, 龚京忠, 等. 面向产品配置的模块求解策略研究[J]. 国防科技大学学报, 2004, 26(5): 86-89.
- [2] 贾延林. 模块化设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] 许虹, 唐任仲, 程耀东. 可重组机床控制的模块化设计方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004(1): 5-10.
- [4] 游有鹏, 张晓峰, 王珉, 等. 可重组机床的模块化设计[J]. 机械科学与技术, 2001(6): 815-818.
- [5] 盛伯浩, 罗振璧等. 快速重组制造系统(RRMS)——新一代制造系统的原理及应用[J]. 制造技术与机床, 2001(8): 37-44.

(上接第99页)

(3)可扩展性:系统具有良好的可扩展性,通过增加相应的诊断 agent、挖掘 agent 和连接相应数据库即可将系统进一步扩展;

(4)并行性:系统中各挖掘 agent 各负其责,分别对不同数据进行挖掘,各诊断支持 agent 根据各自知识做出诊断建议,具有很好的并行性。

综上所述,基于 multi-agent 的临床诊断支持系统采用分布式分层结构,解决了数据和环境异构问题,每个数据库使用一个 agent 在本地进行挖掘,不需要进行数据的大量传送,只将挖掘结果进行传递,节省了网络开销,提高了挖掘效率。同时,由于各 agent 可异构执行,因此系统具有很强的并行性。在数据源扩展时,可以很方便地加入 agent,系统具有良好的可扩展性。

参考文献:

- [1] Kun L G. Telehealth and the Global Health Network in the 21st Century from Homecare to Public Health Informatics[J]. Computer Methods and Programms in Biomedicine, 2001, 64: 155-167.
- [2] Qu J H, Liao Q M, Xu W Z, et al. The Construction of Medical Database and Data Mining[J]. Journal of the Fourth Military Medical University, 2001; 22(1): 88.
- [3] Moreno A, Nealon L, et al. Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain[M]. New York: Springer Verlag, 2004: 3-17.
- [4] Marinagi C C, Spyropoulos C D, Papatheodorou C, et al. Continual Planning and Scheduling for Managing Patient Tests in Hospital Laboratories[J]. AIM, 2000: 139-154.
- [5] 马廷, 张海盛. 分布式数据挖掘的集成体系结构研究[J]. 计算机应用研究, 2003, (11): 126-128.
- [6] 蒙祖强, 蔡自兴. 基于 Multi Agent 技术的个性化数据挖掘系统[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2003, 34(3): 290-293.
- [7] 李琦, 陈国强, 华祖跃. 基于 Agent 的数据传输管理系统[J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(1): 85-88.

