

基于图文法的可重构机床配置规划方法

曾法力, 李爱平, 谢楠, 徐立云

(同济大学 现代制造技术研究所, 上海 200092)

摘要: 为提高制造系统的快速结构配置规划响应速度, 提出了基于图文法的可重构机床配置规划方法. 使用图文法直观而形像地刻画动态体系结构的配置行为, 利用基于图文法的平行模块配置技术, 实现了体系结构图模型在具体系统配置规划中的物理实施, 并使得图文法模型的图转换操作可以自动映射到实际配置系统的动态配置上. 全面表达了可重构机床在配置规划中的相关特征和目标任务的对应变化, 实现了平行模块配置规划技术. 通过实例验证了该方法.

关键词: 图文法; 可重构机床; 配置规划; 模块

中图分类号: F 273.2

文献标识码: A

A Method Based on Graph Grammar of Configuration Layout of Reconfigurable Machine Tools

ZENG Fali, LI Aiping, XIE Nan, XU Liyun

(Institute of Advanced Manufacturing Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The paper presents a method-based graph grammar of the configuration layout of reconfigurable machine tools in order to improve response speed of quick structure configuration layout of manufacture system. The configuration behavior of dynamic systematic structure is depicted by using graph grammar intuitively and formally. Configuration technology based on graph grammar of parallel module is adopted to achieve physics implementation of systematic structure graph model in idiographic system configuration layout. Graph conversion operation of graph grammar model is mapped automatically to dynamic configuration of actual configuration system. Correlative features of the configuration layout of reconfigurable machine tools are expressed roundly and corresponding correlative variety of aim assignment is described as well. Implementation of parallel module configuration layout technology is realized. Finally, a case

study validates the proposed method.

Key words: graph grammar; reconfigurable machine tools; configuration layout; module

为使制造企业能适应迅速变化的市场环境, 出现了可重组制造的制造模式. 当市场发生一定程度变化时, 可重组制造系统能够基于现有自身系统, 在系统规划与设计规定的范围内, 通过改变可重构机床的模块化构件, 或通过移动、更换和添加可移动性设备, 或以逻辑重构方式, 生成虚拟制造单元; 根据变化动态, 快速地调整生产过程、功能和能力, 缩短系统研制周期, 降低生产和重构成本, 提高的经济效益, 使冗余生产能力或功能最小.

可重构机床 (reconfigurable machine tools, RMT) 是可重构制造系统的重要组成部分. 它与普通机床的最大区别在于: 用户能够根据不同的加工任务及时调整机床的模块组成、配置, 以满足不同零件的加工需求. 制造生产线上的加工设备类型和数量可根据新工艺需求重构, 重构过程由客户需求驱动, 因此, 配置规划是可重构机床的重要重构基础. 文献 [1-2] 提出了一种产生机床所有可能构形配置的方法, 并给出了机床的基本模块以及约束条件和基本特征. 文献 [3-4] 提出在工序需求的变化驱动下, 从对给定零件族的所有加工工序划分和识别同一可重构机床需完成的工序族入手, 利用旋量方法, 将工序族的加工信息转换为机床所需执行的一系列运动, 并确定为完成这一系列运动可重构机床必须具备的基本功能. Stadzisz 提出图文法在汽车喇叭配置设计中的建模方法, 形像刻画了产品结构树不同层次间的零部件装配关系, 能快捷、高效地完成装配工艺规划^[5]; Flaszinski 利用图文法形式化表达的优点, 形象

收稿日期: 2010-04-16

基金项目: 国家自然科学基金 (50975209, 51005169); 上海市基础研究重点项目 (09JC1414500); 上海市自然科学基金 (10ZR1432300)

第一作者: 曾法力 (1979—), 男, 博士生, 主要研究方向为制造系统与自动化. E-mail: falizeng@yahoo.com.cn.

通讯作者: 李爱平 (1951—), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为制造系统与自动化. E-mail: limuzi@tongji.edu.cn.

描述了机械零部件产品的静态特性,但没有建立图重写规则^[6];Du等建立了图操作设计平台,但没有形成完整的重构体系^[7].笔者根据客户需求任务,提出了一种基于图文法的可重构机床配置规划模型的概念及其表达方法,以适应不同类型的产品加工.

本方法集成了可重构设备目标结构设计的多任务,利用图文法的形式化语言对可重构技术进行相关平面模块操作,极大提升了可重构技术的动态特性和高效能力.

1 基于配置规划的图文法基本原理

在敏捷制造中,模块化可重构设计方法是非常重要的.对产品的不同模块操作生成新的重构产品,对应新的产品配置,通过具有代表性的形式化语言表达技术——图文法技术,对模块化产品进行相关图操作,建立快捷高效的动态重构.图1总结了利用图文法对重构产品建模的基本原理,基产品与初始图具有紧密相关性,利用图的产生式和控制表,对基产品进行模块粘贴、比例缩放和替换,能重写初始图.对应产品生成规则,建立配置规划约束条件.推导图代表所要得到的变量,所有的变量组成一个新的产品配置模型,对应平行配置规划图文法模型,得到物理模型和相应形式化表达方法.

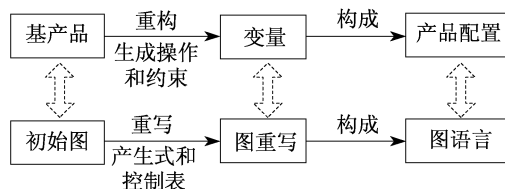


图1 基于配置规划的图文法基本原理

Fig.1 Principle of graph grammar based on configuration layout

相应的基产品对应一初始图,利用形式化语言的便利性和优越性,对初始图进行图重写的广义模型操作,从而得到基产品相应的重构模型.初始图在重写过程中依赖产生式和控制表,基产品重构对应生成操作和约束;对主图使用图重写式,对其重写后的图为基于相应产生式的图重写操作,对应变量推导和基产品重构;通过不同的图重写构成广义产品图语言,不同的产生式对应的图语言模型对产品配置模型形成便利映射关系,通过对图的基本简单操作,就能得到配置的重构生成.

对模块识别阶段的机床分解方法、模块化零部

件的识别和模块库的建立,都研究很多了;对模块优选阶段的很多方法和算法也有相关研究,对应图文法有形式化操作.这里主要研究配置规划方法利用平行进行模块配置技术,基于图文法理论,对之深入分析.

2 图文法表示方法

定义 图文法是一个六元组 $G(M) = (V, W, A, S, P, C)$ ^[8]. 其中——

① $V = \{M_i\}$, 是所有 M 图的节点标识符集合, 包含所有子模块 M 的名字.

② $W = \{M_i \times M_j\}$, 是所有 M 图的边标识符.

③ A 是所有节点属性.

④ $S = N_{CM}(G(M)) \cup N_C(G(M)) \cup N_{PR}(G(M)) \cup E(N_{CM}(G(M)) \times N_{CM}(G(M))) \cup E(N_{PR}(G(M)) \times N_{PR}(G(M))) \cup E(N_{CM}(G(M)) \times N_{PR}(G(M)))$, 代表公共接口, 是结构和模块 M 的开始图. $E(N_{CM}(G(M)) \times N_{CM}(G(M)))$, $E(N_{PR}(G(M)) \times N_{PR}(G(M)))$ 和 $E(N_{CM}(G(M)) \times N_{PR}(G(M)))$ 是 S 的边, 包括那些公共节点对公共节点、简单节点对简单节点、公共节点对简单节点的边.

⑤ $P = \{p\}$, 是所有产生变量 M 的产生式集合.

⑥ C 是控制图表.

图文法操作本身是个图操作重写系统, 对基产品建立的初始图重写相关产生式, 每个操作都基于该六元组的图文法模型进行, 边和节点的相关比例缩放、替换、粘贴和剥离, 是图文法操作的基础形式.

3 图生成策略

产品图生成主要指在广义产品配置规划过程中, 代表产品属性机理的图操作过程, 建立对应的文法约定. 一般图生成方法主要指: ①模块选择和粘贴属性; ②公共产品平台的比例缩放; ③模块的替换; ④模块的重构组合. 机床模块的物理重组或组合, 是对设备的添加、减少或者替换; 机床模块的逻辑重组, 是动态地完成软件、控制器的重组. 通过改变物理重组和逻辑重组, 可以改变机床的生产能力和功能, 灵活快速地完成新的生产任务.

根据机床分解粒度, 利用图文法描述所有机床部件的重构配置过程并建立相应的描述模型, 确定部件的一系列重构操作及其影响因素(包括各部件自身重构的并发操作、串行操作和异步操作, 以及整个生产过程中

其他资源对某一部件重构的时序约束关系),根据成本函数,给出机床的动态重构算法.具体如下:

- ①确定机床的几何约束,建立约束规则.
- ②确定机床的可重构操作,并建立相应的重构描述模型.
- ③构建图文法广义配置模型.
- ④在研究单个阶段的配置易重构性基础上,结合图文法的重写优化特征,寻找一个系统全局意义下精度最高、经济可行、最优配置的规划方法,使得所有阶段的整体配置性能达到最佳.

基于图文法的品种生成机理如图2所示.

图2a为粘帖操作,具有特定附加功能 P_3 的特定模块 M_3 粘帖到基产品 $M_{(1)}$ 上,生成新的产品变量 $M_{(2)}$;图2b为替换操作,模块 $M_{2(2)}$ 和 $M_{2(1)}$ 具有相同功能 P_2 ,其中任一模块都可以生成不同的性能层 $P_2(P_{2(2)}$ 和 $P_{2(1)}$),如果用 $M_{2(2)}$ 替换基产品 $M_{(1)}$ 中的对应 $M_{2(1)}$,则生成新的变量 $M_{(2)}$;图2c为比例缩放操作,产品或者模块的特定操作参数 P 能通过比例缩放由 $P_{(1)}$ 变换到 $P_{(2)}$.

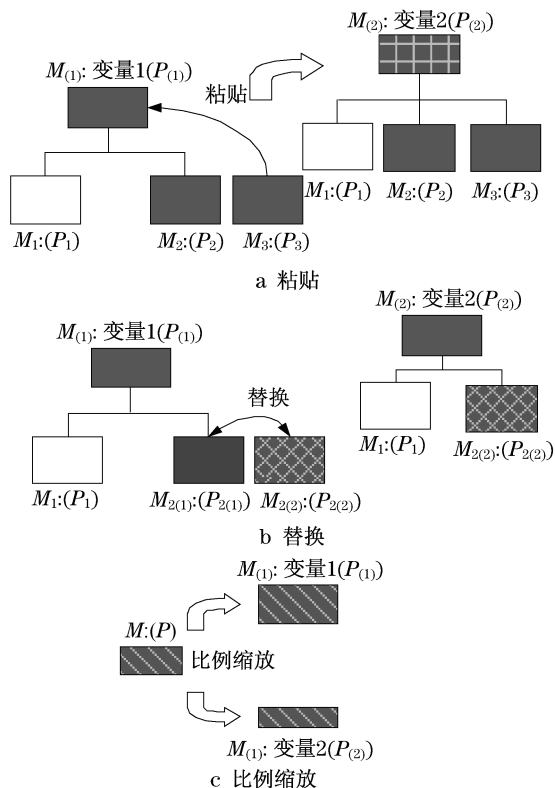


图2 图变量生成基本方法

Fig.2 Basic method of variety generation

4 RMT 配置实例

可重构机床是开链机构,具有特定的拓扑特征

和功能.结合数据库技术,提出人机交互式可重构机床配置规划设计的结构及总体框架;结合一个实际案例,说明可重构机床的原型设计方法.

将图文法模型方法应用于可重构机床,证实基于图文法的可重构机床配置规划方法的实用性和可行性.

4.1 配置规划流程

基于模块化设计的思想,运用已有的设计方案和相关知识,快速重构新机床产品.首先,对待加工零件进行工艺分析、聚类,从而提出对机床产品的结构和功能要求^[9].根据节点标识符集合,确定边标识符集合.不同的模块对应不同的图文法二维节点,其连接属性对应模块连接方式.对可重构机床建立连接初始图,依据功能关系建立约束条件,基于产生式对初始图进行图操作变换,建立一一对应关系.建立控制列表和变量图,组合成可重构机床图语言,在可重构机床数据库中,如没有合适的机床,则使用模块化技术快速设计.查询机床模块,如无合适模块,则以已存在的相似模块为基础,扩展重构设计.对各模块生成组合,构建最合适的机床方案.对机床分析、优化、仿真,确认设计合理性.流程如图3所示.

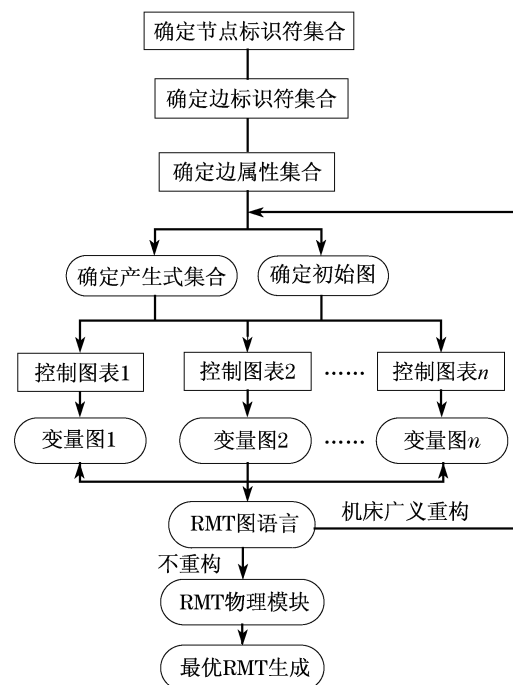


图3 基于图文法的 RMT 配置规划流程

Fig.3 Flow of RMT configuration layout based on graph grammar

4.2 案例

以某大型企业的箱体类零件族为例.由于材质和Z轴加工距离的变化,需要配置一可快速重构的机床,能快速响应生产零件的变化.主要功能模块包括

床身部、横梁部(过渡件)、立柱部、主轴箱部、滑座工作台部和刀库部等 6 大部件. 图 4 所示为按照产品级、系统级、模块级、分模块级分解加工中心的模块.

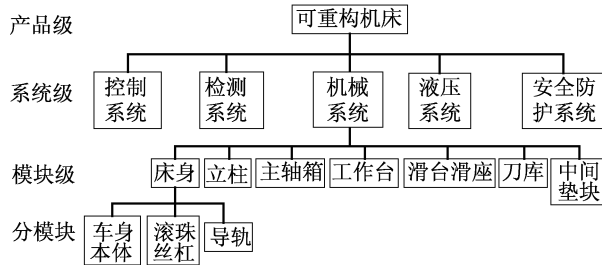


图 4 可重构机床一般产品构成

Fig.4 General product composing of RMT

对加工产品缸体缸盖加工工序进行聚类分析, 电脑所示结果如图 5 所示.

从该工艺聚类结果可知, 缸体缸盖的加工特征可分四类: 矩形面, 矩形阵列盲孔, 通孔, 矩形阵列螺纹盲孔. 其中, 2 阶通孔和通孔同属一类加工特征.

可重构机床在模块层面可以分为床身、立柱、主轴、工作台、滑台滑座、刀库等 6 大部分, 而床身又可分为床身本体、滚珠丝杠, 导轨.

定义可重构机床图文法为 $G(PD) = (V, W, A, P, S, C)$.

① $V = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7\} = \{\text{床身, 中间块, 立柱, 主轴, 工作台, 滑块滑座, 刀库}\}$.

② $W = \{e, s\}$.

③ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_7\}$.

④ $P = \{p_1, p_2, p_3\}$, 如图 6a, b, c.

⑤ 开始, 如图 6d 所示.

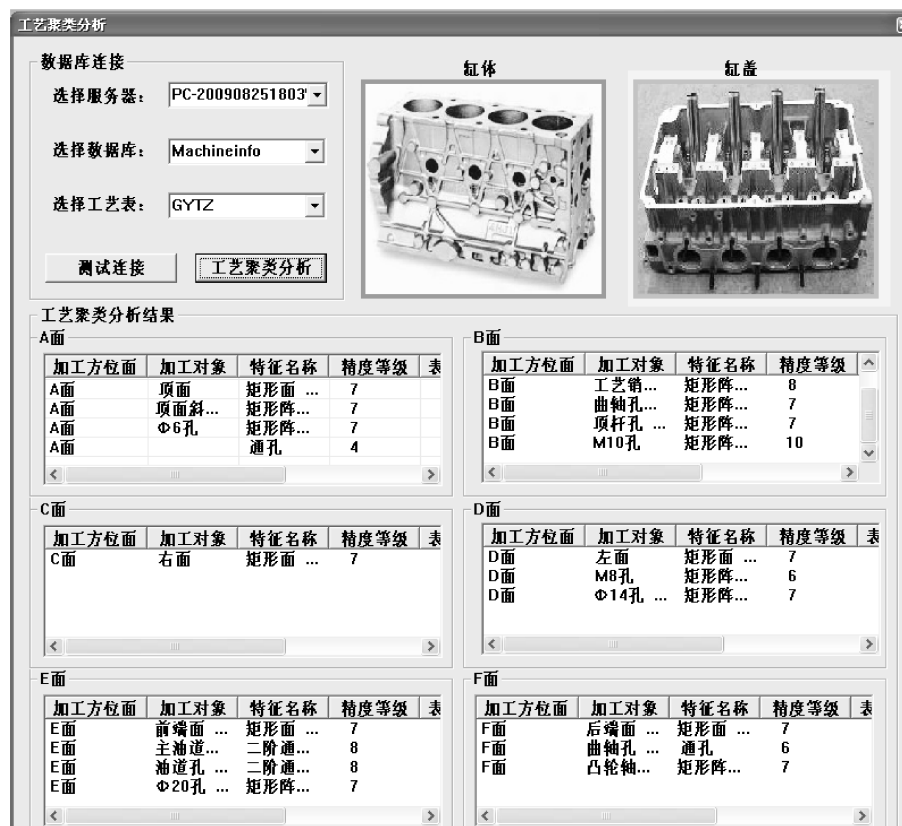


图 5 工艺聚类分析的电脑所示结果

Fig.5 Process clustering analysis result of computer

对初始图 6d 进行图操作变换. 由图 6a 可知, 节点 2 是中间块, 位于节点 1 和节点 3 之间, 对节点 2 缩放比例, 可对提升主轴的加工 Z 轴方向的行程, 原机床可加工缸体零件相关特征, 通过实体可变换重构机床, 该机床可加工缸盖零部件相关特征; 图 6b 对节点 5(即 M_5) 替换为 $M_{5(2)}$, 原来的工作台只有

一个托盘, 通过替换节点 5, 更换一旋转托盘可以对换加工; 图 6c 对可重构机床的节点 7 进行粘贴, 对位于可重构本体的箱体边的刀库进行嵌入操作, 可有效提升机床的加工能力, 减少换刀时间和斜升时间. 通过该图文法形式化语言的表达, 结合计算机数据库等高效的映射关系, 可以实时展示可重构机床

配置规划过程,建立一种新的工艺聚类与重构模块之间映射关系.这对无冗余功能的机床的配置规划,可以方便地重构机床动力配置,从而为机床的可重构配置规划奠定基础.

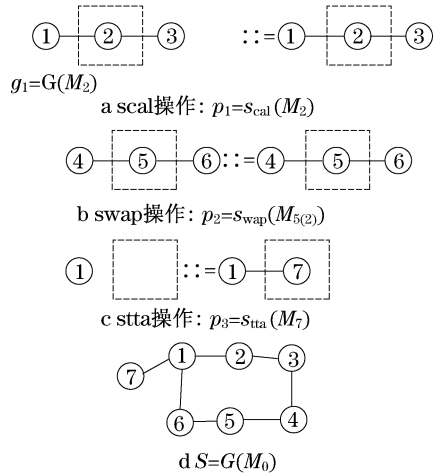


图6 可重构机床图文法形式化操作

Fig.6 Formalization handling of RMT graph grammar

5 结语

将图文法应用于可重构机床配置规划建模,对可重构机床结构配置规划进行方案设计.产品族的生成机理和图语言的生成机理相似,可以基于图文法模型建立可重构产品模块配置规划方法.本文对待加工零件的加工特征和工艺进行分析,依据图文法理论嵌入方法和产生式,对可重构机床图结构进行相关操作,建立可重构机床二维重构模式.通过研究可得,基于图文法的可重构机床配置规划可以充分利用图文法的形式语言和动态特征对重构设备进行

行重构规划,建立一种新的工艺聚类与重构模型之间的映射关系.这有利于设计无冗余功能的机床和快速经济地重构机床配置,从而为机床的可重构配置规划奠定基础.

参考文献:

- [1] Xin Y, Xing Z R, Wang H B. Research on integrated reverse engineering technology for forming sheet metal with a freeform surface[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 112:153.
- [2] Lee k h, Woo H. Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping[J]. Computer & Industrial Engineering, 2000, 38:21.
- [3] Moon Y M, Kota S. Generalized kinematic modeling of reconfigurable machine tools[J]. Journal of Mechanical Design, 2002, 124(3):47.
- [4] 许虹,唐任仲,程耀东.面向可重构机床设计的工艺规划技术研究[J].浙江大学学报:工学版,2004,38(11):1496.
XU Hong, TANG Renzhong, CHENG Yaodong. Study of process planning techniques for reconfigurable machine tool design[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2004, 38(11):1496.
- [5] Stadzisz P C, Henrioud J M. Concurrent design of flexible assembly system [J]. IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 1996, 18(2):475.
- [6] Flasiński M. Use of graph grammars for the description of mechanical parts[J]. Computer-aided Design, 1995, 27(6):403.
- [7] Du X, Jiao J, Tseng M M. Product platform representation: a graph grammar approach[J]. Manufacturing System, 2001, 31(2):1.
- [8] Rozenberg G Handbook of Graph Grammars and Computing by Graph Transformation[M]. Singapore: World Scientific, 1997.
- [9] Boerma J R, Kals H J J FIXES. A system for automatic selection of set-ups and design of fixtures[J]. Annals of the CIRP, 1998, (27)1:443.