

文章编号: 1001-0920(2011)02-0308-05

基于新型制造资源组织模型的生产调度系统研究

郭 宁, 金天国, 刘文剑

(哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要: 为了适应航天制造企业对生产调度系统的要求, 提出了新型的制造资源组织模型——基于虚拟制造单元的制造资源组织模型, 探讨了此模式的理论思想以及基于此模型构建的生产调度系统. 首先构建了基于虚拟制造单元的资源组织模型结构, 并给出虚拟制造单元构建的详细过程; 然后, 建立了基于此制造资源组织模型的生产调度系统模型; 最后, 通过应用实例表明了该系统能够有效地简化生产调度过程, 提高生产效率.

关键词: 虚拟制造单元; 制造资源组织模型; 生产调度

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Research on production scheduling system based on a new manufacturing resources organization model

GUO Ning, JIN Tian-guo, LIU Wen-jian

(School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China. Correspondent: GUO Ning, E-mail: guoningde@yahoo.com.cn)

Abstract: In order to adapt to the requirements of scheduling system in aerospace enterprise, a new manufacturing resources organization model—manufacturing resources organization model based virtual manufacturing cell(MROM-VMC) is proposed, a production system is proposed based on MROM-VMC. Firstly, the function structure of the manufacturing resource model is designed, and the procedure of VMC formation is given. Then the hybrid framework of the production scheduling system model is established. Finally, an application case in a manufacturing enterprise shows that this system is able to simplify the procedure of scheduling and improve production efficiency.

Key words: virtual manufacturing cell; manufacturing resources organization model; production scheduling

1 引 言

在当前制造业面临市场竞争日益激烈的环境下, 制造企业存在着“接单生产”的压力, 航天企业亦是如此. 产品不断变化、周期不断缩短、多品种小批量生产要求航天制造企业能够快速响应生产要求变化, 满足产品需求, 因此快速有效的组织制造资源是非常必要的.

为了使制造系统能以最快的响应速度最大限度地满足用户需求, 提高敏捷环境下的系统响应能力, 文献[1]提出了单元制造系统(CMS). 制造单元由用于加工处理一种(或有限种)零部件(或产品)的两个(或多个)工序和 workstation(或机器)组成, 此系统变小批量生产为大批量, 可增加工人操作熟练度, 减少设备调试时间, 缩短制造周期, 有利于处理制造系统的各

种工程变化. 但是, 此系统也具有对设备和人的利用不平衡、系统改变有迟滞性、重构成本过大等缺点, 并且由于目前现有制造系统的设备的位置大部分被固定, 要实现此系统非常困难, 成本也较高, 系统的柔性较差.

文献[2]提出了虚拟制造单元(VMC)这一概念来解决以上问题. 它不强调设备的物理布局, 而是在逻辑上形成虚拟动态实体. 本文针对航天制造企业的生产情况, 在 VMC 的基础上探讨制造资源组织模型及以此为基础的生产调度系统.

2 虚拟制造单元

VMC 是由 McLean 等人^[3]在对传统制造单元扩展的基础上提出的, 为了使生产系统既保持高生产率又有高柔性和高资源利用率, 根据生产任务从备选设

收稿日期: 2009-11-10; 修回日期: 2010-01-18.

基金项目: 工业和信息化部基础科研项目(D0420060521).

作者简介: 郭宁(1983—), 女, 博士生, 从事生产管理、本体技术等研究; 刘文剑(1944—), 男, 教授, 博士生导师, 从事生产管理、机电一体化等研究.

备资源中选出需要的设备组成逻辑生产单元. 它不是制造资源的物理成组, 各设备和资源在物理上并没有改变, 而是在逻辑和概念上形成相互关联的虚拟动态实体, 通过物流系统, 如自动导引小车 (AGV) 连接, 无需改变现有系统物理布局. 这样, 制造资源在物理空间上的位置始终保持不变, 而在生产组织和管理逻辑上随特定用户产品的不同而变化. VMC 不仅具有传统制造单元的优势, 而且具有以下优点: VMC 中, 设备仅是逻辑上的联系, 不需要更改设备的物理位置即可进行单元的重组, 极大地降低了重构的时间和成本, 且在 VMC 组中同一设备可以由不同的虚拟单元共享, 减少了设备的重复设置, 避免了设备闲置, 提高了设备的利用率^[4-5]. VMC 的生产柔性和资源利用率比面向产品的资源结构有很大提高, 而物流路径比面向功能的资源结构有很大缩短和简化.

现阶段, VMC 与特定的生产任务联系在一起, 单元的构建在生产调度中进行. 单元的生成是针对某一具体生产任务的, 随着生产任务的产生而产生, 随着任务的完成而解散, 有一定的生命周期, 且完成某个生产任务可能需要多个 VMC 共同协作工作. 目前国内学者对 VMC 的研究也大都是根据接收到的生产任务构建单元, 组织生产, 任务完成则单元解散^[6-7].

企业“接单生产”使得企业的制造任务多变, 导致 VMC 也需要随着这些情况的改变而改变, 每变动一次都需要重新组织、构造单元. 此项工作需要耗费大量的时间和成本, 尤其是生产系统的管理成本, 构造完成后的制造系统试运行也需要较长的时间.

3 制造资源组织模型

制造资源组织模式是制造系统组织其硬件资源的方式方法, 它描述了在生产系统中如何组织制造资源, 包括加工设备、辅助工具、人等. 资源组织模式极大地影响生产系统的特性, 如系统的运行效率、适应性、经济性、可靠性以及可持续发展性和技术先进性等. 根据生产管理侧重点不同, 制造资源组织模式主要有面向产品和面向功能两种^[8]. 在面向产品方式中, 制造资源完全根据特定用户产品的生产流程来组织, 其内部物流管理较为简单, 便于生产调度与控制, 但是此类生产系统的柔性较差, 不能满足敏捷环境下对订单变化的要求, 也不便于同类制造资源的管理和共享; 面向功能方式将功能相似的制造资源布置在一起, 其制造资源的管理较为简化, 生产系统具有较好的柔性, 但此系统内部物流管理很复杂, 增加了生产调度与控制的难度. 以上两种资源组织模式在生产管理方面均有明显的局限性, 无法适应快速多变的市場要求.

3.1 基于 VMC 的制造资源组织模式

目前, 虽然航天制造企业的产品不断更新变化, 但是企业的产品结构和工艺要求具有一定的系列性和稳定性, 在相当长的一段时间里, 企业生产任务的制造工艺和要求均具有相似性. 一般情况下, 在航天制造企业中, 每项零件加工任务有十几甚至上百道工序, 在这些工序中, 往往呈现的是 3, 4 道或者 5, 6 道工序为一小组, 组内的工序一般比较稳定, 同一企业或者车间的不同的任务工艺流程基本上是这些小组的排列组合.

针对航天制造企业的这一特点, 本文提出了基于 VMC 的制造资源组织模型, VMC 是针对这些工艺小组的, 因此定义为由若干台制造设备及其附属工具组成的逻辑单元, 能够独立完成一系列加工功能, 它不随特定的加工任务的完成而消失. 在此模型下, 制造资源被组织为虚拟单元, 定义为四元组 {设备, 辅助工具, 工艺能力, 状态}, 制造资源模型由若干个虚拟单元组成.

在航天制造企业的车间中, 同类型的制造资源设备往往有很多台, 但是相同类型的制造设备需要配置不同的辅助工具 (如刀具、夹具) 才能按照工艺要求完成相应的加工任务. 资源设备的辅助工具调整以及更换辅助工具后资源设备的调试占用了大量的时间, 如果将不同任务中相同的工艺加工安排在同一设备上, 则可以减少设备的调试时间和辅助工具的安装时间, 提高生产效率.

采用 VMC 是对制造模型的深层次变革, 根据以往企业已完成的多项任务中工艺流程的相似性, 将制造资源组合成 VMC. 在制造单元中, 资源设备针对此单元对应的工艺流程配置辅助工具, 不同单元中同类型的设备由于配置了不同的辅助工具而被区分, 使得每台设备减少了更换辅助工具和调试设备的时间. 对于制造单元, 相当于变中小批量生产为大批量, 而制造单元可以完成一系列有针对性的工艺加工任务, 将调度时的单工艺-多设备问题转变为单工艺-VMC 问题, 简化了任务分配和调度过程, 提高了调度质量, 故称其为基于 VMC 的制造资源组织模型 (MROM-VMC).

3.2 VMC 构建过程

基于 VMC 的制造资源组织模型的核心思想是将零散的直接被生产系统管理的制造资源组织为 VMC, 制造单元不会随着具体任务的结束而结束, 它是整个制造资源组织模型甚至是生产调度系统的基础, 任务的分配与调度均以此为操作对象. 当企业的产品结构或资源设备发生重大变革时, 需要重新组织制造资源构建 VMC.

构建过程如图 1 所示. 将企业拥有的制造资源(包括本地的和异地的)根据企业的产品结构树和工艺信息, 通过计算生成 VMC. 目前, 企业的对外合作趋于频繁, 对于长期稳定的合作方, 企业有对方的制造资源模型. 例如航天企业将与之有合作关系的企业按照合作的密切程度分为 3 类. 对于前两类, 企业拥有对方企业的制造资源模型, 在构建 VMC 的过程中, 将其包括在内. 整个构建过程分为两步: 1) 根据输入的条件和要求, 使用多目标优化算法(优化目标有 3 个: 工件的加工路线间的相似系数之和最大; 原材料、半成品和成品运输时间、成本最低; 生产设备的负荷平衡最大), 为产品制造选择合适的设备资源, 构建多条零件加工路线; 2) 根据步骤 1) 得出多条零件加工路线信息, 通过相似性计算, 将多条加工路线中的制造资源根据相似性聚合成 VMC. 制造设备聚类为制造单元后, 配以相应的辅助工具, 最后组成制造资源模型. 每个 VMC 结构为四元组{设备, 辅助工具, 工艺能力, 状态}, 其中: 设备包括不方便移动的加工中心、各类型机床等; 辅助工具为设备的附属工具, 如刀具、夹具等; 工艺能力是指设备配以相应的辅助工具后可以实施的工艺流程以及可以实现的技术参数; 状态为单元内所有设备的实时状态, 如空闲、繁忙、检修等.

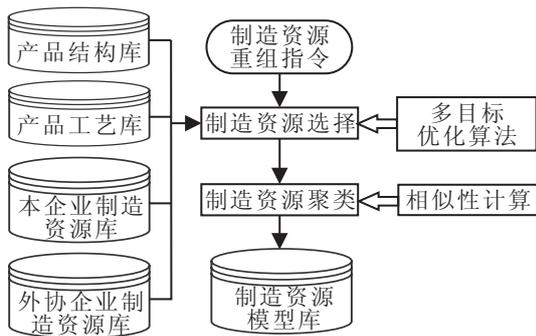


图 1 VMC 构建过程

4 基于 MROM-VMC 的生产调度系统

采用基于 VMC 的制造资源组织模型是对生产调度系统的深层次变革. 在基于 VMC 的制造资源组织模型下, 生产调度系统有别于其他生产系统针对资源设备级进行任务分配和管理, 而主要是针对 VMC 进行任务管理和监控, 如图 2 所示.

在航天企业内, 通常一项生产任务需要多个虚拟单元相互配合组成单元序列来完成, 由若干候选的虚拟单元按顺序构成的单元序列与一列火车相似, 单元相当于车厢, 单元序列相当于火车. 火车可以根据旅客情况随时调配各车厢, 而生产调度系统可根据生产任务的情况, 从制造资源组织模型中选取合适的单元组成单元序列, 完成生产任务. 当有新任务下达或者

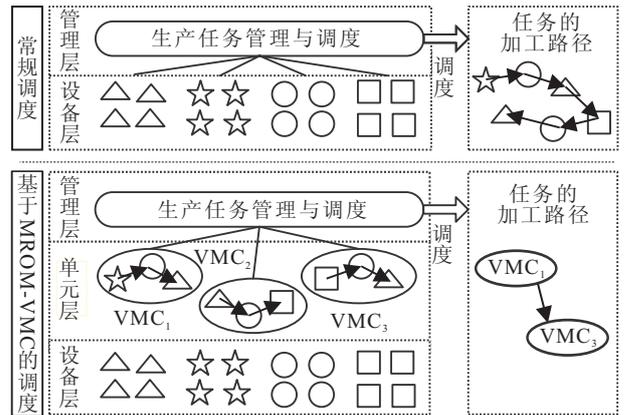


图 2 基于 MROM-VMC 的调度示意图

有干扰因素出现、生产系统需要调整时, 生产调度管理层以 VMC 为基本粒子, 实现生产系统的调整与重构, 快速适应生产计划要求. 生产调度系统的工作流程如图 3 所示, 其步骤如下:

Step 1: 当有新生产任务下达时, 调度系统根据任务的工艺信息和加工要求从制造资源模型中选取合适的 VMC. 典型的情况是新任务到达制造系统, 有多个 VMC 可供选择, 要考虑所选择单元内的各个制造设备的状态, 如果存在合适的制造单元则转至 Step 2, 反之转至 Step 3.

Step 2: 根据加工任务的要求对选出的 VMC 进行能力评估, 此处主要从整个制造系统平衡和系统可能出现的死锁状态等情况考虑. 如果满足要求则转至 Step 4, 反之转至 Step 1.

Step 3: 根据任务的工艺信息以及现有的制造资源信息, 运用多目标优化算法和相似性计算构造合适的 VMC.

Step 4: 根据选出的 VMC 组成单元序列, 输出具体的加工路径和生产计划.

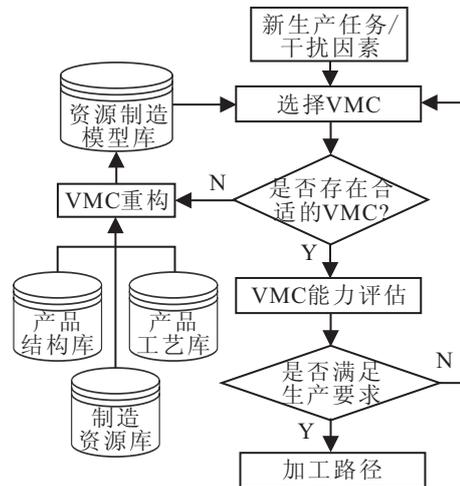


图 3 VMC 构建过程

下面的伪代码描述了生产调度系统的部分工作过程:

```

Procedure: Generate Schema(){
Loop {
...
If new tasks arrive at the manufacturing system
Loop{
Loop{
/* 选择 VMC */
make an alternative candidate VMC for a
series of operations of the task
/* 评估选择的 VMC*/
If every machine of the VMC is available
If the deadline meets the requirement
...
} until all the condition are ok.
...
Goto next series of operations.
} until selected VMCs for all operations of
the task
Generate a process into a list
Goto next task
} until no new task exists
}
    
```

航天企业的生产任务虽然动态多变,但其工艺要求具有稳定性和系列性,因此制造资源模型中的 VMC 一般均可以满足生产任务的要求,VMC 重构活动较少发生。

5 系统应用实例

依据上述基于 MROM-VMC 的生产调度系统模型,结合工业与信息化部基础科研项目——卫星结构研制项目与生产管理系统,基于某卫星制造厂的实际情况,开发了基于 MROM-VMC 的生产调度系统。该系统体系实现结构分为 4 层,如图 4 所示。其中: 1) 客户界面层为生产管理者提供基于 web 下对应用程序的访问以及交互界面。2) 业务逻辑层根据现实业务抽象出一个个独立活动的对象,对具体业务进行封装和打包以便共用,并定义对外接口,便于功能动态重组。业务逻辑层是整个系统的核心,实现系统的主要业务逻辑。3) 支撑工具层存放各种辅助工具模块,系统可以根据需要定制相应的功能。4) 数据服务层的主要功能是完善支撑工具层对数据的集中存储和访问,保证数据的一致性和完整性,同时提供数据处理功能,包括对数据的增、删、改、查等操作。数据服务层是决定系统能否高效顺利进行的关键。4 层机构使整个系统的逻辑结构清晰明了,各层的改变相互隔离,互补影响,增强了系统的灵活性和可维护性。

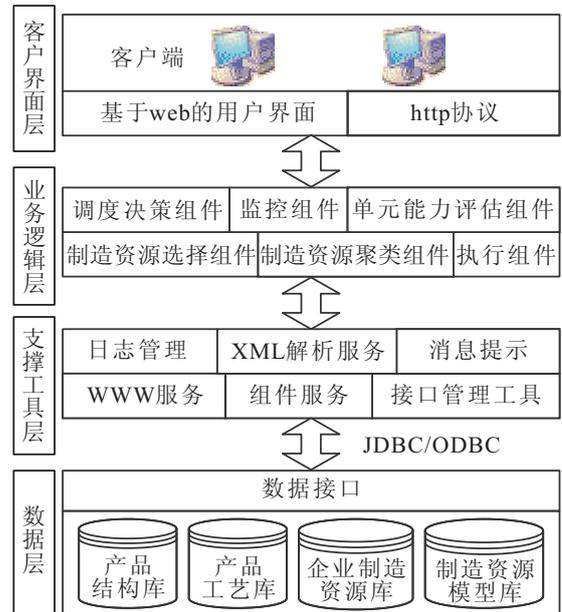


图 4 系统实现体系结构

现以该厂部分制造资源为例,阐述系统执行过程,验证结果。某厂共有 7 类制造设备,分别用 A, B, C, D, E, F, G 表示,设备信息如表 1 所示。表 1 中运输成本/时间数值为按照模型无量纲化后的单位零件任务的运输成本,设备为同车间的忽略不计。现有的产品制造工序如表 2 所示。

表 1 资源设备数据表

设备类型	A	B	C	D	E	F	G
数量/台	3	2	2	3	2	2	2
运输成本/时间	-	-	-	-	-	8/5	13/9

表 2 工序信息

任务编号	工序(设备类型)
P ₁	A-B-C-D-B-C-D-G-E-A-D-G
P ₂	A-E-F-B-C-D-E-F-A-D-G
P ₃	A-B-C-D-A-E-F-B-C-D-E-F
P ₄	A-B-C-D-B-C-D-G-E-C-D-E-F-A-D-G

为以上资源设备编号,设备 A 编号分别为 1, 2, 3; 设备 B 为 4, 5; 依次类推,设备 G 为 15, 16。首先用多目标优化算法(本文选用多目标协同进化算法)算出以上各个任务的具体加工路径。多目标协同进化算法的计算结果不是单一解,而是为一组最优解,它们在各目标函数上的性能各有侧重。本实例中选择两组有代表性的解,通过相似性计算生成 VMC,如表 3 所示。

表 3 虚拟制造单元

单元编号(解 1)	VMC 组成	单元编号(解 2)	VMC 组成
1	3, 10, 15	6	2, 9, 15
2	1, 4, 6, 8	7	1, 4, 7, 8
3	7, 9, 12, 14	8	6, 10, 12, 14
4	5, 7, 8, 16, 11	9	5, 6, 8, 16, 11
5	2, 11, 13, 4	10	3, 11, 13, 4

将最后计算得到的 VMC 及相关参数组成制造资源模型, 存入制造资源模型库中, 用于支撑调度系统. 假设有新任务, 工序为: A-B-C-D-A-E-F-B-C-D-E-F-A-D-G, 调度系统将根据任务的工艺信息和生产系统的实时状态, 从制造资源模型中选取合适的 VMC, 组成单元序列, 形成此任务的加工路径: 单元 7-单元 10-单元 3-单元 6, 即: 1-4-7-8-3-11-13-4-7-9-12-14-2-9-15.

6 结 论

本文结合航天企业某卫星制造厂卫星结构研制项目与生产管理系统课题研发的项目, 根据航天制造企业的特点, 深入研究了企业中制造资源组织模型问题. 运用协同进化算法和相似性计算构建 VMC, 并开发了拥有 4 层结构的基于 MROM-VMC 的生产调度系统. 该系统具有以下特点: 1) 该系统有别于其他生产调度系统针对资源设备级进行任务分配和管理, 而是针对 VMC 级; 2) 该系统明确分为 4 层, 各层相对独立. 此系统简化了调度过程, 提高了生产效率. 目前该系统已经应用于此卫星制造厂, 并取得了满意的效果. 需要进一步研究的工作有: VMC 生成算法的进一步优化改进; VMC 中加入人员组成等信息.

参考文献(References)

- [1] Saadettin Erhan Kesen, Duran Toksari M, Zuelal Guengoer, et al. Analyzing the behaviors of virtual cells(VCs) and traditional manufacturing systems: Ant colony optimization(ACO)-based metamodels[J]. *Computers and Operations Research*, 2009, 36(7): 2275-2285.
- [2] Drolet J, Marcoux Y, Abdounour G. Simulation-based performance comparison between dynamic cells, classical cells and job shops: A case study[J]. *Int J of Production Research*, 2008, 146(2): 509-536.
- [3] 赵汝嘉. 先进制造系统导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 211-227.
(Zhao R J. Introduction of advanced manufacturing technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 211-227.)
- [4] Satya Chakravorty S, Douglas N H. The evolution of manufacturing cells: An action research study[J]. *European J of Operational Research*, 2008, 188(1): 153-168.
- [5] 王志亮, 张友良, 汪惠芬. 敏捷制造模式下制造单元重构技术研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2004, 10(7): 727-731.
(Wang Z L, Zhang Y L, Wang H F. Study on manufacturing cell reconfiguration for agile manufacturing[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004, 10(7): 727-731.)
- [6] 白俊杰, 龚毅光, 王宁生, 等. 面向订单制造的可重构制造系统中虚拟制造单元构建技术[J]. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(2): 313-320.
(Bai J J, Gong Y G, Wang N S, et al. Methodology of virtual manufacturing cell formation in reconfigurable manufacturing system for make-to-order manufacturing[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2009, 15(2): 313-320.)
- [7] Gert Nomden, Durk Jouke van Zee. Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility[J]. *Int J of Production Economics*, 2008, 112(1): 439-451.
- [8] Sule Itir Satoglu, Nallan C Suresh. A goal-programming approach for design of hybrid cellular manufacturing systems in dual resource constrained environments[J]. *Computers and industrial Engineering*, 2009, 56(2): 560-575.
- [7] Xu B L, Chen Q L, Wang Z Q. Track initiation with ant colony optimization[J]. *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(9/10): 3629-3644.
- [8] Bonabeau E, Dorigo M, Theraulaz G. From nature to artificial swarm intelligence[M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [9] Aidala V, Hammel S. Utilization of modified polar coordinates for bearing-only tracking[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1983, 28(3): 283-294.
- [10] Parpinelli R S, Lopes H S, Freitas A A. Data mining with an ant colony optimization algorithm[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2002, 6(4): 321-332.

(上接第307页)