

## 基于模型重构的生产计划优化系统设计与开发

高筱芸, 严洪森, 路致远

(东南大学自动控制研究所, 江苏南京 210096)

**摘要:**敏捷制造是一种可以快速响应客户需求的制造模式,但现有敏捷制造模式下的生产计划优化系统存在针对性弱、生产模型单一等问题。文中通过提取组成生产目标规划模型的各种因子,对敏捷制造模式下满足不同生产目标和生产条件的生产模型进行了重构,并采用卡马卡及其关联预测算法进行了模型求解,从而大大提高了车间生产计划优化系统的灵活性和适用性,为生产效率的提高提供了一条更加科学有效的途径。

**关键词:**生产计划优化;生产模型;柔性制造系统;存储过程

**中图分类号:**TP273+.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3751(2006)03-0167-03

Design and Development of Optimal Production Planning System  
Based on Production Model Reengineering

GAO Xiao-yun, YAN Hong-sen, LU Zhi-yuan

(Research Institute of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The agile manufacturing system can respond the clients demand agilely, but there are shortages in the existing production planning (PP) system. Considered workshop framework and varied factors relating to production under the environment of agile manufacturing workshops, several elements which comprise the objectives planning model are abstracted. Then according to these elements, relevant models are reengineered and solved with constraint conditions in the form of database tables based on .Net platform, thereby the aim to optimize production planning is achieved and it would be a more scientific and effective way to improve the productive efficiency.

**Key words:** optimal production planning; production model; FMS; stored procedure

## 0 引言

自20世纪80年代末产生了制造执行系统(MES)概念<sup>[1]</sup>至今,已经有大量的MES研究成果被发表,但是实际中有关生产计划的软件,考虑角度通常为生产车间的组织结构或是影响生产的各种因素两者之一,很难做到兼顾,灵活性和针对性也不高。

本研究的目的在于开发一套基于生产模型重构的生产计划优化系统,针对生产的不同目标 and 环境,实现生产模型的重构,并采用卡马卡及其关联预测算法对重构后的生产模型进行求解,从而实现生产计划的优化,为企业生产效率和效益的提高提供一条科学有效的路径。

## 1 生产建模

## 1.1 车身厂冲压车间的介绍

某汽车车身厂包含两个冲压车间。文中将每个制造

车间看作一个柔性制造系统(FMS),车间的每台设备为一个工作中心。一个柔性系统可以包含多个工作中心,几个工作中心允许完成相同的加工任务,零件可以在各个柔性系统和工作中心之间传递。

## 1.2 生产模型的组成部分

## 1.2.1 组成目标函数的元素

1) 车身厂冲压车间基于生产能力和生产需求的生产目标是文中所有生产模型的共同之处,即核心目标函数为:

$$J_{\text{核心}} = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (a_i^T x_i(k) + b_i^+ T[u_i(k) - \beta_i(k)]^+ + b_i^- T[\beta_i(k) - T_i u_i(k)]^+ + c_i^+ T[\bar{y}_i(k) - \bar{d}_i(k)]^+ + c_i^- T[\bar{d}_i(k) - \bar{y}_i(k)]^+)$$

其中  $M$ : 车间中 FMS 的个数,  $N$ : 计划区间内的生产周期数,  $\bar{y}_i(k)$ : FMS<sub>*i*</sub> 自周期 1 到周期  $k$  累计输出的成品,  $u_i(k)$ : FMS<sub>*i*</sub>(工作中心  $i$ ) 在周期  $k$  计划生产的工件(成品或半成品),  $x_i(k)$ : FMS<sub>*i*</sub> 在周期  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, N+1$ ) 开始时的在制品存储量,  $\bar{d}_i(k)$ : FMS<sub>*i*</sub> 自周期 1 到周期  $k$  的累计产品需求,  $\beta_i(k)$ : FMS<sub>*i*</sub> 各工作中心在周期  $k$  可用于加工的时间,  $a_i$ : FMS<sub>*i*</sub> 中与在制品有关的成本系数,  $b_i^+$ : FMS<sub>*i*</sub> 中与加班工资有关的成本系数, 是  $m_i$  维,  $b_i^-$ : FMS<sub>*i*</sub>

收稿日期: 2005-07-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475075)

作者简介: 高筱芸(1981—), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向为控制理论与控制工程; 严洪森, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为 CIMS 及 FMS 建模、生产计划、调度、控制、仿真、并行工程和敏捷制造等。

中与设备闲置有关的成本系数,  $c_i^+$ : 由 FMS<sub>i</sub> 输出的成品超出需求部分的单件存储及占用流动资金的成本,  $c_i^-$ : 由 FMS<sub>i</sub> 输出的成品未满足需求而受高额罚款的单件成本,  $[\cdot]^+ : \max(0, \cdot)$ 。

2) 成本最低在生产目标中的影响因子主要为: J 成本

$$= \sum_{i=1}^M \{a_i^T x_i(N+1)\},$$

目标是使得本批次计划完成时的剩余在制品尽可能的少, 从而使得有关在制品的存储和浪费成本最低。

3) 净效益最高的影响因子主要表现为: J 效益 =

$$\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (p_i^T y_i(k) - e_i^T T_i u_i(k)),$$

$e_i$  是 FMS<sub>i</sub> 在单位时间内加工工件的成本,  $T_i$  表示各工作中心在  $k$  加工  $n_i$  种工件所需时间。

4) 半成品入库所造成的库存成本对目标函数的影响因子为: J 延迟 =

$$\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (h_i^T(k)(u_i(k) - Q_{\Delta y_i}(k))).$$

$h_i(k)$  是周期  $k$  内, FMS<sub>i</sub> 输出的半成品存放于车间仓库中的单件成本, 是  $n_i$  维列向量。对于无延迟则不存在此因子, 从而将目标函数简化。

### 1.2.2 成品约束条件的元素

根据冲压车间自身的性质, 标准约束条件一般有工作中心之间生产产品的平衡约束、关联约束、成品输出约束、输出累计约束和产品需求累计约束等, 如表 1 所示。企业生产车间生产完全满足需求, 此时输出累计约束和产品需求累计约束需要修正为  $d_i = \sum_{k=1}^N y_i(k)$ , 即累计输出的成品之和等于生产需求。当有延迟情况发生时, 半成品输入和计划生产之间存在了一个生产周期的延迟,  $u(k)$  修正为  $u(k-1)$ 。当考虑随机情况, 即成品和半成品的生产中会有随机事件发生, 影响产品产量和质量, 此时, 平衡约束应该修正为平衡方程右边多出一个  $v(k)$  因子,  $v(k) = -\Theta \bar{\mu}_i(k)$ , 表示的是随机产生的废品数。

表 1 生产模型约束条件表

平衡约束	$x_i(k+1) = x_i(k) - u_i(k) + z_i(k) + Gpr(k) + v_i(k)$
关联约束	$z_i(k) = \sum_{j=1}^M L_{ij} u_j(k)$
成品输出约束	$y_i(k) = C_i u_i(k)$
非负约束	$x_i(k) \geq 0, u_i(k) \geq 0$
输出累计约束	$\bar{y}_i(k) = \sum_{t=1}^k y_i(t)$
产品需求累计约束	$\bar{d}_i(k) = \sum_{t=1}^k d_i(t)$

## 2 生产模型的重构

传统运筹学一般以净效益最高和成本最低为追求目标的生产模型<sup>[2]</sup>。冲压车间生产条件包括工序传输之间

有无延迟、生产过程是否受外界随机因素干扰等。它们之间逻辑关系如图 1 所示。

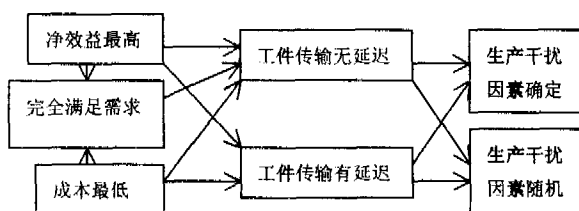


图 1 生产目标与生产条件逻辑关系图

冲压车间生产模型及约束条件因生产条件和目标的改变而不同, 但与生产能力和生产需求相关的核心目标和约束条件是相同的, 不同类型生产条件的变动其相关因素是固定的。生产模型的重构就是基于该特点, 在不改变核心目标基础上, 通过在目标函数中添加相关因素和调整约束条件使之满足当前生产情况。生产模型的重构基于上述的目标函数和约束条件因子实现, 其和生产目标及生产条件的对应关系如表 2 所示。

表 2 生产模型重构对应关系表

生产目标和生产条件		生产目标规划模型		
生产状况随机	生产状况确定	需修正的约束条件	构成 J 的特殊元素	
		平衡约束	E(J)	无
		输出累计和产品需求约束	无	
工件传输延迟	工件传输无延迟	关联约束	J 延迟	无
成本最低	效益最高	无	J 成本	J 效益

## 3 生产模型的解决和生产计划优化的实现

### 3.1 数据库的设计

在系统的研究与开发中, 数据库是帮助建立生产目标规划模型的重要组成部分<sup>[3]</sup>。为此笔者设计如下 5 类基表: a. 模型重构所需知识库; b. 目标函数所需信息库; c. 约束条件所需信息库; d. 模型存放库; e. 生产计划库。

### 3.2 系统中重构的实现过程

构建模型所需的参数信息和重构模型所需的知识都保存在企业的数据库里。当用户选择了当前的生产状况和期望的生产目标后, 系统将从数据库中得到满足该状况和目标的规划模型所需要的各种因子, 系统中每个因子都有单独的模块进行处理, 所得到的模型存储在模型存放库表中的对应位置; 对于约束条件, 则先采用统一的模块生成, 再针对不同状况和目标进行修正。系统重构的实现过程如图 2 所示。

本研究中生产计划模型选择采用卡马卡算法和卡马卡关联预测算法求解。卡马卡算法保证的是解的最优性; 而关联卡马卡则保证的是大规模问题的求解速度。两者在生产计划优化上各有千秋, 实际使用时可根据情况进行选择。算法在文献[4]中被提出、证明和给出算例。

算法所得的解同样保存在数据库中, 对优化后得到的零件数量进行取整工作, 使生产计划更合理, 公式如下:

$$\bar{U}_i^*(k) = \text{round}(\bar{u}_i^*(k) + \sum_{t=1}^{k-1} (\bar{u}_i^*(t) - \bar{U}_i^*(t)))$$

其中  $u(k)$  为模型求解后得到的计划生产的工件量,  $U(k)$  为四舍五入后得到的计划生产的工件量。进行处理后得到的优化计划保存在生产计划表中,反映给用户的数据主要有每班次每个车间零件计划生产的数量、剩余的在制品量和最后完成的总量等。

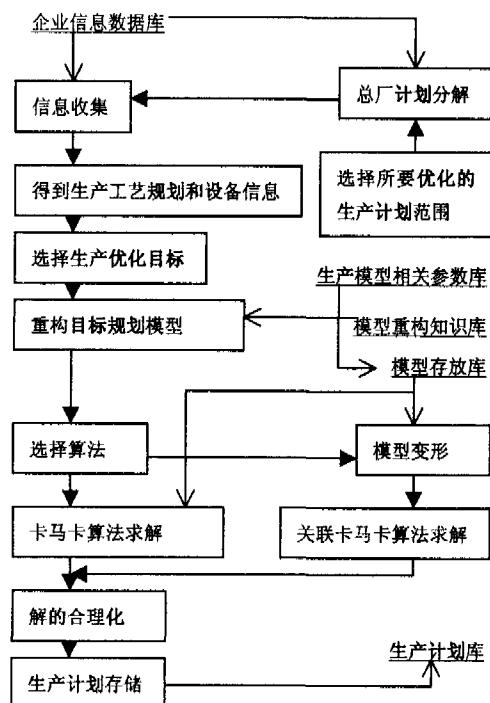


图2 生产计划优化系统流程图

### 3.3 系统开发技术

本系统在先进的 .Net 开发平台下采用 Microsoft Vi-

sual Studio .Net 软件开发包中的 Visual C# 开发,适用于 Windows NT/98/2000 等操作系统。数据库系统采用大型数据库管理系统,即 Microsoft SQL Server 数据库。系统中充分利用了开发平台和数据库管理系统提供的技术,提高了程序的运行速度和效率,增强了系统的可维护性和扩展性<sup>[5]</sup>。系统使用到了线程技术。同一个应用程序中,在某线程执行时,用户仍可以搜索和查询数据库的其他数据资源。

## 4 结论

设计了一个敏捷制造车间环境下的生产计划优化系统,该系统从生产过程和生产要求的不同需求和不同情况出发,以满足管理者期望为前提,通过对生产模型的重构将不同的生产计划模型及相应算法用于生产计划的优化过程,为最终的生产调度提供了一个初始的生产计划,提高了生产计划制定的效率和科学性,具有很大的实际意义。

### 参考文献:

- [1] 杨建军. 生产实施系统[J]. 航空科学技术, 1999(5): 29 - 31.
- [2] 刘明周, 方叶祥. CIMS 下面向订单的动态生产计划解决方法[J]. 合肥工业大学学报, 2004, 27(4): 414 - 417.
- [3] 杨晓峰, 丁维明. 在 .Net 平台上分布式组态实时数据库的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2002, 15(2): 3 - 5.
- [4] 张晓东. 敏捷制造模式下车间生产计划的研究[D]. 南京: 东南大学自动化研究所, 2000.
- [5] 卫伟, 陆慧娟. 微软 .NET 开发平台初探[J]. 微机发展, 2003, 13(S): 89 - 91.

(上接第 134 页)

息。这个用户的数字签名将和他所发出的所有信息一起传送。这种机制可以使任务服务器确认信息的发送者。

## 3 结论

文中提出了一个动态的授权机制。主要利用 5 个授权函数、授权数据库 (AB) 以及任务执行过程中产生的一些事件来同步授权流与工作流的执行过程。授权函数负责把任务分配给执行实体, 授予或撤销执行实体的执行权限和资源访问权限, 以及在任务的执行过程中生成事件。此外还简单介绍了工作流系统中涉及的通讯安全问题。利用现在的网络安全技术, 这种安全要求是可以实现的。目前, 笔者正在用 Jbuilder、SQL Server 数据库、XML 等技术实现这个安全的工作流模型。

### 参考文献:

- [1] Miller J A, Palaniswami D, Sheth A P, et al. WebWork: META-TEOR2's Web-Based Workflow Management System[J].

Journal of Intelligent Information Systems, 1998(10): 185 - 215.

- [2] Atluri V, Huang W K. An Authorization Model for Workflows [A]. Proceedings of the Forth European Symposium on Research in Computer Security [C]. London, UK: Springer-Verlag, 1996. 44 - 64.
- [3] Huang W K, Atluri V. SecureFlow: A Secure Web-enabled Workflow Management System [A]. Proceedings of the 4th ACM Workshop on Role-Based Access Control [C]. New York, NY, USA: ACM Press, 1999. 83 - 94.
- [4] Hung P C K, Karlapalem K. A Secure Workflow Model [A]. Conferences in Research and Practice in Information Technology [C]. Darlinghurst, Australia: Australian Computer Society, Inc, 2003. 33 - 41.
- [5] Joshi J B D, Aref W, Ghafoor A, et al. Security models for web-based applications [J]. Communications of the ACM, 2001 (44): 38 - 44.