

一种基于 workflow 技术的调度方法

林慧苹, 范玉顺, 吴澄
清华大学自动化系, 100084

摘要: 针对传统调度模型在描述复杂生产过程时所面临的模型规模庞大、模型可读性差等问题, 提出了一种基于 workflow 技术的调度模型 (WTSM), 它通过基于活动的建模并在活动定义中内嵌事件—条件—行为 (ECA) 规则来达到缩小模型规模, 增强模型动态描述能力的目的。同时 WTSM 定义了独立的资源模型, 使之能够更好的支持资源定义以解决资源调度问题。然后采用 workflow 技术建立相应的调度系统 (WTSS), 法跟引擎与调度器集成并通过运行模型实例来获得调度方案。实例表明该方法具有模型规模小和调度速度快等优点。

关键词: workflow 管理技术; 调度; 规则

中图分类号: TP391.73

生产调度是一个与企业的生产效率密切相关的课题, 合理的生产调度能够有效的提高设备生产效率, 减少工序等待时间, 缩短交货期, 从而提高产品的竞争力, 给企业带来巨大的经济效益。与此同时, 生产过程中工件、机器、缓冲区和搬运系统之间相互影响, 相互制约, 解空间非常大, 使得生产调度的建模和求解过程非常复杂。

传统的调度建模手段如规划方程、非连接图、和 Petri 网模型等在其应用中都存在一定的局限性。规划方程以变量、等式/不等式、和目标函数来描述调度问题, 是一种直观性较差的模型, 难以建立和理解。非连接图是一种描述能力有限的图形化建模方法, 只能定义简单的工艺流程, 通常与规划方程一起使用来定义制造过程中的种种约束。Petri 网模型虽然是一种描述能力较强的模型, 具有良好的数学基础、分析手段和图式化表达, 但是它的规模庞大, 因此在实际应用中, 尤其是在大规模系统的建模应用中受到很大的限制。

针对传统调度建模方法的不足, 本文提出了一种全新的、基于 workflow 技术的调度模型 WTSM (Workflow Based Scheduling Model), 并建立了相应的调度系统和算法。

1 基于 workflow 模型的调度模型 WTSM

workflow 管理的概念最初是起源于办公自动化、银行领域,随后,它被广泛应用于经营过程的管理和控制领域,且应用范围不断拓展。由于 workflow 建模具有描述全面、柔性好、模型可执行等优点^[2],因而它是描述复杂系统的一种潜在的有效方法。

本文提出一种基于 workflow 技术的调度模型 WTSM (Workflow Technology based Scheduling Model),它是一个以过程模型为核心,由全局资源模型、事务模型、及 workflow 控制数据四部分共同组成的模型系统。过程模型定义工件的加工流程,描述调度问题的工艺约束。全局资源模型定义加工所需的设备,描述调度问题的资源约束。事务模型定义事务的属性。这里,事务的概念不同于数据库系统中“事务”的概念,它可以理解为来自于外界的系统执行的驱动力,在调度系统中,我们定义工件任务为事务。 workflow 控制数据是与 WTSM 模型的执行密切相关的数据。过程模型、全局资源模型以及 workflow 相关数据从不同的角度反映了加工过程的各个侧面,它们之间相互独立又相互关联,各模型之间的调用关系如图 1 所示。

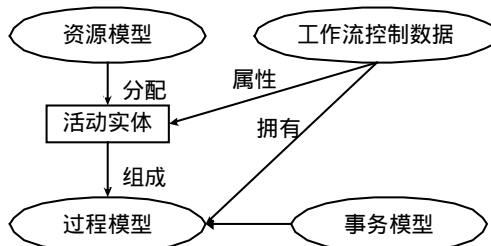


图 1 WTSM 模型结构

1.1 过程模型

过程模型定义工件加工所需的操作以及操作之间的逻辑顺序,它由 n 个过程组成 ($n \geq 1$),分别描述多类工件的加工。每个过程都采用基于活动的工作流建模方法建立,可用 AOV (Active On Vertex) 图表示。基于活动的建模方式便于用户理解,适合于流程较为固定、异常情况较少的生产型 workflow 模型的建立。本文将工件在一台设备上的一道加工工序定义为一个活动。

AOV 图中的节点包括加工活动节点和逻辑节点。加工活动的节点定义由 3 部分组成。

- 1) 属性定义:定义活动的属性。根据活动属性在活动实例执行中是否发生改变,将活动属性分为固有属性和动态属性两类:典型的固有属性如活动的 ID,活动的功能;典

型的动态属性如活动实例的开始时间、结束时间、或活动的优先级等。

2) 资源映射：建立活动到资源模型的映射，即确定活动的执行需要哪一类资源。

3) 行为定义：定义活动实例使能的条件和执行过程。WTSM 采用一阶谓词逻辑的形式定义 ECA 规则，形如： $(\text{if 事件 and 条件 then 行为})$ 。其中，**事件**表示由调度系统产生的各类事件，**条件**表示活动执行受到的约束条件，而**行为**表示当事件发生、且条件满足的情况下活动实例状态的转变。

为了定义过程实例的开始和结束状态、以及业务流程中常见的 6 种业务逻辑^[6]，WTSM 定义了逻辑节点，包括开始节点、结束节点、或分支、和或汇合节点。并引入如下约定：对于某以一节点（或汇合节点除外），当它所有的输入连接弧都发生转移时，该节点才可被执行；对于某一节点（或分支节点除外），当它执行完毕后，该节点的所有连接弧都可以发生转移。

1.2 资源模型

全局资源模型定义制造过程中可供使用的资源，包括资源实体和资源池。资源实体对应于真实存在的加工设备和物料等，而资源池是从资源功能的角度出发对资源实体的一个分类，同一个资源池中的资源实体都具有相同的某种功能，它们在执行某一活动时完全等价，可以互相替换，以描述并行机问题。资源实体、资源池、和活动之间的映射关系如图 2 所示。

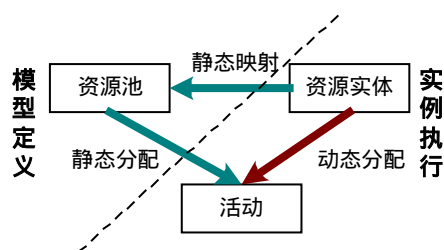


图 2 资源映射

1.3 事务模型和工作流控制数据

事务模型定义任务订单的基本属性。包括：订单到达时间、产品需求种类、产品需求数量、产品完工期限和订单的优先级等。

工作流控制数据确定过程实例状态转换的条件，并选择下一个将执行的活动，实现活动实例的导航。

1.4 与 Petri 网模型比较

与 Petri 网模型相比, WTSM 具有以下几个特点, 如表 1 所示。

表 1 WTSM 与 Petri 网建模方法的比较

	WTSM	Petri 网模型
建模方式	基于活动建模	基于系统状态建模
模型规模	较小	较大, 往往随系统规模的增长呈指数增长
建模复杂程度	较简单	较复杂
资源约束描述能力	有独立的资源模型, 可以方便的描述资源约束	能描述较复杂的资源约束, 但会导致模型规模的增长
动态行为描述能力	采用 ECA 规则定义系统的动态行为	定义事件触发规则, Token 随事件的触发在模型中流动
调度目标	多目标调度	以时间参数为目标的调度

2 调度系统 WTSS

为了在调度模型 WTSM 的基础上求解调度方案, 本文提出了以模型仿真引擎为核心、以资源分配器和活动调度器为辅助单元的调度系统 WTSS (Workflow Technology based Scheduling System)。由于 WTSM 是基于 workflow 技术的模型, 因此仿真引擎的结构与 workflow 仿真引擎^[3]的一致, 它的功能是对模型进行实例化, (包括过程实例、资源实例、和事务实例), 当对过程中的活动进行实例化时, 仿真引擎将动态确定活动的动态属性值。同一时刻, 系统中可能有不同过程的多个实例在运行, 多个过程实例之间的关系表现为对资源的竞争使用。然后仿真引擎读取和解释模型中的 ECA 规则来实现活动实例状态的转变, 并向资源分配器和活动调度器发出请求和相应反馈信息, 从而模拟了动态调度过程。为了保证调度的正确性, 仿真引擎引入活动导航机制, 即只有当一个活动执行完毕后, 其后续活动才可以被实例化, 并进入资源和活动调度器。

资源分配器和活动调度器采用基于规则的调度方法来保证调度速度。文[4]总结了 100 多种调度规则, 并根据计算规则时所用的信息来源将规则分为 9 个类别。这些规则可组合使用, 或者与一定的启发式规则相结合。与其他寻优算法相比, 基于规则的调度具有计算复杂度小、实时性好、简便易行等优点, 在实际的生产中得到的应用广泛^[5]。

由此可见, 仿真引擎是调度系统的运行支撑平台, 而资源分配器和活动调度器则提供了调度系统与调度算法的接口。这种设计使我们可以应用已有的规则调度的研究成果。同时, 该调度系统也可以容易地与 workflow 管理系统集成, 通过调度与过程控制的结合来有效的提高

实际调度结构, 如图 3 所示。

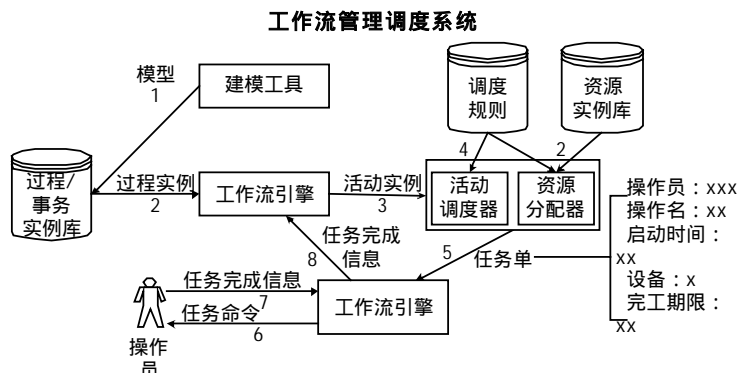


图 3 工作流调度管理系统的体系结构

3 举例

根据我们提出全新的调度思想, 我们设计并开发了 WTSS 原型系统, 并将 WTSS 的调度结果与基于 Petri 网的调度结果作比较。

设工件 J_1, J_2, J_3, J_4 , 工件的操作所需机器和操作时间如表 2 所示。

表 2 工件需求

操作	J_1	J_2	J_3	J_4
1	($M_1, 2$)	($M_3, 4$)	($M_1, 3$)	($M_2, 3$)
2	($M_2, 3$)	($M_1, 2$)	($M_3, 5$)	($M_3, 4$)
3	($M_3, 4$)	($M_2, 2$)	($M_2, 3$)	($M_1, 3$)

采用 WTSS 原型系统建模工具建立 WTSM 模型, 如图 4 和 5 所示,



图 4 过程模型界面



图 5 资源模型界面

我们选取 SPT 规则(最短处理时间)和 EDD 规则(最早完工期限)分别进行仿真, 并与基于 Petri 网的 BF 算法和 BT 算法^[5]进行比较, 如表 3 所示。

表 3 Petri 网方法与 workflow 方法的调度结果比较

任务规模				Petri 方法				workflow 方法			
				MakeSpan		CPU time		MakeSpan		CPUTime	
J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	BF	BT	BF	BT	SPT	EDD	SPT	EDD
1	1	1	1	17	21	<1	<1	20	17	<1	<1
2	2	1	1	25	33	<1	<1	25	29	<1	<1
5	5	2	2	58	105	14	<1	58	60	<1	<1
8	8	4	4	100	198	112	<1	100	104	<1	<1
10	10	6	6	134	274	720	<1	134	134	<1	<1

BF 表启发式 Best-First 策略; BT 表可控的 Back-Tracking 策略;

SPT 表最短处理时间; EDD 表最早完工期限;

仿真结果表明, 当选择合适的调度算法时, WTSS 能获得令人满意的调度效果, 而 WTSM 的模型规模远远小于 Petri 网, 且模型更加直观易懂。因此, 基于 workflow 技术的调度方法是可行的和有效的, 它适合于大规模生产系统的建模和调度。

4 结论

采用 workflow 建模技术建立的调度模型 WTSM 及其调度系统具有以下几个显著的优点: 模型采用基于活动的方式建立, 模型直观易懂, 模型规模小; 具有独立的资源模型, 增强模型的柔性和对资源的描述能力; 调度系统可集成不同的调度规则, 使系统适应性好; 可与 workflow 管理系统集成, 提高调度的实际效果。因此, 调度模型 WTSM 及相应的调度系统 WTSS 为解决调度问题提供了一条新的有效途径。

A New Scheduling Method based on Workflow Management Technology

Lin Huiping, Fan Yushun, Wu Cheng

Dept. Of Automation, Tsinghua University, Beijing, 00084

Abstract: When traditional scheduling model is applied to describe complex manufacturing process, difficulties such as large scale and poor readability are met. In order to solve this problem, a Workflow Technology-based Scheduling Model (WTSM) is proposed here. Activity-based modeling and Event-Condition-Action (ECA) rules embedded in definition of activities are used to reduce the model scale as well as improve the dynamic description capability. Moreover, independent resource model is adopted for better definition and allocation of resource. Then scheduling system Workflow Technology based Scheduling System (WTSS) is built by using workflow operation technology. Simulation engine, which is integrated with scheduler, runs the

model instance to generate scheduling scheme. Example shows that the method is advanced in small model scale and short scheduling time.

Key Words: Workflow Management Technology; Scheduling; Rule-based Scheduling

参考文献 (Reference)

- [1] Zhou, Mengchu, Modeling, simulation, and control of flexible manufacturing systems: a Petri net approach [M], Singapore; River Edge, N. J. : World Scientific, c1999.
- [2] 范玉顺, 罗海滨, 林慧苹等. workflow管理技术基础, 清华大学出版社, 施普林格出版社, 2001年4月。
Fan Y. S, Luo H. B. Lin H. P. Fundamentals of workflow management technology [M]. Beijing: TUP, Springer, 2001.4.
- [3] 林慧苹, 范玉顺, 吴澄. 支持企业经营过程重组的工作流仿真技术研究 [J]. 信息与控制, 2001,(1): 11-15.
Lin H. P., Fan Y. S., Wu C. The Research of workflow simulation technology to support enterprise business process reengineering [J]. 2001(1): 11-15.
- [4] Panwalkar, etc., A Survey of Scheduling Rules[J], Operation Research, 1977, 25(1):45~61.
- [5] 刑文训, 谢金星, 现代优化计算方法, 清华大学出版社, 1999.8.
Xing W. X, Xie J. X. Modern Optimization Algorithm [M]. Beijing, TUP, 1999.8.
- [6] Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model[R]. WfMC TC00-1003, 1994.