在线仿真系统在生产计划与调度中的应用

杨建军 寇 益

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：研究了在线仿真系统的系统数据模型设计、软件应用框架设计及系统的集成方式等关键技术.用面向对象的方法建立了仿真系统，通过与生产系统进行在线数据交互解决了系统初始化问题，探讨了如何应用在线仿真系统对车间生产计划进行验证、对实时生产计划的健壮性进行评估以及再调度的方法.仿真实验证明这种方式可以为企业进行长期及中短期生产计划决策提供可靠的依据.

关 键 词：仿真；调度；计划；模型

中图分类号：TP 391.9

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)02-0215-04

Application of online simulation in production planning and scheduling

Yang Jianjun Kou Yi

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Several critical technologies of planning and scheduling including data modal, application frame of online simulation system and system integration were studied. The application of the object-oriented simulation system was proposed and implemented to solve the problems of system initialization and stochastic settings through online data exchange. It was discussed how to valid a shop floor production plan using online simulation, how to examine the robustness of a real-time production plan and how to readjust this plan. With the help of these results, reliable reference can be supplied for making decision on production planning in every period.

Key words: simulation; scheduling; planning; model

生产系统是一个复杂的动态系统，传统的计划调度方法已经不能满足车间管理和制造环境变化的需求.研究复杂系统的方法之一就是对系统建立仿真模型，详细地采集和处理制造过程中的细节，并用仿真实验进行“假设分析”，通过比较不同参数下的仿真结果来选择满意结局，降低决策错误带来的风险[1].很多研究成果证明，离散事件仿真方法是获得良好调度结果的有效工具.但大部分仿真模型都建立在静态和确定的环境下，没有考虑动态性和不确定性.仿真模型需要真实映射实际系统的生产数据与各种变化，并能快速建模和决策[2-3].面向对象建模技术及 Web Services 技术可以解决模型映射与集成的问题[4]，但仿真系统数据模型的设计及仿真系统运行的控制问题仍需要进一步研究.

本文针对仿真系统与制造系统的数据交互问题建立了计划调度数据模型，并通过系统应用框架设计研究了在线仿真系统中需要解决的问题，给出了系统集成的方式.通过面向对象的仿真系统，研究了短期生产计划健壮性的验证问题，最后通过 eM-Plant 仿真软件给出了应用实例.

1 在线仿真系统应用框架

系统仿真的基本定义是：设计一个实际系统的模型，对它进行实验，以便理解及评价系统的各种运行策略.其基础是建立在系统的模型上，并以计算机为工具对系统进行研究的一种方法.在线仿真表示系统模型是根据实际系统的动态状况而

收稿日期：2008-07-20

作者简介：杨建军(1960－)，男，江西抚州人，教授，jjyang@buaa.edu.cn.

建立的，随着实际系统的变化，仿真模型也随之发生变化.

应用在线仿真系统进行生产计划与调度可以分为静态调度和动态调度两个方面.

静态调度方面，可以通过离线仿真实验确定能够实现制造系统良好生产性能的生产策略和调度规则，这些策略和规则集合是实行动态计划的基础. 根据系统的静态数据，如资源基本配置、生产大纲、零件工艺等，仿真系统可以对生产计划大纲进行验证，对工艺方案和设备布局优化以及对可能存在的能力与需求的矛盾进行预判.

动态调度则是在进行排产时考虑生产计划在实施过程中遇到的各种扰动因素，包括机床失效，临时插入新任务，工艺临时变更等，这些事件是随时的、动态的. 在线仿真系统需要根据实时交互的数据，对当前的生产计划进行评估与分析，并实施动态调度，目标是尽量减少原有生产准备的变更.

将在线仿真系统应用于生产调度中进行动态调度需要解决4个主要问题：

1) 建立仿真系统所需要的数据模型. 数据模型是在线仿真系统的基础，生产计划与调度涉及到车间生产的各种复杂数据，数据的完整性和通用性决定了生产管理系统与仿真系统的集成性.

2) 系统集成方式. 在线仿真系统作为制造执行系统和ERP(Enterprise Resource Planning)系统的优化插件，需要与这些信息系统进行在线数据交互，系统无缝集成是系统应用的基础.

3) 建立仿真模型的方法. 仿真模型需要随时与制造系统的变化保持同步，为了及时响应数据的动态变化，仿真系统必须具备快速调整模型的能力.

4) 系统评估与再调度. 用在线仿真系统评估生产计划的可行性、健壮性等，需要解决仿真系统的初始化问题和随机性设置问题. 通过良好的调度算法和仿真实验设计，获得生产计划的评估数据. 如果实时评估状态已经不能满足生产计划的完成需要，就应对计划进行再调度.

图1所示为仿真系统在生产计划调度中的应用框架. 从图中可以看出，面向对象的仿真系统连同基于统一调度数据模型的数据接口一起被作为优化调度器来与企业数字化制造环境进行集成. 统一调度数据模型是包含了生产计划调度相关数据的规范化模型，可以应用于不同的生产管理系统. 数据接口是通过 Web Services 建立的服务，不同的优化组件都可以通过服务和生产管理系统进行交互，包括 ERP 系统，MES(Manufacturing Execution System)系统等. 在 ERP 层面，仿真系统的主要作用是对宏观生产计划进行验证，而在制造执行系统层面，则对计划的实时执行状态进行评估，根据评估结果决定是否对计划进行再调度.

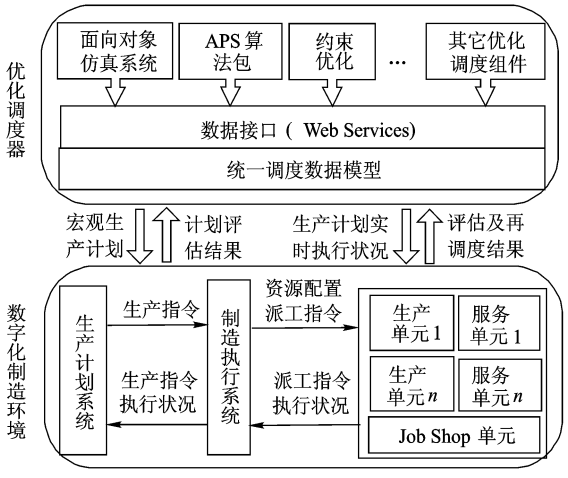

图1 仿真系统在生产计划调度中的应用框架

2 计划调度数据模型

计划调度数据模型是仿真系统建模以及建立系统集成接口的基础. 图2所示为数据模型顶层最抽象的类. 数据模型的定义用 UML(Unified Modeling Language)类图来表示，类之间的关系也沿用 UML 类图之间的关系来表达.

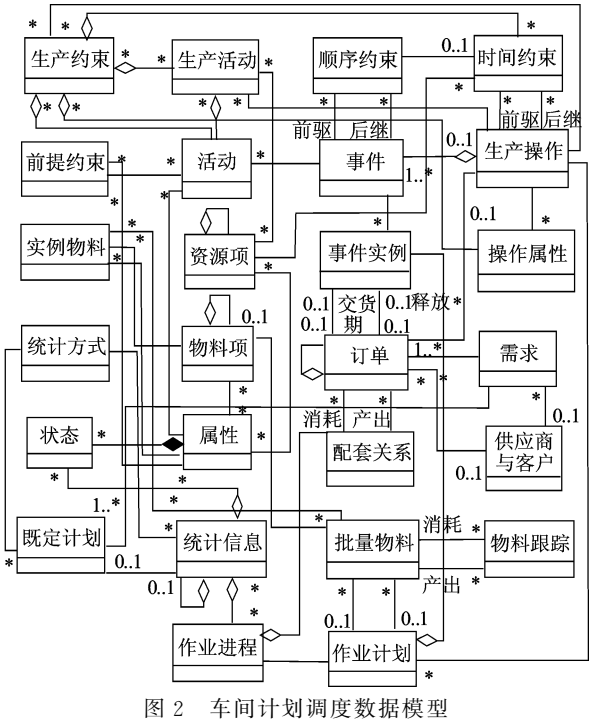

图2 车间计划调度数据模型

生产计划调度方面的主要信息交互数据内容如下：

1) 物料信息. 包括产品、原材料、在制品、半成品;

2) 资源信息. 包括设备、辅助资源、人力资源、工作站、工作单元、车间;

3) 订单信息. 包括正式订单和意向性需求订单、产品单、工序单、外购单、运输单等;

4) 生产操作信息. 包括生产准备、生产、设备维护、检验、运输、存储、设计、销售、采购;

5) 约束信息. 事件及活动发生的前提条件、时间约束及顺序约束;

6) 动态信息. 物料跟踪及作业进程跟踪;

7) 统计信息. 订单及作业计划的完成情况.

该数据模型围绕生产操作将制造中的相关信息进行定义,并用触发各种活动的事件将操作引发的各种信息关联起来. 模型不仅记录了制造过程中的静态信息,更通过生产约束与物料跟踪和作业进程,将计划调度结果和执行情况进行可追溯性记录.

3　仿真系统的开发

在线仿真系统作为优化决策系统时,其设计需遵循 5 个基本概念[5]:

1) 系统必须提供一个多层面的环境,可以在不同的时间由不同的用户从不同的视角对不同的对象进行操作;

2) 系统的逻辑活动是独立的,这样通过建模可以确认每个元素需要的细节;

3) 系统不仅要有良好的用户界面,更应该有详细的软件接口来进行模型开发、仿真输入、实验及输出分析等;

4) 系统模型应该是可重用的;

5) 系统对于建模者和最终用户都应具有柔性.

面向对象的建模方法可以满足上述基本要求,为生产设备、生产线、生产过程建立结构层次清晰的模型,对高度复杂的生产系统和控制策略进行仿真分析. 通过仿真模型可以评估不同生产线的生产控制策略,定义各种物料流的规则并检查这些规则对生产线性能的影响.

仿真系统的流程及控制模型如图 3 所示.

模型中的主要对象、对象主要属性和基本控制方法见表 1.

从图 3 和表 1 中可看出,模型中的对象包含了生产系统中的主要因素和属性,各控制点加载的方法不仅控制了对象的操作,也控制了仿真事件的进程. 由于对象具有可继承性和可重用性,因此可以通过生成对象实例来快速构建仿真模型.

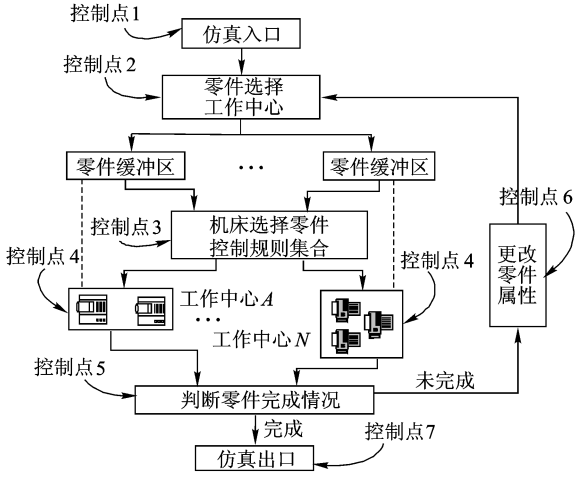

图 3　仿真流程及控制模型

表 1　仿真模型的对象、属性及方法

对象	基本属性	对象控制方法	控制点
零件	加工数量	投产	控制点 1
	投产日期	判断是否完成	控制点 5
	交货期	更改零件属性	控制点 6
	当前应加工工序	零件完成	控制点 7
	工序所用资源		
	工序所用生产准备时间		
	工序所用单件加工时间		
机床	工作日历	日历设置	控制点 4
	生产准备时间	工作时间设置	
	单件加工时间	失效及暂停	
	失效	机床选择零件	控制点 3
缓冲区	队列长度	零件选择机床	控制点 2

4　系统集成

为了能实时获得生产管理系统中的生产计划调度数据以及车间生产状况数据,仿真系统需要与生产管理信息系统有良好的集成方式. 应用 Web Services 技术,实现 Web 应用服务器和用户的数据交换,应用程序可以用标准的方法把功能和数据“暴露”出来,供其他应用程序使用.

如图 4 所示,数据对象模型可以转化成 XML (eXtensible Markup Language)表达的消息,仿

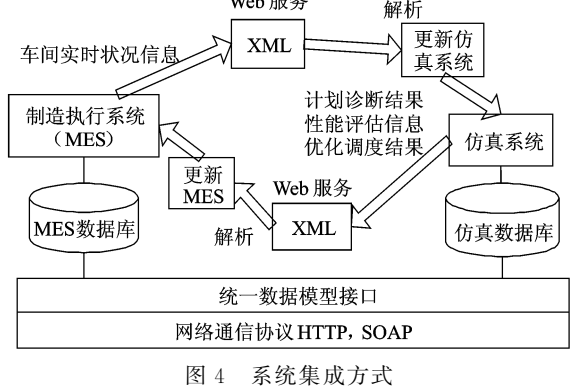

图 4　系统集成方式

真系统调用 Web 服务的数据，通过解析，用车间实时数据对仿真系统进行初始化. 仿真实验结束后，将系统评价结果及对生产计划的修正意见通过 Web 服务返回给车间生产管理系统. 主要的服务与操作见表 2.

表 2 Web 服务名与操作

服务名称	操作名称	说明
TaskService	getTask	获得任务信息
	getRoutine	获得零件的工艺信息
	getPlan	获得计划信息
	updatetask	更新任务信息
	addPlan	向 MES 系统返回仿真系统得到的工序作业计划
	updatePlan	更新工序作业计划
ResourceService	getResource	获得资源配置信息
	getCalendar	获得资源的工作日历
	getTools	获得刀具信息
	updatecalendar	更新资源日历
ControlService	getRule	获得生产策略信息
	updaterule	更新生产策略

其中任务信息包括要加工的零件代码、批次号、生产数量、计划开始时间、交货期等；计划信息为当前 MES 系统中执行的工序作业计划及执行状况；资源信息包括工作中心的划分、单元划分、机床类型及数量、机床采用的工作日历等；日历对象则详细描述了工作日历的工作和休息时间；生产策略信息是指生产中是否采取平行加工、是否考虑生产准备相似性等生产控制策略信息.

5 在线仿真系统的应用

有了统一调度数据模型和集成接口的支持，仿真系统可以实时与制造执行系统交互，对生产系统中正在执行的生产计划进行验证和评估.

图 5 所示为仿真环境实例. 该仿真软件应用 TECNOMATIX 公司的 Plant Simulation 平台开发，通过仿真控制器，用户与仿真系统进行交互，输入基础数据，调整仿真参数，查看仿真结果.

在线状态下，仿真系统根据获得的实时数据动态生成仿真模型. 每台机床资源都是一个独立的对象，可以集成机床类的各种属性，同时可以对每个机床对象加载不同的属性和控制策略.

通过设置资源的失效分布、工件的加工时间分布，生产准备时间分布等反应系统的随机性，仿真系统会在每一次更新模型时将生产过程中出现的临时任务、临时操作、临时的生产约束等扰动因素表达出来，以反映系统的动态性.

解决了初始化问题和随机性设置问题之后，仿真中采用 MES 中的生产计划作为约束，从系统当前时刻的状态下开始仿真，仿真结果显示了零件的完成时间、机床负荷、零件队列等信息. 将这些评估信息反馈给制造执行系统.

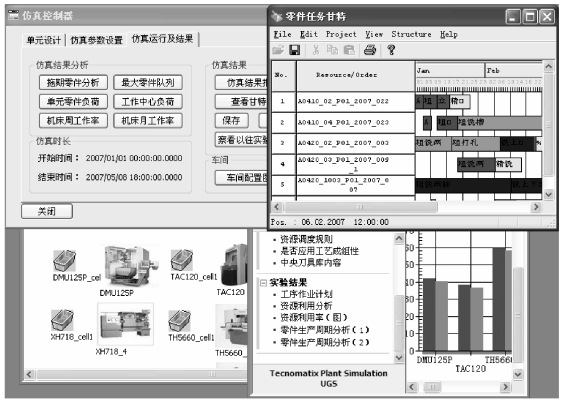

图 5 仿真系统实例

6 结束语

本文采用 UML 对计划调度系统建立了数据模型，定义了系统与外部交互的信息、接口及内部数据结构与协作关系，解决了在线仿真系统与生产系统的集成问题. 应用面向对象的建模方法开发了计划调度仿真模型，实验证明，该模型对车间生产计划验证、生产计划健壮性评估及生产计划的再调度起到了决策支持的作用.

参考文献（References）

[1] 王红卫. 建模与仿真[M]. 北京：科学出版社，2002
Wang Hongwei. Modeling and simulation [M]. Bejing: Science Press, 2002 (in Chinese)

[2] Erhan Kutanoglu, Ihsan Sabuncuoglu. Experimental investigation of iterative simulation-based scheduling in a dynamic and stochastic job shop [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2001, 20(4): 264－277

[3] Andr Hanisch, Thomas Schulze. Initialization of online simulation models [C]//Kuhl M E. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Piscataway NJ: IEEE, 2005: 1795－1803

[4] Zhang Jie, Gu Jian, Li Peigen, et al. Object-oriented modeling of control system for agile manufacturing cells [J]. Int J Production Economics, 1999, 62: 145－153

[5] Glenn R Drake, Jeffrey S Smith. Simulation system for real-time planning scheduling and control [C]//Simulation Conference Proceedings. Piscataway NJ: IEEE, 1996: 1083－1089