

·学科进展·

虚拟制造系统综述

周杰韩 吴波 杨叔子*

(华中理工大学机械科学与工程学院, 武汉 430074)

[摘要] 综述了虚拟制造系统的研究成果,提出了虚拟制造系统特征与层次结构,同时提出了虚拟制造操作环境的概念。

[关键词] 虚拟制造,虚拟制造操作环境,计算机仿真

引言

可以说,20世纪的制造业给人类社会带来了一场生产革命。主要表现为:(1)机械自动化代替了人的体力劳动;(2)以计算机为制造辅助工具的信息处理自动化正部分代替人的脑力劳动。这2次自动化的大发展为企业在市场经济的环境中赢得新产品开发的时间、质量、成本的竞争能力方面作出了巨大贡献。在取得这些辉煌成就的同时,制造业也开始注意到这样一些现象:(1)大量制造品被废弃,制造资源日趋枯竭,全球环境日益恶化;(2)商品生产特征呈现个性化、全球化、快速化、宜人化;(3)计算机辅助制造技术正进入集成制造技术研究的高级发展阶段;(4)信息技术突飞猛进,制造工程人员在制造需求的实现技术上往往举步无措。继制造业及学术界提出的并行工程、精益生产、企业重组、智能制造、敏捷制造等新的概念和方法之后,制造学术界又提出了虚拟制造、分布式网络制造等先进制造理念。其中虚拟制造被认为是未来制造战略而得到美国、日本等国家和地区的关注,并就虚拟制造的理论 and 实施方法开展了不同途径的研究和探索。

1 虚拟制造系统研究现状

早在1993年初,日本大阪大学的岩田一明(Kazuaki Iwata)博士及其领导的研究小组应用面向对象程序设计的方法与计算机三维建模技术开发了名为Virtual Works的软件工具^[1]。经过Virtual

Works系统开发的实践,岩田提出了由7功能模块组成的虚拟制造系统建模仿真体系结构,如图1。

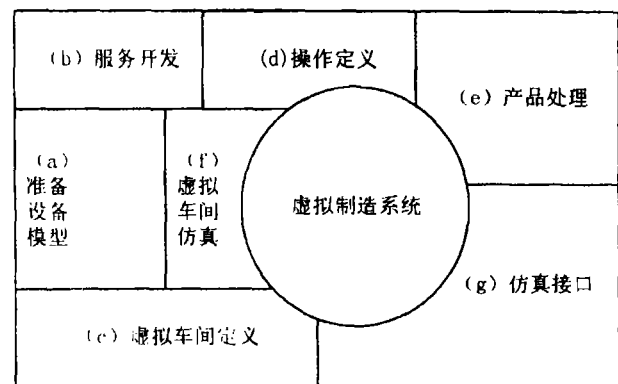


图1 岩田型虚拟制造系统的建模仿真结构

与此同时,岩田提出了虚拟制造仿真的新思想。其核心内容可总结为:如果将现实制造系统看成由真实物理系统(Real Physics System)和真实信息系统(Real Information System)组成,那么虚拟制造系统则可看成由虚拟物理系统(Virtual Physics System)和虚拟信息系统(Virtual Information System)组成。虚拟物理系统与真实物理系统具有几何结构与逻辑功能上的相似性,虚拟信息系统与真实信息系统在信息量上具有等价性。可以看出,这种观点强调更真实的制造系统仿真,即现实的物理制造系统与仿真(计算机模拟)的制造系统在行为上能够互动^[2-6]。

继虚拟制造仿真思想提出之后,在1997年岩田博士进一步研究指出:虚拟制造系统是一种支持全面制造活动的计算机辅助软件,能在制造工程人员

* 中国科学院院士,教育部智能制造技术实验室和国家自然科学基金重大项目,本文于2000年6月29日收到。

与信息技术之间起到沟通作用。他还描述了虚拟制造系统辅助功能的4个方面:(1)辅助企业经营与生产管理;(2)辅助产品生命周期内的开发;(3)辅助车间设计;(4)辅助产品加工。

与 Virtual Works 目标类似的系统还有美国 Deneb Robotics 公司开发的物流生产离散事件仿真器“QUEST”(Queueing Event Simulation Tool)^[7]。该系统在需求分析中认为:在客户化生产的市场环境下,基于传统静态统计分析的经验方法已不能很好地实现优化制造的目的,而应采用先进的三维图形技术实现加工设备配置的计算机化以及物流设备与制造者静态与动态行为的计算机化。

Virtual Works 与 QUEST 二者都是借助计算机图形技术和面向对象技术实现的新型制造仿真。一方面,面向对象技术简化了复杂的制造系统建模。另一方面,图形技术使传统仿真具有可视性。二者究其实质与仿真并没有十分明显的区别,因此可将上述虚拟制造称之为仿真型虚拟制造。

与仿真型虚拟制造类似的系统还有基于面向对象技术的新型柔性制造系统仿真器(FMSSIM)^[8]和 CIMS 并行智能实时动画仿真系统^[9]。

日本东京大学的木村文彦(Fumihiko Kimura)博士及其领导的研究小组经过十多年的努力,在分别完成了包括零件公差分析、形体特征与几何推理、切削加工过程等方面的建模研究工作后,逐渐认识到建立一种能将各独立模型纳入其中的框架的重要性。在分析制造业面临柔性、以人与环境为中心等新约束后,木村提出:只要能对制造相关问题建立计算机模型,就能在模型世界里模拟真实制造活动,以做到制造问题的事前发现与改正。他把这种新方法

称之为虚拟制造^[10,11]。

值得指出的是,木村博士首次描绘了虚拟制造建模层次结构。该结构从下到上分为模型结构层、虚拟制造模型层、目标系统层3个层次。

基于该层次结构,木村等人设计了一个由标准件组成的 CD 播放器机构实例。该实例首先根据输入输出运动关系描述,定义 CD 播放器机构特征。其次查询框架里的零件库,选择、定位组成机构的相关标准件。最后他还特别地指出:只要在层次结构中添加、完善众多模型,就能实现通用型虚拟制造环境。

从木村博士的研究可以看出,木村型虚拟制造的立脚点是基于功能模块集成与重组开发制造应用系统的思想。虽然木村仍然强调图形仿真的重要性,但只是将图形仿真作为虚拟制造环境下的一项重要功能。因此可以将木村型虚拟制造称之为集成重组型虚拟制造。

与集成重组型虚拟制造研究目标类似的还有日本广岛电气工学院的 Tamotsu Kamigak 等人研制的柔性制造系统面向对象可视化建模与仿真系统 VMSS^[12]。Tamotsu 等人认为:传统的 FMS 建模仿真方法编程工作量大、灵活性差。究其原因是由于仿真软件各功能模块之间耦合度太大。

Tamotsu 在设计 VMSS 时将柔性制造系统仿真活动与创作影视剧相类比。认为 VMSS 由3大模块(“作家”、“导演”、“剧院”)和一个数据库(“剧本”)组成。VMSS 执行分为3个阶段的工作。(1)柔性制造系统问题建模(“剧作家”编写“剧本”);(2)柔性制造系统仿真; (3)独立模块扩展。VMSS 系统结构如图 2。

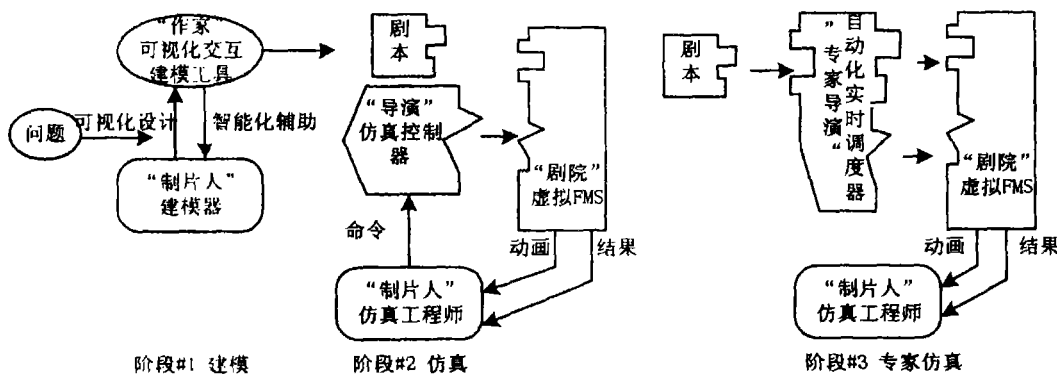


图2 VMSS系统结构

可以看出,与木村型虚拟制造略有区别的是, Tamotsu 特别强调他称之为“剧作家”、“导演”、“剧

院”模块的重组与插拔使用性,并注意到 Windows 窗口型用户界面在描述制造问题中所起的重要作用。

VMSS 仿真行为的“剧本”编写思想与韩国汉城国立大学的 Lee 于 1997 年提出的观点有点相似。即虚拟制造系统应是一种能集中描述物理制造系统的物理语义、逻辑语义和行为的计算机模型^[13]。

在欧美,虚拟制造则是作为对现有计算机辅助制造环节补充或完善的工具而提出的。其中,美国 Maryland 大学与 Lawrence Associates 公司合作的虚拟制造研究项目明确指出^[14]:现有计算机辅助设计技术虽然支持详细设计活动,但表达概念设计阶段的信息却很平乏。因此,成熟的虚拟制造系统被认为是能支持无缝集成概念设计分析、可制造性评价,并能提供周期时间、生产费用、设备清单、产品质量等准确估算的下一代先进制造系统。并预言虚拟制造在分布式制造上可能有重要作用。互连网信息交换协议和其他一些规范可能为虚拟制造提供集成计算机辅助制造工具的标准。

2 虚拟制造系统特征

结合计算机辅助制造技术面临的研究现状和信息业中的操作系统虚拟机、计算机图形、分布式对象标准等先进技术,综合分析上述有关虚拟制造系统的理论与应用研究,作者认为虚拟制造系统应具有下述方面的一些特征。下文的制造应用均指“计算机辅助制造应用”。即为了辅助制造某环节的工作,应用某信息技术而开发的一种软件。如为了辅助制造车间库存管理,应用数据库技术开发的设备数据库应用程序(信息管理系统)。

(1)支持制造应用自动化开发。应用信息业的众多技术,制造业已经历了分门别类的制造应用软件开发实践。每一次实践,制造工程开发人员都必须经历专业化的界面管理、文件管理等环节的艰难而又重复的开发过程。正当制造业在计算机辅助研究道路上艰难跋涉的同时,软件自动化技术正日趋成熟。在这种环境下,制造业已不再满足于简单、作坊式的制造应用生产模式,而是希望发展一种计算机辅助制造应用自动化生产工具。

(2)支持制造应用集成一体化开发。制造企业各部门在成功地应用独立开发的计算机辅助应用工具“孤岛”的同时,也注意到这些工具彼此之间信息难以顺利地上传、下达等问题。这主要是由于开发各“孤岛”时使用了不一致的工具所造成的。在信息技术日新月异发展的趋势下,制造业迫切地需要一种面向制造专业的集成一体化开发平台。在该平台下开发的制造应用,能够不加修改地互相集成。

(3)支持制造应用社会化开发。经历了几十年的制造应用开发实践,制造业已积累了大量的、具有专业通用性的函数库、功能模块等。而且,在全球范围内,不同专业之间,也积累了大量可供制造专业直接利用的规范化模块等。在这种环境下,制造业再进行同一类型模块的开发已纯属浪费。因此,如何充分利用别人的、旧有的工作,发展制造应用社会化开发正成为制造业面临的新挑战。

(4)支持高级制造仿真。基于统计方法学的制造系统仿真工具能够有效地辅助制造工程人员进行系统性能分析、优化设计等工作。基于帧播放的动画仿真工具能够辅助制造工程人员进行系统逻辑行为分析等工作。但是,随着虚拟现实技术的崛起,制造业开始追求能更真实仿真制造系统的工具。这不仅表现在更逼真的制造系统静态仿真,而且也要求更接近现实的制造系统行为仿真。因此,如何充分应用信息技术中的高级图形、虚拟机等技术开发制造系统高级仿真工具正成为制造业面临的新挑战。

(5)制造专业化操作环境。紧跟信息技术步伐发展先进制造技术已成为制造业快速发展的共识。尽管制造专业人员在应用信息技术方面付出了巨大的努力,但是面对如此迅速发展的信息技术,他们在制造需求与实现技术之间往往感到迷茫。他们迫切地希望有一种能将制造问题描述成可信息处理的专业化操作环境。因此,建立符合制造专业使用习惯的信息处理平台将成为制造业面临的又一新挑战。

3 虚拟制造系统层次结构

支持上述 5 大特征的虚拟制造系统层次结构可描述如图 3。

图中“专用工具”是指专用于某类应用开发的工具,如 WITNESS、SIMAN 专用于仿真类应用,Power-Builder 专用于数据库应用等。“专业工具”是指专用于某类制造专业应用开发的工具,如 AUTOCAD 专用于设计类应用,CAM 专用于加工仿真类应用等。“集成化专业工具”是指支持制造专业领域各类应用的工具集。

图 3 的通用操作环境层对应于计算机辅助制造应用开发的初级阶段。该层由通用型编译器和操作系统组成。制造应用的输入输出接口、各种复杂处理功能(数据操作、图形操作等)全部由程序语言来描述实现。对于制造专业人员来说,开发符合软件工程标准的应用无疑是十分困难的。

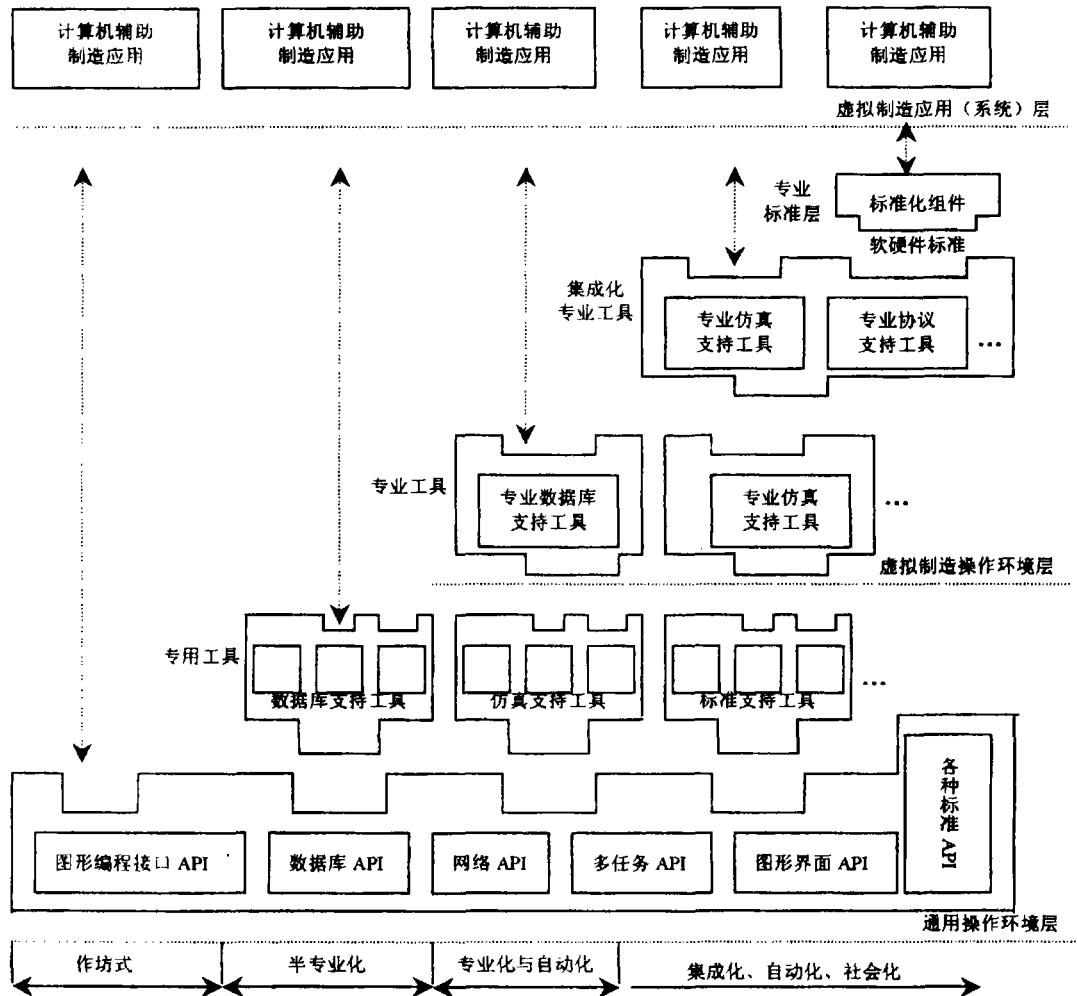


图3 虚拟制造系统的层次结构

专用工具层对应于制造应用半专业化开发阶段。该层扩展了基础层的某些特殊功能,具有某类应用开发的特长。在此基础上开发制造应用相对容易,但不同类型的制造应用相互难以过渡。而且由于专用工具的通用性,开发人员仍需要有较高的计算机专业知识。

虚拟制造操作环境层分为专业工具层、集成化专业工具层、专业标准层。其中专业工具层对应于制造应用专业化与自动化开发阶段。该层进一步扩展了专用工具层的功能,将适应各工程专业的通用型模块封装成符合制造专业人员使用习惯的用户接口、编程接口。这种工具具有专业专用性,而且易于制造工程人员掌握。但由于其专用性太强,同样有专用工具难以集成的缺点。

集成化专业工具层、专业标准层对应于制造应用集成化、自动化、社会化开发阶段。该层不仅是各类专业工具的并集,而且具有统一的数据交换标准。

由此可实现各类专业应用开发的一体化支持,做到应用之间的无缝集成。又由于该层提供互联网协议、分布式标准、数控标准等各类软硬件标准支持,可将制造应用开发的范围扩展到全球,制造应用开发的深度上升到虚、实结合的理想境界。

4 虚拟制造操作环境

虚拟制造系统的完整涵义应该包括图3中的3个层次:虚拟制造应用(系统)层、虚拟制造操作环境层和通用信息技术支撑层,并将具有上述层次结构的虚拟制造系统称之为虚拟制造操作环境。

所谓虚拟制造操作环境是一种支持各类制造应用开发的软件环境。环境具有专业性、通用性、易操作性、开放性、高级制造仿真等特征。制造应用包括生产管理系统的各个环节,主要是辅助制造专业人员快速学习、决策和控制。

“软件环境”是指支撑制造应用软件开发所需的

各种工具集合,包括加工过程高级建模与仿真工具、信息管理工具、协调通信工具、数据分析工具等。

“专业性”是指虚拟制造操作环境是面向制造工程领域应用开发的支撑环境。

“通用性”是指虚拟制造操作环境具有适合各层次制造工程人员开发制造应用的支持工具。

“易操作性”是指虚拟制造操作环境具有符合制造专业人员使用习惯的人机界面。

“开放性”是指虚拟制造操作环境具有集成标准组件进行社会化制造应用开发的特征。

“高级制造仿真”是指虚拟制造操作环境支持物理制造系统的静态和动态行为更高级的建模与仿真,仿真的虚(计算机模拟)、实(物理)制造设备具有互动性。

“学习”是指学习制造应用环节的功能逻辑。

“决策和控制”是指在多方案中进行的决策和控制。

参 考 文 献

- [1] Masahiko Onosato, Kazuaki Iwata. Development of a Virtual manufacturing System by Integrating Product Models and Factory Models. *Annals of the CIRP*, 1993, **42**(1):475—478.
- [2] Kazuaki Iwata, Masahiko Onosats et al. Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities. *Annals of the CIRP*, 1997, **46**(1):335—338.
- [3] Kazuaki Iwata, Masahiko Onosats et al. A Modelling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing Systems. *Annals of the CIRP*, 1995, **44**(1):339—402.
- [4] 尾崎優,小野里雅彦,岩田一明.開放型假想シュップロアの開發(第2報)ー并列分散シミュレーションシステムの實裝.精密工學會誌.1998, **63**(11):1 613—1617.
- [5] 尾崎優,小野里雅彦,岩田一明.開放型假想シュップロアの開發(第1報)ー假想シュップロアのための開放型システムアーキテクチャの提案.精密工學會誌, 1998, **64**(9):1 309—1 313.
- [6] 岩田一明,小野里雅彦.生産システムの新潮流.精密工學會誌, 1996, **62**(1):13—18.
- [7] 大場茂.物流、生産シミュレータ「QUEST」情報處理, 1997, **38**(4):317—323.
- [8] 李小宁,张汉民.基于0-0的新型柔性制造系统仿真器的研究.系统仿真学报, 1997, **9**(2):116—122.
- [9] 胡峻,姚宇明等.CIMS并行智有实时动画仿真.系统仿真学报, 1994, **6**(2):9—12.
- [10] Fumihiko Kimura. Product and Process Modelling as a Kernal for Virtual Manufacturing Environment. *Annals of the CIRP*, 1993, **42**(1):147—150.
- [11] Krause F L, Fumihiko Kimura et al. Product Modelling. *Annals of the CIRP*, 1993, **42**(2):695—705.
- [12] Tamotsu Kamigak, Nobuto Nakamura. An Object-Oriented Visual Model-Building and Simulation System for FMS Control. *Simulation*, 1996, **67**(6):375—385.
- [13] Lee K L, Noh S D. Virtual Manufacturing System-a Test-Bed of Engineering Activities. *Annals of the CIRP*, 1997, **46**(1):347—350.
- [14] <http://wais.isr.umd.edu/Labs>. Contribution to Virtual Manufacturing Background Research, 1995.

OVERVIEW OF VIRTUAL MANUFACTURING SYSTEM(VMS)

Zhou Jiehan Wu Bo Yang Shuzi

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The achievement of VMS is summarized. Virtual monufacturing operation environment, characteristics and hierarchy of VMS are introduced.

Key words virtual manufacturing, virtual manufacturing operation environment, computer simulation