

文章编号 1000-5013(2005)02-0187-04

# Internet 的产品快速原型制造过程建模

黄 彬 高诚辉

(福州大学机械工程及自动化学院, 福建 福州 350002)

**摘要** 过程建模是过程管理和集成的基础. 在分析基于 Internet 的产品快速原型制造过程的基础上, 分别利用 IDEF3 和 Petri 网方法建立其过程模型. 描述多因素相互间的动态行为, 同时解决各环节之间的并发性、异步性、分布性等问题. 分析并比较 IDEF3 和 Petri 网方法的优缺点, 提出以 Petri 网为主、IDEF3 为辅的过程建模策略.

**关键词** 过程建模, IDEF3, Petri 网

**中图分类号** TP 391.7; TH 164

**文献标识码** A

快速原型制造(Rapid Prototyping Manufacturing, 简称 RPM)技术是 20 世纪 80 年代后期发展起来的一种高新制造技术. 它综合利用 CAD 技术、数控技术、材料科学、机械工程、电子技术及激光加工技术, 以实现从零件设计到三维实体原型制造一体化的系统集成技术. RPM 技术采用基于离散/堆积的工艺方法, 使 CAD 几何模型与制造过程模型共享一个集成环境, 能直接从 CAD 的数据模型生成三维的实体产品模型. 其原理是通过对三维 CAD 模型进行分层切片处理, 得到多层的二维截面轮廓. 然后, 用激光束或其它方法切割、固化或烧结某种状态的材料, 得到一层层的产品截面并逐层堆积成三维实体零件<sup>[1]</sup>. 目前, 这一高新技术在工业发达国家, 已被广泛应用于航空航天、汽车、机械、电子、医疗等许多领域, 成为企业提高自身竞争力的有力手段. 当前, 经济全球化和信息革命的浪潮正席卷世界, 深刻地影响着人类社会的经济、科技、人民生活等方方面面. 这种影响也导致制造业及其制造技术的重大变革<sup>[2]</sup>, 这其中, 以因特网为代表的网络技术是 21 世纪对制造业影响最大的技术之一<sup>[3]</sup>. 将快速原型制造技术与因特网技术相结合, 开展基于 Internet 的产品快速原型远程制造将成为未来制造业的主要形式之一. 开展基于 Internet 网的产品快速原型制造应用, 首先涉及到对其一系列运行过程的管理和集成. 因此, 建立起过程模型, 对其运行过程进行规范化, 以明确各过程的相关者以及各过程之间的关系和运行中的约束条件. 这是正确描述、分析以及顺利实施基于 Internet 的产品快速原型制造的前提和基础. 本研究结合我们开发某个基于 Internet 的产品快速原型制造系统, 分别利用 IDEF3 和 Petri 网方法建立其过程模型. 提出以 Petri 网为主、IDEF3 为辅的过程建模策略.

## 1 制造过程

基于 Internet 的产品快速原型制造过程, 是指完成某一目标(或任务)而进行的一系列逻辑相关的活动的集合<sup>[4]</sup>. 一个具体的过程通常有四类相关的联系, 即过程的输入、输出、资源和控制. “输入”是这个活动要“用掉”、“消耗掉”或“变换成”输出的东西, 它可以是具体的事物、抽象的数据或其它用名词表示的东西. “输出”是这个活动的结果(产品、服务或信息). “控制”是活动所受的约束或进行变化的条件、环境. “资源”是活动赖以进行的基础或支撑条件, 可以是执行活动的人或设备.

为了对过程进行描述分析, 必须对过程进行建模. 过程建模不是全面的系统建模, 并不需要涵盖系

收稿日期 2004-07-29

作者简介 黄 彬(1971-), 男, 讲师, 主要从事先进制造技术和企业信息化的研究. E-mail: binhuang@fzu.edu.cn

基金项目 福建省重大科技课题基金资助项目(2002H094)

统的所有信息. 它主要是对一些重点关注的过程, 以不同的抽象程度进行清晰的、规范化的描述. 理想的过程模型至少应满足下列 5 点: (1) 能表示各活动的先后、并发、同步、制约关系; (2) 对过程的输入、输出信息进行有效的管理; (3) 能表示所有活动的组织方式; (4) 易于被所有项目人员理解; (5) 具有很强的灵活性.

基于 Internet 的产品快速原型制造过程是指企业通过 Internet 网络, 实现与客户的交互以完成产品快速原型制造的一系列相关的活动或步骤的序列. 一般来说, 这个过程主要包括了订单接收、订单审核、流程配置、协商报价与合同、详细设计、原型制作等阶段. 订单接收指业务人员接收客户通过网络下的项目订单. 订单审核指负责人员通过网络, 可以审核客户所下订单的有效性. 只有有效订单才能进入后面的工作流程, 否则否决此订单, 并将订单信息存储于数据库中, 以备有关部门调用. 流程配置指专业技术人员针对客户需求, 对某个特定的产品快速原型制造项目进行的具体流程的设计与构建. 从而, 决定每一个工作步骤的内容、人员、时间等, 确定整个项目的完成过程. 在这里, 项目的流程一经确定便不能修改. 在项目流程确定的基础上, 产生初始报价, 进而通过协商报价与合同过程与客户进行报价的协商, 从而确定最终报价, 并签定项目合同. 详细设计又可具体分解为计算机辅助设计(CAD)、有限元分析与优化(CAE)、铸造分析(ZCAE)、面向装配的设计(DFA)、面向制造的设计(DFM)和评审. 其中, CAD 工作完成后, 其设计结果将同时发送给 CAE, ZCAE, DFA 和 DFM 部门, 以保证 CAE, ZCAE, DFA 和 DFM 工作可以并行进行.

2 过程建模

目前较常见的基于 Internet 的产品快速原型制造过程建模方法, 主要有 IDEF3 方法、Petri 网方法、ARIS 方法和 RAD 方法. 本研究采用 IDEF3 和 Petri 网方法, 对基于 Internet 的产品快速原型制造过程进行建模. 这两种方法都是当前国际上比较通用的过程建模方法.

2.1 IDEF3 建模

IDEF3 方法是 IDEF 家族中的一员, 用于表示一个系统是如何进行工作的. 它通过描述领域专家对一个场景或一个过程的了解来表达某一过程, 这是一种场景驱动的过程流建模方法. IDEF3 用 PFN (Process Flow Network), 作为获得、管理和显示以过程为中心的知识的主要工具<sup>[5]</sup>, 结果为过程流图. 此外, 为了便于组织场景的描述, IDEF3 方法还可用以对象为中心的视图即 OSTN (Object State Transition Network Diagram) 图, 以表示一个对象在多种状态间的演进过程. 图 1 为建立的基于 Internet 的产品快速原型制造 IDEF3 的过程流图, 其中每一个带有编号的小盒子, 分别代表每一个动作、过程等事

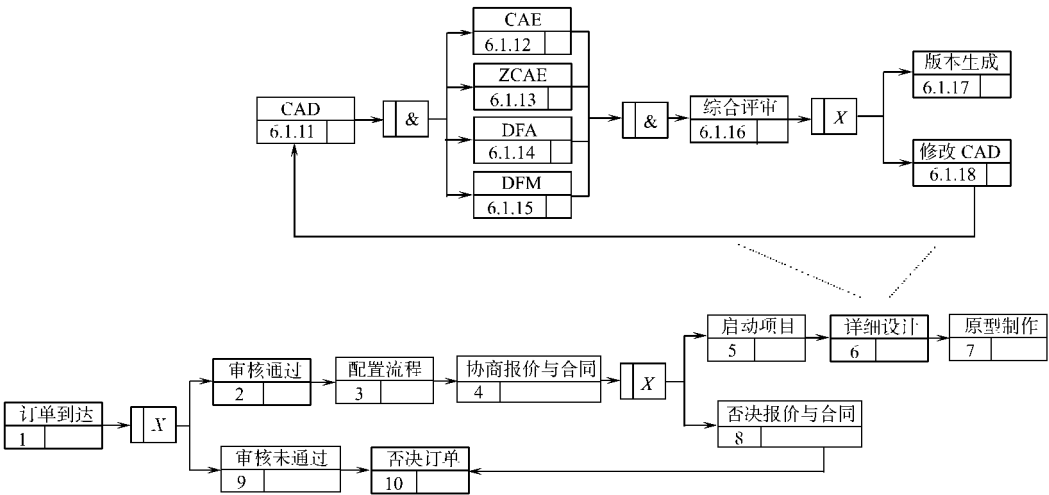


图 1 基于 Internet 的产品快速原型制造 IDEF3 过程模型

件的类型. 该事件称为 UOB (Unit of Behavior). 连接盒子的箭头称为“联接” (Link), 表示过程之间的先后关系, 或称为约束. 带 ‘X’ 或 ‘&’ 的小盒子表示一个“交汇点” (Junction). 交汇点描述过程的“流逻辑” (Flow Logic), 也就是与 (&)、或 (O)、异或 (X) 等情况. 交汇点的盒子, 可以表示多个过程流的汇总 (扇

入)或分发(扇出)。

2.2 Petri 网建模

Petri 网是联邦德国的 Carl Adam Petri 教授,于 1962 年首次提出的一种网络理论<sup>[6]</sup>。它是一种图形化的建模工具,对描述和分析并发现象有它独到的优越之处。Petri 网有着完整的理论体系,这使得其分析方法和技术既支持静态的结构分析,又支持动态的行为分析。根据 Petri 网理论,给出用以描述基于 Internet 的产品快速原型制造过程的 Petri 网系统为

$$PN = \{S, T, F, I, O, M_0\}.$$

上式  $S$  为  $PN$  的库所集,  $s \in S$  表示过程流中某项任务或信息的开始或结束;  $T$  为  $PN$  的变迁集,  $t \in T$  表示过程流中某项任务的执行或信息的处理;  $F$  为库所和变迁之间的流关系(Flow Relation),  $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ ;  $I/O$  对应于每一个变迁的输入/输出的库所集;  $M_0$  为系统的初始标识。每个库所代表存放的一类资源,包括原料、产品、人员、工具、设备、数据和信息等,通常用圆圈表示,其中的黑点表示该资源的数量。这种黑点叫做托肯(Token),变迁则代表资源消耗、使用和产生的一种变化,用矩形方框(□)或一短杠(┃)表示。标识  $M = \{M(S_1), M(S_2), M(S_3), \dots\}$  代表建模系统的某一个状态,即托肯在一系列库所的分配情况。系统的最初标识为  $M_0$ ,当系统状态发生改变(变迁发生)时,将标识  $M$  改变为后继(Successor)标识  $M'$ 。对任一变迁  $t \in T$ ,变迁  $t$  在  $M$  下可以被激活(点火)的条件是对所有  $s \in I(t)$ ,有  $M(s) \geq 1$ ,记为  $M[t]$ 。一旦  $t$  发生,指向  $t$  的每一个库所  $s$  都失去一个托肯,而由  $t$  指向的下一个库所  $s$  得到一个托肯,当前标识  $M$  相应改变为后继标识  $M'$ ,这一变迁  $t$  可以表示为  $M[t] M'$ 。图 2 是建立的基于 Internet 的产品快速原型制造的 Petri 网过程模型。 $s = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}, s_{17}, s_{18}, s_{19}, s_{20}, s_{21}\}$ ;  $t = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}\}$ ;  $M_0 = \{1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0\}$ 。图中库所和变迁的含义见表 1。整个过程从库所  $s_0$  (客户订单)开始,图中每一个变迁都表示一个子过程(限于篇幅,子过程的过程网

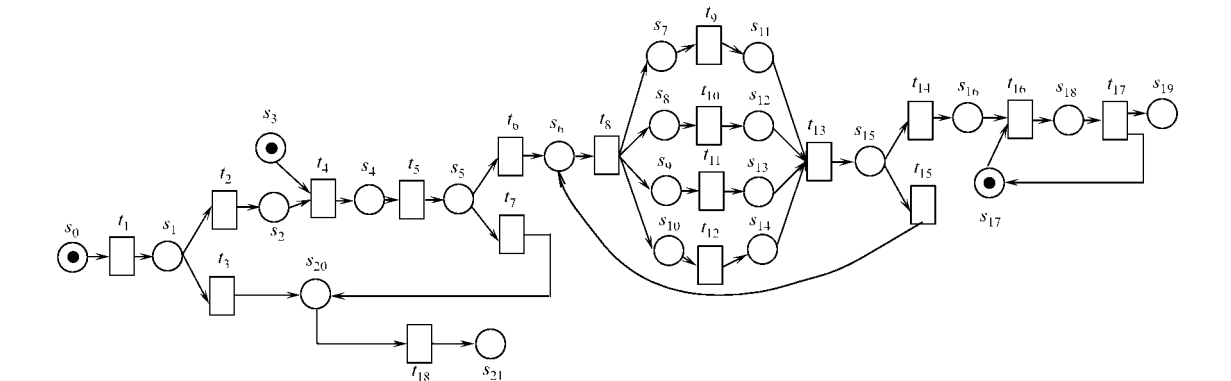


图 2 基于 Internet 的产品快速原型制造 Petri 网过程模型

表 1 图 2 中库所、变迁的基本含义

库所	基本含义	库所	基本含义	变迁	基本含义	变迁	基本含义
$s_0$	客户订单	$s_{13}$	DFA 结果	$t_1$	订单接收	$t_{11}$	DFA
$s_1$	给负责人审核	$s_{14}$	DFM 结果	$t_2$	负责人批准	$t_{12}$	DFM
$s_2$	审核通过的订单	$s_{15}$	综合评审结果	$t_3$	负责人不批准	$t_{13}$	综合评审
$s_3$	系统基础配置	$s_{16}$	评审通过的项目	$t_4$	配置流程	$t_{14}$	版本生成
$s_4$	已确定流程的项目	$s_{17}$	原型设备空闲	$t_5$	协商报价与合同	$t_{15}$	修改 CAD
$s_5$	报价与合同	$s_{18}$	实体零件	$t_6$	启动项目	$t_{16}$	原型制作
$s_6$	进入详细设计的项目	$s_{19}$	成品库	$t_7$	否决报价与合同	$t_{17}$	将成品从原型
$s_7 \sim s_{10}$	CAD 模型	$s_{20}$	被否决的订单	$t_8$	CAD	$t_{18}$	设备中取出订单存档
$s_{11}$	CAE 结果	$s_{21}$	订单信息存储	$t_9$	CAE		
$s_{12}$	ZCAE 结果		在数据库中	$t_{10}$	ZCAE		

模型在此未给出)。开始时,  $s_0$  有一个托肯,  $I(t_1) = (s_0)$ ,  $t_1$  处于可激活状态,  $O(t_1) = (s_1)$ ,  $s_1$  得到一个托肯。由于  $s_1$  只有一个托肯, 所以  $t_2, t_3$  中只有一个能被激活, 即产生资源冲突, 需要外界加以控制。当  $t_3$  被激活,  $s_{20}$  得到一个托肯,  $t_{18}$  被激活, 订单被否决, 过程终止。当  $t_2$  被激活,  $s_2$  得到一个托肯。由于  $s_3$  中已

含有托肯(系统的基础配置工作已完成),  $I(t_4) = (s_2, s_3)$ , 所以  $t_4$  将被激活. 进行该项目的流程配置, 如三维 CAD 实体零件.  $t_4$  激活后,  $s_2, s_3$  都失去一个托肯,  $O(t_4) = (s_4)$ ,  $s_4$  得到一个托肯,  $t_5$  处于可激活状态,  $s_5$  得到一个托肯. 由于  $s_5$  只有一个托肯, 所以  $t_6, t_7$  中只有一个能被激活. 激活  $t_7$ , 则托肯流到  $s_{20}$ , 订单被否决, 过程终止. 激活  $t_6$ , 则托肯流动到  $s_6$ , 进入到下一步的详细设计阶段.  $t_8$  被激活后,  $O(t_8) = (s_7, s_8, s_9, s_{10})$ , 于是托肯从  $s_6$  流到  $s_7, s_8, s_9, s_{10}$ , 即  $s_7 - s_{10}$  都得到一个托肯, 从而使得  $t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}$  都处于可激活状态, 可以并发执行. 执行  $t_9 - t_{12}$  后, 托肯分别流到  $s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}$ , 当  $s_{11} - s_{14}$  中都有一个托肯时,  $t_{13}$  处于可激活状态. 激活  $t_{13}$ ,  $s_{11} - s_{14}$  中的托肯全部消耗, 在  $s_{15}$  中产生一个托肯. 由于  $s_{15}$  中只有一个托肯, 所以  $t_{14}, t_{15}$  只有一个能被激活. 激活  $t_{15}$ , 托肯流到  $s_6$ , 重新进行 CAD; 激活  $t_{14}$ , 版本生成,  $s_{16}$  得到一个托肯. 由于  $s_{17}$  中已含有一个托肯, 即快速原型设备处于空闲状态, 所以  $t_{16}$  被激活, 开始进行原型制作. 此时,  $s_{16}, s_{17}$  中的托肯消耗, 托肯流到  $s_{18}$ , 得到实体零件. 然后,  $t_{17}$  被激活,  $O(t_{17}) = (s_{17}, s_{19})$ , 托肯从  $s_{18}$  流到  $s_{17}$  (原型设备回到空闲状态) 和  $s_{19}$ , 过程终止. IDEF3 方法和 Petri 网方法都是目前常用的过程建模方法. 两种方法各有其优点和不足之处. IDEF3 方法易懂、易用, 但其不支持动态和不确定性信息. Petri 网方法在支持动态和不确定性信息方面有着明显的优势, 但其可读性较差, 不利于理解和交流, 并且掌握起来也较困难. 因此, 在实际的过程建模中, 可整合两者的优势, 采用以 Petri 网为主、IDEF3 方法为辅的建模方法.

3 结束语

网络技术正在给制造业带来新的变革和重大影响, 而快速原型制造技术是一项兴起不久的高新制造技术. 两者的结合将成为未来制造业的主要形式之一. 本研究利用 IDEF3 和 Petri 网方法, 对基于 Internet 的产品快速原型制造的过程进行建模分析. 描述其过程中多因素相互间的动态行为, 解决该过程中各环节之间的并发性、异步性、分布性等问题. 它为拟通过网络开展产品快速原型制造应用的制造企业, 提供一个过程参考模型. 同时提出以 Petri 网为主、IDEF3 为辅的过程建模策略.

参 考 文 献

1 Pham D T. A comparison of rapid prototyping technologies[ J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1998, 38: 1 257~ 1 287  
2 李 健, 刘 飞. 基于网络的先进制造技术[ J]. 中国机械工程, 2001, ( 2 ): 154~ 158  
3 顾新建, 祁国宁, 陈子辰. 网络化制造的战略和方法[ M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 8~ 17  
4 陈禹六, 李 清, 张 锋. 经营过程重构(BPR) 与系统集成[ M]. 北京: 清华大学出版社, 施普林格出版社, 2001. 106~ 113  
5 陈禹六. IDEF 建模分析和设计方法[ M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 116~ 119  
6 袁崇义. Petri 网原理[ M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 4~ 11

Internet-Based Process Modeling for  
Rapid Prototyping Manufacture of Product

Huang Bin      Gao Chenghui

( College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, 350002, Fuzhou, China)

**Abstract** Process modeling is the basis of process management and integration. The process of internet based rapid prototyping manufacture of product is analysed at first; and then modeled by using respectively the methods of IDEF3 and Petri net. The dynamic behaviors among multiple factors are described; and the issues of concurrence, asynchronism and distribution among different links are settled. After analysing and comparing merits and demerits of IDEF3 and Petri net, the authors put forward a strategy of process modeling, namely, rely mainly on Petri net while making IDEF3 subsidiary.

**Keywords** process modeling, IDEF3, Petri net