

并行工程中的产品开发过程规划方法研究

曹 健 张申生

(上海交通大学计算机系计算机集成技术研究室 上海 200030)

摘 要 从产品开发各过程单元之间的依赖关系出发,详细研究了识别产品开发中的耦合过程集合的有效方法,提出了以耦合过程集合识别为基础的产品开发过程规划策略,为并行工程的实施提供了基础。

关键词 并行工程, 产品开发过程网络图, 耦合过程集, 过程结构矩阵

0 引言

传统的产品开发过程通常以一种串行的方式进行,其特点是产品开发被分解成了顺序执行的若干阶段,这些阶段分别由不同的职能部门负责。在串行产品开发方式中,各个职能部门在执行任务前从上游接受数据,并在任务完成后将数据输出到下游。在这种产品开发方式中,各职能部门的责任明确,因而管理起来比较容易,在很长的一段时间内能够满足企业产品开发的需要。

随着社会的发展,企业目前面临着越来越激烈的市场竞争。为了求得生存和发展,企业必须能够不断地在市场上快速推出新产品。在串行产品开发方式中,由于部门之间缺乏足够的交流和协调,在上游活动中不能考虑到下游的要求,致使问题直到后期才能发现,从而引起大的反馈,延误了产品推向市场的时机。在这种背景下,并行工程概念的提出引起了学术界和工业界的共同兴趣。并行工程从系统化组织产品开发活动的角度出发,将产品及其相关过程进行并行、一体化设计,在各个环节中考虑产品生命周期中所有因素,使产品开发一次成功^[1]。

为了实施并行工程,首先需要对产品开发过程进行规划,以建立优化的过程模型。对于一个产品

开发过程,如果各个过程单元之间毫无联系,各自独立,那么它们可以并发执行,效率自然很高。然而在实际的产品开发中,各个过程单元之间将通过输入、输出对象建立联系,从而直接造成了

过程执行顺序和时间上的相互制约。特别是在过程单元之间具有双向联系时,在执行时呈现出反复和迭代现象,这对产品开发的时间和质量将造成显著的影响^[2-5]。因而过程单元之间的联系体现了产品开发过程的内在结构和规律。通过对产品开发过程中这种联系的分析,识别具有相互依赖关系的过程单元的集合,可以为规划产品开发过程提供基础。本文从产品开发过程单元之间的依赖关系出发,重点研究了识别产品开发中耦合过程集合的有效方法,进而提出了以耦合过程集合识别为基础的产品开发过程规划策略,为并行工程的实施提供了基础。

1 基本概念

1.1 产品开发过程网络图

定义 1: 产品开发过程网络图是由元组 $G(P, A)$ 表示的由节点和边构成的有向图。其中 P 为节点的集合,节点代表过程单元,即产品开发项目中的子项目或任务,边表示子项目或任务之间的联系。产品开发过程网络图简称为网络图,如图 1 所示。

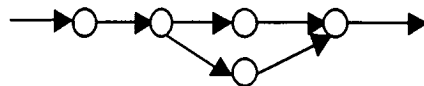


图 1 产品开发过程网络图

1.2 产品开发过程结构矩阵

为了描述和分析过程单元之间的联系,Ep-pinger 等人提出了一种矩阵方法^[6],该方法具有便于表达和分析等显著优点。根据该方法,作者引入过程结构矩阵的概念。



863 计划(863-511-930-006)和国家自然科学基金(59789502)资助项目。
男,1972 年生,博士;研究方向: workflow 技术;联系人。
(收稿日期:2000-11-20)

定义 2:设过程单元集合为 (P_1, P_2, \dots, P_n) , 矩阵

$$Q = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 被称作过程结构矩阵, 其中 $a_{ij} = 1$ 表示过程单元 P_i 的输出对象是过程单元 P_j 的输入对象, 反之, $a_{ij} = 0$ 表示过程单元 P_i 的输出对象与过程单元 P_j 无关, 并设 $a_{ii} = 1$ 。

性质 1:网络图的邻接矩阵就是过程结构矩阵。
根据图论的知识不难看出该性质是显然的。

1.3 耦合过程集

定义 3:耦合过程集是网络图中构成强连通子集的节点代表的过程单元组成的集合。

根据定义可知,在网络图中,耦合过程集中的过程单元对应的任意节点之间均有路径。它表示了产品开发中相互之间的联系形成回路的一类过程单元的集合,为了最终得到满足各种要求的结果,必须通过耦合过程集中的过程单元进行反复迭代,使其最终收敛。由于耦合过程集的存在形成的局部过程单元之间的反复迭代,集中反映了时间和质量之间的矛盾。

2 耦合过程集的识别方法

2.1 耦合过程集识别的基本方法

根据耦合过程集的定义,耦合过程集对应于网络图中的强连通子集,所以耦合过程集的识别可转化为网络图中的强连通子集的识别。首先用 Warshall 方法^[7]从邻接矩阵求可达矩阵 R :

算法 1:

- 1 置新矩阵 $R = Q$;
- 2 置 $i = 1$;
- 3 对所有的 j , 若 $r_{ij} = 1$, 则对 $k = 1, 2, \dots, n$,
 $r_{ik} = r_{jk} \vee r_{ik}$;
- 4 $i = i + 1$;
- 5 若 $i = n$, 转 3, 否则停止。

定义 4:设 R^T 为可达矩阵 R 的转置矩阵, 定义 $C = R \wedge R^T$ 为强连通矩阵。

性质 2:设 c_i 为 C 中 n 维行向量 $(i = 1, 2, \dots, n)$, 其中所有互不相等的行向量组成的集合为 $(c_1, c_2, \dots, c_m) (1 \leq m \leq n)$, 则其中多于 1 个元素为 1

的行向量中,所有分量为 1 的元素对应的过程单元构成的集合为耦合过程集。

证明:由过程结构矩阵的定义和可达矩阵的算法可知, c_i 中至少有一元素 $c_{ii} = 1$ 。显然如果 c_i 中仅有 $c_{ii} = 1$, 则说明该元素对应的过程单元与其他任何过程单元不能相互到达, 构不成耦合任务集。如果 c_i 中有不止一个元素为 1, 不妨假设 $c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ie}$ 为 1 $(2 \leq e \leq n)$, 则它们对应的过程单元分别可以和过程单元 P_i 相互到达, 显然, 它们之间也可以相互到达, 所以构成耦合过程集。两行向量相等说明这两行对应的过程至少与一个其他过程存在可以相互到达的关系, 则这两个过程单元相互到达, 属于一个耦合过程集合。

2.2 耦合过程集的分步识别方法

为了对产品开发过程进行不同程度的抽象描述, 产品开发过程一般均需要表达成层次分解的形式。有如下定义:

定义 5:产品开发过程网络图 $G(P, A)$ 中, 若 $P_i \rightarrow P_j$ 可以扩展为一个产品开发过程网络图 (P, A) , 则称 $G(P, A)$ 为层次产品开发过程网络图。不再进行分解的过程单元我们称为原子过程单元。图 2 为层次产品开发过程网络图的示意图。

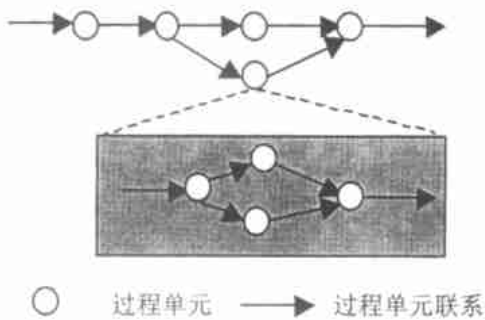


图 2 层次产品开发过程网络图

将耦合过程集的分步识别方法运用到层次产品开发过程模型上时,只需要建立原子过程单元之间的过程结构矩阵然后运用 2.1 中的方法即可。

虽然上述方法能够识别出耦合过程集来,但是,一个复杂的产品开发过程可能有数量众多的过程单元,如果应用上述方法,算法中的矩阵维数将很大,给计算带来了复杂性。在层次产品开发过程网络图中,如果有两组过程单元分别由没有联系的两个过程单元分解得到,则此两组过程单元之间没有联系,因而在这种情况下,建立邻接矩阵时,考虑任意两个过程单元之间是否存在联系,也显得不必要。根据

过程建模中过程单元分解的特点,考虑到上层过程单元之间的联系只是在下层部分过程单元上表现出来,可以在对某一层各过程单元内部的耦合子过程集识别的基础上,再根据过程单元之间的关系识别出全部耦合过程集来。

设某一产品开发过程的过程单元集合为 (P_1, P_2, \dots, P_n) , 过程单元进行了分解。由于问题的需要,或者过程单元本身的特点决定了各过程单元分解的层次可能不相等,因此可能存在有些过程单元分解,有些过程单元没有分解的情况。我们将未分解的过程单元看作分解为其本身,以便于统一对问题的描述。

对各过程单元分解得到子过程单元集合 $P_1 = (P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1s1}), P_2 = (P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2s2}), \dots, P_n = (P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{nsn})$ 。设 $P_i = P_{i1} P_{i2} \dots P_{in}$, 从 P_i 的结构矩阵 Q_i 计算 P_i 中的可达矩阵 R_i 。对 P_i 中过程单元进行分类,设 $P_i = U_i \cup V_i \cup G_i$, 从 U_i 中接受输入但不输出到 V_i 的过程单元子集为 U_i , 输出信息给 V_i 但不从 V_i 处输入信息的过程单元子集为 V_i , 既从 U_i 中输入信息,又输出信息到 V_i 的过程单元集合为 G_i , 余下的过程单元为一个过程单元子集。对 R_i 进行行列交换,使其具有如下式所示的形式。对 R_i 继续处理可以得到耦合任务集 $i_1, i_2, \dots, i_t (t < n)$ 。

U_i

V_i

G_i

\times

\times

\times

$R_i = \begin{bmatrix} R_{i11} & & R_{i12} \\ & & \\ R_{i21} & & R_{i22} \end{bmatrix}$

R_{i11} 表达了 U_i 中过程单元之间的可达关系。考虑 U_i 中的过程单元,在 R_{i11} 中,如果某一过程单元对应的行中元素为 1 的个数不超过 1,说明该过程单元不可到达 $V_i \cup G_i$ 中的任何一过程单元,则该过程单元对应的行和列删除。考虑 V_i 中的过程单元,在 R_{i11} 中,如果某一过程单元对应的列中元素为 1 的个数不超过 1,说明 $U_i \cup G_i$ 中的任何一过程单元不可到达该过程单元,将该过程单元对应的行和列删除。令 $A_i = R_{i11}$ 。

对所有 P_i 进行上述过程,得到 $U_1, V_1, G_1, U_2, V_2, G_2, \dots, U_n, V_n, G_n$ 和 A_1, A_2, \dots, A_n 。考虑各过程单元 P_i 和 P_j 的子过程单元之间的联系,建立如下所示的分块矩阵 $(i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j)$:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

其中 $A_{ij} (i \neq j)$ 表示过程单元 P_i 和 P_j 有相互关系的子过程单元之间的邻接矩阵。在该矩阵基础上求出耦合过程集 i_1, i_2, \dots, i_k 。

对 i_1 中的任一过程单元,确定该过程单元属于的 P_j ,判断其是否属于某一耦合过程集 i_j ,如果属于,则 i_j 可以并入 i_1 中。

将 i_1, i_2, \dots, i_k 中相交不为空的集合合并,得到 i_1, i_2, \dots, i_k ,它们和未被合并的 i_j 构成相互独立的耦合过程集,即为所要求的结果。

2.3 例子

本文以蜗杆传动的设计和制造过程^[8]为例子。包含的过程单元为 P_1 设计 = {需求分析 a , 概念设计 b , 方案设计 c , 蜗杆参数设计 d , 参数优化 e , 成本分析 f , 啮合特性分析 g , 蜗杆齿面截形分析 h , 蜗杆根切检验 i }, P_2 工艺规划 = {可制造性分析 j , 动态仿真 k , 数控编程 l }, P_3 制造 = {包络加工蜗杆 m , 包络加工蜗轮 n , 强度设计 o , 蜗杆和蜗轮对检 p }, P_4 装配 = {安装调试 q , 装配误差分析 r , 装配 s }。 P_1, P_2, P_3 和 P_4 各子过程的结构矩阵如图 3 (a) ~ (d) 所示,过程之间的结构矩阵如图 3 (e) 所示,其中仅将“1”标出。

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
a	1	1	1	1	1	1			
b		1							
c			1	1		1			
d				1	1		1	1	1
e				1	1				
f			1			1			
g				1			1		
h				1				1	
i				1					1

(a) 设计过程结构矩阵

	j	k	l
j	1		1
k		1	1
l			1

(b) 工艺规划过程结构矩阵

图 3 结构矩阵图



	m	n	o	p
m	1	1		
n		1		
o			1	
p				1

(c) 制造过程结构矩阵

	q	r	s
q	1	1	1
r		1	1
s			1

(d) 装配过程结构矩阵

	c	h	i	d	j	k	l	p	m	n	o	q	s	r
c	1			1										
h		1		1					1		1			
i			1	1					1					
d		1	1	1	1	1					1			
j	1			1	1	1		1	1					
k					1	1		1	1					
l						1		1	1					
p								1				1	1	1
m								1	1	1		1		1
n								1		1		1		1
o				1							1			
q												1	1	1
s													1	
r									1	1			1	1

(e) 过程单元之间的结构矩阵
图 3 结构矩阵图

对过程单元集合 T_1 分析得到两个耦合过程集合 $_{11} = (c, f)$, $_{12} = (d, e, g, h, i)$, 对其他过程单元 P_2, P_3, P_4 分析没有得到耦合过程集合, 在对过程单元之间的邻接矩阵分析后得到耦合过程集合 $_1 = (m, n, r, p, q)$, $_2 = (d, j, o)$ 。经过合并处理后得到耦合过程集合 $(c, f), (m, n, r, p, q), (d, j, o, e, g, h, i)$ 。

3 基于耦合过程集的过程重构策略

在识别出耦合过程集后, 可以以此为基础进行产品开发过程的规划, 这里作者提出下列过程规划的策略。

3.1 解耦

解耦策略通过改变过程间的双向依赖关系, 从

而加速产品开发过程的进行。这一策略实施的主要手段是通过人工的方法将复杂的耦合过程分解为若干个较小的耦合集, 以简化过程, 减少过程反复和迭代的范围和周期。

3.2 加强耦合

该方法中将耦合过程集中的多个过程合并为单一的整体过程, 且把耦合过程中过程单元对外界的联系转换成整体过程与外界的联系, 以达到消除耦合过程集合的目的。例如过程单元 c 和 f 可以合并, 即在方案设计中就进行成本分析。该策略的本质是使产品开发过程中能够尽可能多地考虑产生生命周期中的各种因素, 避免由于后期发现问题引起的大的反复。

这两条策略看起来好象是矛盾的, 实际上并非如此, 他们适用于不同的情况: 解耦策略适用于耦合过程单元比较复杂、可以进行再分解的情况, 而加强耦合适合于耦合过程单元本身不可再分解的情况。

3.3 资源、人员调整

除了解耦和加强耦合方法外, 使迭代过程尽快进行和迅速收敛显然能够缩短产品开发时间。因此, 要优先保证耦合过程单元的资源、人员和资金需求。另外, 相关人员之间需要建立快速和有效的信息交换途径。

4 结束语

产品开发过程规划是并行工程的重要内容。在产品开发中, 各个过程单元之间将通过输入、输出对象建立联系, 从而直接造成了过程执行顺序和时间上的相互制约。特别是在过程单元之间具有双向联系时, 在执行时呈现出反复和迭代现象, 对产品开发的时间和质量将造成显著的影响。本文深入地研究了产品开发中的耦合过程识别方法, 并在此基础上提出了过程规划策略, 为实施产品开发过程规划提供了借鉴。产品开发过程规划是一个复杂的问题, 从各个角度出发可以提出不同的方法, 因而系统、全面地对产品开发过程进行规划的方法还有待于研究。

参考文献:

[1] Winner R I. The role of concurrent engineering in weapons system acquisition. IDA Report R-338, AD-A203/615, 1988

(下转第 79 页)

Model-based Temperature Forecasting and Fault Diagnosis on the Heat Control System of Satellite

Fan Xianfeng , Jiang Xingwei

(Dept. of Astronautics and Mechanics , Harbin Inst. of Technology , Harbin 150001)

Abstract

Model-based analysis and research methods are adopted in this paper in order to forecasting the temperature and improve the accuracy of fault diagnosis on heat control system of satellite. Newton — algorithm is applied in the solving of model. It enhances the efficiency of operation. The temperature at every point under normal and every kind of fault condition is obtained by making and solving the model. An efficient method about fault diagnosis is given.

Key words : Heat control system , Model , Temperature forecasting , Fault diagnosis

(上接第 71 页)

[2] 郭伟. 并行设计实施理论与方法的研究:[学位论文]. 天津:天津大学机械系, 1994

[3] 鄂明成等. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 9(2): 104

[4] Mark S. *IEEE Tran on Engineering Management*, 1991, EM-28(2): 235

[5] Kusiak A. *Journal of Mechanical Design*, 1996, 115: 687

[6] Eppinger S. Organizing the tasks in complex design projects. In: USA NSF Design and Manufacturing System Conference, 1992

[7] 肖位枢. 图论及其算法. 北京:航空工业出版社, 1993

[8] 董明. 系统工程理论与实践, 1996, 16(8): 69

Research on Planning Method of Product Development Process for Concurrent Engineering

Cao Jian , Zhang Shensheng

(CIT Lab , Computer Department , Shanghai Jiaotong University , Shanghai 200030)

Abstract

The effective method to identify the couple process set is researched in detail based on analyzing the relationship among processes. Several strategies are presented to plan the product development process.

Key words : Concurrent engineering , Product development process restructure , Couple process set , Process structure matrix