

产品开发过程的活动分解与规划^{*}

李玉家 马登哲 金 烨 魏新魁

(上海交通大学)

(上海市晋元中学)

摘要 活动的合理分解与规划对产品开发过程来说极为重要。本文根据产品开发过程的特点, 分析了对其进行活动分解的方法和策略, 给出了求解常规进度、瓶颈路径、反馈进度的方法, 并提供了一个应用软件工具, 用以实现和验证这些思想和方法, 为产品开发过程活动的分解和规划提供了一个支撑工具。

关键词 活动分解 瓶颈路径 反馈

Abstract The decomposition and planning of activities in product development process is very important. Based on the special characteristics of product development process, this paper analyzed the strategy of activity decomposition. The methods used to calculate common activity planning, bottleneck path and feedback planning were provided. Also one kind of software used to realize these methods was given, providing an useful tool to support activity decomposition and planning.

Key words Activity decomposition Bottleneck path Feedback

0 概述

在产品开发领域中, 随着市场竞争的日益激烈, 原有的串行模式已经越来越不能适应时代的需求; 为了提高效率, 缩短产品上市时间, 必须以并行的方式进行产品开发。在国际软件市场上, 已经出现了许多基于网络和分布式数据库的支持产品并行开发的数据管理软件(如美国 SDRC 的 Metaphase、PTC 的 Windchill、IBM 的 PM 等), 但是对一个复杂的产品开发过程来说, 涉及的活动成百上千, 需要有一套思想和方法来帮助进行活动的分解和规划, 确定产品的生命周期, 在此基础上, 利用产品数据管理软件对其进行管理。本文分析了活动分解的策略和方法, 并开发了一个应用软件工具, 旨在提供一个支持并行活动分解与规划的支撑工具。

1 活动模型的建立

活动的完成过程就是相关人员在特定的期限内, 根据给定的输入和资源, 产生特定输出的过程。输入、输出、完成人员和时间跨度是活动的基本特征。活动的输入包含两方面的含义, 一是完成活动所需要的原始数据, 二是完成活动所需占用的软、硬件

资源; 活动的输出指活动完成时应提供的图纸、文档甚至硬件产品等。时间跨度可以是单级的, 也可以是多级的, 单级跨度与多级跨度的区别在于前者对应的活动在一段连续的工作时间内完成, 后者对应的活动则在几个分散的时间段内完成。

1.1 活动分解的原则

(1) 纵向开发层次与横向结构相结合的原则
纵向的开发层次是指将产品的开发过程粗分为设计、工艺、制造和性能测试等几个大的阶段, 各个阶段又可以进一步细分, 如产品的设计活动可分解为初步设计、技术设计和施工设计等等。对产品开发过程按时间顺序进行纵向层次性划分, 有利于从总体上把握整个开发过程的进程。将纵向开发层次性与横向产品结构原则^[1]结合起来, 可以形成一个活动分解矩阵(见表 1), 该矩阵能够较为全面地反映产品开发过程的各个环节。

(2) 粒度适中原则
在活动分解的过程中, 应注意活动粒度的适中。如果活动的粒度太大, 那么活动与活动之间的偶合度必然增加, 活动能够并行开展的余地就减小; 如果活动的粒度太小, 则会导致产品开发进度的安排过于零碎, 不具有可操作性。因此在进行活动分解的时候应以活动分解矩阵为基础, 根据具体情况进行适当的合并或者细化。例如, 可将简单零件(甚至是部件)的初步设计、技术设计和施工设计合并为一个活动, 也可以将复杂部件的

^{*} 国家 863 项目 9842-007 资助

收稿日期: 1999-05-20

表 1 活动分解矩阵 $E[n,n]$

横 向 纵 向		零件 1	零件 2	部件 1			部件 2	...
				零件 1-1	零件 1-2	组件 1		
设计	初步设计			<div>矩阵中的每个元素代表一个活动，如 E(1,1)表示零件 1 的初步设计，E[2,2]表示零件 2 的技术设计等。然而并非所有零部件都须经历纵向层次的各个环节，因而允许矩阵中一些元素为空。</div>				
	技术设计							
	...							
	制造							
	工艺							
	...							

设计活动分解为几个零件或组件的设计活动等等。

(3) 独立性原则 产品开发过程中的各个环节之间是相互影响、相互制约的。活动 A 可能在触发后的某一个阶段需要引用活动 B 产生的参数，之后活动 B 开展到一定程度可能又需使用 A 产生的参数^[2]，这时候如果将活动 A 和活动 B 分别都作为一个独立的 活动，就会导致活动边界模糊不清，活动进度难以编排的状况。为了保证活动的独立性，可以针对具体情况，采用两种不同的方式予以处理：如果活动 A 和活动 B 涉及的人员和工作量都较少，则将两者合并为一个活动 C；如果两个活动的规模较大，则需进行进一步分解，将活动 A 和活动 B 之间的多次信息交互转化为各个独立子活动之间的单次信息交互，从而具有可操作性(见图 1)。

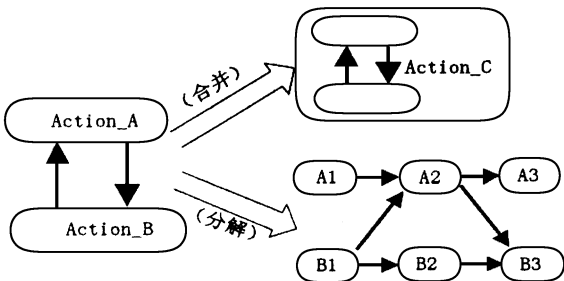


图 1 活动分解的独立性原则

1.2 约束关系的建立

活动之间的约束关系可以用一个约束网来表示(见图 2)，在活动约束网中，每一个结点表示一个活动，每一个箭头表示一个约束关系：箭头指向的活动必须在箭头的起点活动完成以后才能开始。根据约束关系的不同可以将活动分为 3 类：(1) 起始活动(没有前序活动，只有后序活动，如 A 1)；(2) 中间活动(既有前序活动，又有后序活动，如活动 A 2、A 3 等)；终止活动(没有后序活动，只有前序活动，如活动 A 5、A 7)。

对于一个产品开发过程的活动约束网来说，至

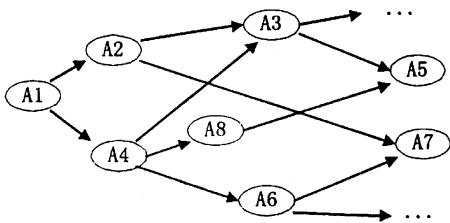


图 2 活动约束网

少应该具有一个起始活动和一个终止活动；同时约束的指向只能是单向的，不能形成闭合回路。如果开发过程由 K 个活动构成，则活动进度规划问题可以描述为：

已知： $A_1, A_2, A_3, \dots, A_K (K > 1, K \leq N)$

$$C_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{(若活动 } i \text{ 是活动 } j \text{ 的直接前序活动)} \\ 0 & \text{(若活动 } i \text{ 不是活动 } j \text{ 的直接前序活动, 或 } i=j) \end{cases}$$

($i=1$ to k ; $j=1$ to k)

$$T(i) = T_i$$

求：StartTime(i)、BottleneckPath(i)、Feed-BackT(i)和 Feed-BackStartT(i)。

其中 StartTime(i)为每个活动的开始时间，BottleneckPath(i)为任意活动的瓶颈路径，Feed-BackT(i)为增加反馈后每个活动的完成周期，Feed-BackStartT(i)为引入反馈后每个活动的起始时间。

2 几类问题的求解

2.1 最短进度的编排

编排最短进度，就是求出每一个活动在满足所有约束条件前提下的最早触发时间(用 StartTime(i)表示)。这是一个较为简单的数学问题，求解的基本原则是首先给出开发过程所有起始活动的触发时间，然后遍历其它活动，如果发现某一活动的所有直接前序活动的起始时间都已确定，则取其中最晚完成的活动的终止时间(StartTime(i) + T(i))作为当前活动的触发时间；如此反复，直到所有活动的触发

时间都确定为止。

2.2 瓶颈路径的计算

从整个开发过程的起始活动到每一个中间活动或者终止活动都有 1 到多条可能的路径。以图 2 中的 A5 活动来说, 它有 3 条可能的路径, 一是 A1 A2 A3 A5; 二是 A1 A4 A3 A5; 三是 A1 A4 A8 A5 等。在所有可能的路径中, 最终决定 A5 触发时间的一条称为瓶颈路径; 缩短某一活动的瓶颈路径中的任意一个环节的周期, 都能够提早该活动的触发时间, 对整个开发过程来说, 找出终止活动的瓶颈路径, 并缩短该瓶颈路径中的任意一个环节的周期, 意味着可以缩短整个项目的完成时间。但是应当注意的是, 瓶颈路径是一个动态的概念; 某一活动的瓶颈路径在修改了其中的一个或者几个环节的周期后很可能就变成了非瓶颈路径。

计算指定活动的瓶颈路径的基本思想是倒推法, 即从该活动出发, 找出其直接前序活动中结束时间最晚的活动, 再从这一前序活动出发, 找出它的直接前序活动中结束时间最晚的活动, 如此反复, 直至遇到起始活动为止。

2.3 考虑反馈的进度编排

在产品开发的过程中, 经常出现反馈现象, 这时反馈终点活动的所有后序活动(包括反馈终点自身)的进度都会受到影响, 例如如果在图 2 所示的约束网中增加一条从活动 A6(反馈起点)到活动 A4(反馈终点)的反馈, 那么 A4 及 A4 的所有后序活动(A3, A8, A5, A7, A6...)都受到不同程度的影响。根据影响性质的不同, 可以将受影响的活动分为两大类:

(1) $StartTime(i) = StartTime(Feed_Start) + T(Feed_Start)$ ($i = 1$ to k)

(2) $StartTime(i) > StartTime(Feed_Start) + T(Feed_Start)$ ($i = 1$ to k)

当反馈开始时, 上述第 1 类受影响的活动已经完成或正在进行之中, 对于这些活动来说, 反馈的存在将导致活动的重新开始, 最终的进度由两个时间段组成, 前一段是反馈前已经完成的, 后一段是反馈后需重新进行的, 由于已经继承了前一阶段的工作, 所以通常情况下后一段时间的长度要小于前一段时间的长度。仍以从 A6 到 A4 的反馈为例, 假设 A4 原来的完成周期为 4 天, 在接到反馈信息后重新开始, 但这一次其中的一部分工作可以直接从上一次 4 天的工作中继承下来, 因而可能只需要两天就可以完成所有任务, A6 也存在着这样的情况。为了明

确表达反馈的影响程度, 引入一个参数: 反馈因子 $\delta(i)$ 。第一类受影响活动的新老周期之间的关系为:

$$Feed_BackT(i) = T(i) * \delta(i) \quad (0 < \delta(i) < 1)$$

对于第 2 类受影响活动来说, 由于在反馈开始时这些活动还未开始, 因此不存在反复的过程, 其完成的周期通常不受到反馈的影响(或者认为反馈因子为 1)。在最终进度表上仍然只有一个阶段组成, 只是起点时间有所推迟。

3 实例验证

为了解决以上几类问题, 笔者自己在微机上开发了一个小型应用工具, 该工具能够自动绘制各种条件下的 Gantt 图, 求解任意指定活动的瓶颈路径, 支持在任意两个有直接或间接继承关系的活动之间增加反馈, 并且能够方便地修改各种初始条件, 如约束关系、活动周期、起始活动的触发时间等。

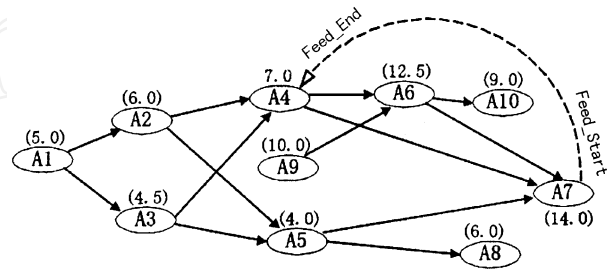


图 3 活动约束网络求解实例

在图 3 所示的活动网中, 节点以外的数值表示该活动的预计周期。图 4 为系统根据初始条件绘制的 Gantt 图, 图中方括号中的数值是活动的周期, 方括号后的数值是该活动完成的时间。图 4 还显示了任意指定活动(以活动 8 为例)的瓶颈路径的计算结果, 瓶颈路径中的活动以竖线填充并用消息框予以提示。

为了验证反馈, 在活动 7 和活动 4 之间增加一道反馈, 根据 2.3 中的思想和原则, 系统自动提示输入第 1 类受影响活动(A4, A6, A7 和 A10)的影响因子(为了简单起见, 取 $\delta(4) = \delta(6) = \delta(7) = \delta(10) = 0.5$), 图 5 显示了受到反馈影响后的活动进度计划, 其中 A4, A6, A7 和 A10 的进度由两部分组成, 前一部分(用斜线填充)表示反馈前完成的工作, 后一部分则表示由于受到反馈的影响需要增加的工作量, 由于影响因子为 0.5 因此后一段时间仅为前一段时间的一半。由图 5 还可以看出, 由于这一反馈的存在, 使得整个项目周期由原来的 44.5 增加到了 61.25, 延长率为 37.7%。

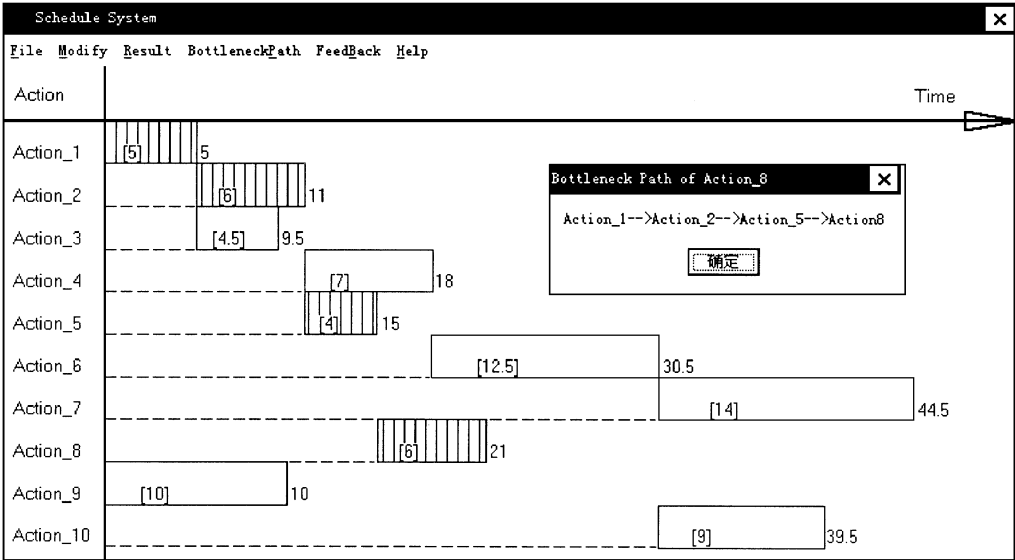


图 4 Gantt 图和指定活动的瓶颈路径

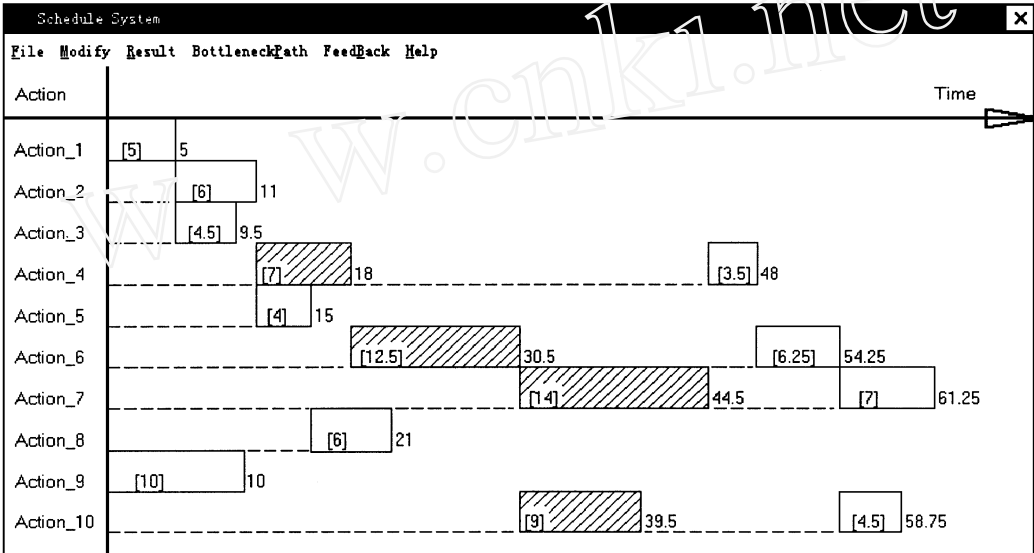


图 5 考虑反馈后的 Gantt 图

参 考 文 献

- [1] Pourbabi B, Pecht M. Management of Design Activities in a Concurrent Engineering Environment. Int. J. Prod. Res., 1994, 32 (4): 821~ 832
- [2] Sergio N, Fabio N. A Concurrent Engineering Decision Model: Management of the Project Activities Information Flows. Int. J. Production Economics, 1998, 54: 115~ 127

欢迎订阅《制造技术与机床》(原名机床)

《制造技术与机床》是北京机床研究所和中国机械工程学会主办的全国性技术刊物,是机械制造行业的一份有影响的刊物,创办于 1951 年。本刊是自然科学类中文核心期刊、《中国科技论文统计与分析》用刊、《美国工程索引》和《中国学术期刊文摘》摘录用刊。

本刊以交流国内外制造技术与机床方面的科技成果和经验,提高我国机械制造业技术水平为宗旨,介绍制造领域的新装备、新机床、各种制造系统、机床功能部件及数控系统的结构、设计、研究、改装维修、新工艺、新制造技术、工件冷热加工与特种加工的原理、方法及工艺装备;新测试方法及量仪的原理及使用;新材料的研究与应用;国内外技术发展动向;经营管理经验与营销策略;技术讲座;机电产品广告等。

本刊为月刊,大 16 开本,正文 72 页,每期定价 6.00 元,全年 72 元。邮发代号 2- 636,国外代号 M 397。地址:北京朝阳区东直门外望京路 4 号。邮编:100102。电话:64322683