

文章编号:1000-582x(2001)03-0008-04

基于信息依赖的设计过程仿真方法*

徐晓刚¹, 刘伟², 陈亚华¹, 韦云隆³

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学工商管理学院, 重庆 400044; 3. 汕头大学工学院, 汕头 515063)

摘要:介绍了基于DSM的设计任务建模原理,研究了循环迭代任务仿真的数据输入方法、随机变量产生方法以及仿真时钟的设置。在考虑设计任务学习曲线的基础上,研究了单个项目的任务进程表示方法,给出相应的Monte-Carlo仿真实现方法,并编制了基于EXCEL VBA的仿真程序。给出了相应的仿真事例,结果表明:该方法能模拟运行复杂设计活动,为项目的计划和控制提供科学的依据。

关键词:设计; 产品开发; 迭代; 仿真

中图分类号: TH 122

文献标识码: A

在大型复杂产品开发过程中,如何有效地进行设计决策和资源配置是产品成功的关键,较强的产品开发能力能使企业更快地响应市场,提升企业的竞争力。但由于设计任务的多学科性以及设计任务间相互关系的复杂性,使缩短产品开发周期,提高产品的设计质量面临着巨大的困难,设计管理任务已成为产品开发任务中的一个不可缺少的重要内容。

产品设计任务仿真的目的是在对一个项目的各项任务按信息依赖的关系进行建模的基础上^[1],对项目进行Monte-Carlo仿真以获得设计过程有关时间和成本的参数。由于任务完成周期和迭代循环任务发生的随机性,产生了多种设计任务的实现方法,突破了关键路线唯一的PERT假设。借助于统计分析,任务仿真可以为大型工程项目的计划和控制提供科学的决策数据。本文主要研究在考虑迭代循环任务(在产品的概念设计阶段特别明显)和任务学习曲线情况下的设计任务仿真实现方法。

1 设计任务的DSM模型

Steward^[2]开发了设计结构矩阵DSM(Design Structure Matrix)作为表示和分析设计项目的工具。DSM是一个具有 n 行和 n 列的方阵, n 表示设计任务的数目。如果从任务 i 到任务 j 存在信息依赖,则 ij 元素的值为1(或用 x 表示),否则此值为零(或为空)。

也可从时间上来解释任务的执行次序,对角线下方的记号表示信息前馈,而对角线上方的记号表示信息反馈。反馈意味着上游任务需要下游任务的信息,这种任务也称为循环迭代任务。此外,矩阵中的元素也不为二元,可以是任意一个有意义的数字,这些数字可以代表各任务接口间的信息,如迭代概率,返工的百分比等。

当检查一个分组后的DSM,可以容易地观察到三种任务的信息依赖关系^[2]:顺序任务,并行任务和交互任务。如果在对角线下方的某一行任务包含一个记号,那么此任务为顺序执行任务的一部分;如果多个任务间没有记号,则这几个任务可以并行执行;如果两个或多个任务间的次序不能展现出一个下三角矩阵(即在一个经过分组的DSM中,只在对角线下方存在记号),则这些任务为交互任务。一个具有三种不同任务依赖关系的简单的DSM如图(1)所示。在图中任务B,C被看成顺序执行,任务D,E被看成并行,任务G,H,I被看成交互。

国外学者对DSM研究并在波音等大公司使用后证明它有利于产品设计过程的管理和设计质量的提高。它的主要优点是能紧凑地显示设计过程中的所有设计步骤,展现设计任务间的结构关系并可进行相关的数学运算。

* 收稿日期:2001-04-20

基金项目:国家自然科学基金(59975089)

作者简介:徐晓刚(1964-),男,重庆市人,博士研究生,重庆通信学院副教授。主要从事CAD及产品设计管理研究。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
A	Λ												
B	X	B											
C	X	X	C										
D				D									
E	X	X	X		U								
F				X	X	X	Γ						
G	X	X	X				X	G	X	X			
H	X	X					X	X	H	X			
I								X	X	I			
J				X						X	J		
K								X				K	
L								X	X			X	L
M				X								X	M
N										X	X	X	N

图 1 DSM 说明图

2 设计任务仿真

由于一个项目的成本和完成时间既是所有循环迭代任务数量的函数,也是这些迭代任务范围的函数。一个设计迭代可能发生,也可能不发生(取决于设计中的设计变量),因此,可以用数字 DSM 模型来度量一个设计过程中迭代循环任务产生的可能性及其后果。采用的仿真方法随机地对待设计迭代及其对后续任务的影响,使仿真过程尽可能与实际相符合。

2.1 仿真数据输入

基于 DSM 的设计过程仿真需要一个 DSM 模型和一些其它数据。对每一个设计任务需要成本及任务完成周期的三个估计值,即乐观值(O),可能值(L),悲观值(P)。同时每一个任务也有相关的学习曲线(LC),LC 以百分比来表示,即该任务上次进行的总工作量与 LC 的乘积为下次进行该任务的工作量。在每个任务界面之间,应给出一个任务迭代的概率以表示重做的可能性和给出一个返工率以表示该任务再次进行时需进行的工作量。在本文的第 3 部分图(3)中提供了三个估计值和任务的学习曲线值。图(4)中提供了重做概率和返工率这两个值。

2.3 随机变量的产生

设计过程仿真的一个重要环节是对设计任务完成周期(成本)的随机抽样,对项目中的所有任务进行抽样得到随机任务完成时间和完成成本。为了得到项目完成时间和成本的概率分布,必须对各项任务进行多次重复随机抽样,作独立重复的仿真。在选择任务的概率分布时应考虑:

(1) 随机变量应具有一定的分布区间,在此区间内的概率密度始终为正。

(2) 在某一区间内,其概率密度一般应具有单峰

特征。这种单峰分布在该区间内可以是对称的,也可以是非对称的。

符合上述两个特点的概率分布有多种选择,为了简化计算,采用三角分布,认为 O, L, P 服从一个三角分布。每次运行时,随机地从三角分布中为每个任务采集一个样本值。

2.3 仿真时钟

仿真时钟是随仿真的进程而不断更新的时钟机构。通常在仿真开始时,仿真时钟置零相当于任务开始的时间。仿真时钟能不断地给出仿真时间的当前值。在本文中,采用面向时间间隔的时钟更新方法,即时钟按很小的时间间隔 Δt 不断地推进,各次运行包含一系列相等的时间间隔 Δt 。 Δt 应小于最短的任务完成周期(若任务的完成时间是 5 到 50 周,则合理的 Δt 为 0.5 周)。同时应对任务完成时间进行取整(若随机选择一项任务的完成时间是 2.34 周,则该任务将经历 $\text{round}(2.34/0.5) = 5$ 次仿真)。每次时钟推进都需要检查在此时间间隔里有无事项实现,若有事项发生则计算相关参数。直到每项任务的工作量为零。时间间隔越小,将产生更多的模型解决答案,同时花费的运行时间也更长。

2.4 任务事项表

DSM 模型表示了有一组相互依赖信息组成的任务,信息的改变引起了设计迭代。这种迭代对已完成的和正在进行的任务造成了一系列连锁反应。任务是否重做取决于该任务输入变化的可能性(即任务的敏感性)。本文假定所有独立的任务能并行进行(假设资源许可)。独立任务是指在 DSM 模型的对角线下方相邻两项任务间无信息依赖。

仿真方法采用三个任务表,表的长度等于任务的数目。第一个表称为任务顺序矢量表 S,它指 DSM 中任务的执行顺序,如在图(4)中的 D, G, A, B, C, E, F。改变任务顺序矢量能得到其他的工作顺序;第二个为工作矢量表 W,用于表示每一个任务剩余的工作量,通常这张表中的各个元素设为 1 表示该项任务开始进行,为 0 表示任务结束。第三个称为当前任务工作表 WN,它由布尔值表示,在当前仿真期间进行的任务用 TRUE 表示,反之用 FALSE 表示。

2.5 时间参数的计算

在仿真运行时,由于每次任务完成周期的随机抽样都不同,可以得到各项时间参数(尤其是工程周期)的概率分布以及在信息依赖许可的前提下,各种任务配置(任务顺序)成为关键路线的概率。若某一任务要开始,它必须从已完成的上游任务中得到输入的数据。

在每次仿真过程中,同时进行的任务工作量都减少相应的工作量(工作量=1/任务完成周期);同时,依据该项任务成本累积构成任务总成本。当一项任务完成时(任务的工作量为零),检查潜在迭代(重新做上游任务)以及由于迭代产生重做的所有任务。如果重做发生,依据在DSM中给出的返工率和学习曲线修改并产生任务新的工作量。当所有的任务完成后,任务的工作量应为0。最后将仿真步数转化为相应的单位时间,作为该项目的执行时间,将累积成本转化为为项目成本。在一个给定的任务顺序前提下,每一次仿真都产生一个成本和项目完成时间。图(2)为仿真流程图。

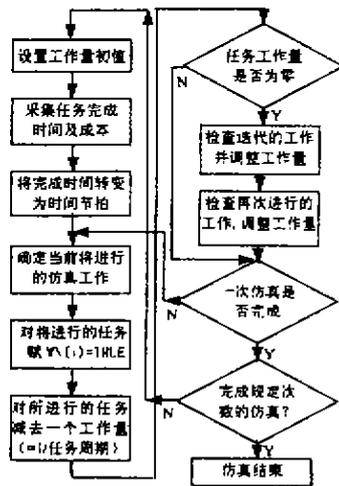


图2 仿真流程图

2.6 仿真的终止

仿真终止的标准是当项目的周期和成本的均值和偏差稳定在1%的范围内时可停止(1%可以更改)。也可采用确定仿真次数的方法(如仿真1000次后结束)。

3 算例

本算例针对一个七个任务的项目进行仿真运行,

	D	G	A	B	C	E	F
D	■						0.5
G	0.5	■	0.5	0.5		0.5	
A		0.5	■			0.5	
B				■			
C		0.5	0.5		■		0.5
E			0.5		0.5	■	
F				0.5			■

图3 迭代概率及返工率

任务的输入数据如表(1)所示(本算例只仿真项目完成时间),迭代重复任务的可能性及返工率如图(3)所示,其它的仿真参数是:时间间隔为1个单位时间,仿真运行1000次后停止,根据中心极限定理,当任务次数充分大时,每一个任务对项目总的周期贡献很小,则总的项目完成周期应近似地服从正态分布,从图(4)所示的仿真结果可以得出项目完成时间的期望值为48.838和方差为37.3,有关计算结果如表(2)所示。

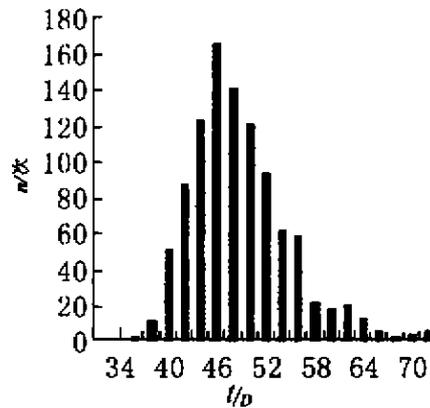


图4 仿真结果直方图

表1 任务输入数据表

任务名称	任务完成时间			学习曲线
A	1.8	2.6	3.3	35%
B	4	6	7.6	40%
C	1	3	5	25%
D	12	13.8	15	28%
E	3	4	6	33%
F	11	15	18	20%
G	4.6	5	6.38	10%

表2 仿真计算结果表

平均值	48.336
中值	47
最大频率值	46
标准偏差	6.107262
样本方差	37.2984
峰值	1.90164
偏斜度	1.0599
区域	43
最小值	36
最大值	79

在实际工作中,当一项目计划完成之后,都想知道项目按规定日期实现的概率,由于项目完成工期为期望工期的概率为50%,可采用以期望值为基础,适当放宽规定工期即得到在规定日期实现的概率,其放宽程度用工程

周期标准差的数目表示,即 $S = \mu + \sigma$, (μ 为项目完成时间的期望值 σ 为项目完成时间的标准差)。

4 结论

通过对涉及迭代循环的设计任务仿真研究,使工程师在产品开发的阶段,可以估计项目的完成周期,有利于设计任务资源的配置,加速产品的开发过程。由于考虑了任务周期和迭代循环发生的随机性以及任务重复的学习曲线,使该仿真方法与产品开发实际任务更接近。但如何在仿真过程中集成 GANTT 图和计算关键设计任务的概率有待进一步研究。

参考文献:

- [1] MCCULLY C M, BLOEBAUM C L. Optimal Sequencing for Complex Engineering systems Using Genetic Algorithms [J]. AIAA Paper No. 94-4327, 1994.
- [2] ULRICH K, EPPINGER S Product Design and Development. McGraw-Hill, Inc [M]. New York, 1995.
- [3] STEWARD D. System Analysis and Management: Structure, Strategy and Design [M]. New York: Petrocelli Books. 1981.
- [4] 冯允成. 任务网络分析 [M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1990.

Design Process Simulation Based On Information Dependency

XU Xiao-gang¹, LIU Wei², CHEN Ya-Hua¹, WEI Yun-long³

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University Chongqing, 400044, China;

2. College of Business Management, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

3. College Of Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: A modeling method based on DSM is introduced. In circumstance of iterative task, the ways concerning about the input of data, the generation of stochastic variables and the set of the simulation clock are depicted. While considering the learning curve of activities, the way is studied express the movable process of a single project and then list the corresponding Monte-Carlo simulative block diagram. The program based of EXCEL VBA is also written. The result of a given simulative example shows that the method can simulate complex design activities and plan the project in terms of scientific basis.

Key words: design; product development; design iteration; simulation

(责任编辑 成孝义)

·下期论文摘要预告·

基于 Internet 的二维优化下料方法及其实现技术

阎春平, 刘飞, 刘希刚

(重庆大学 制造工程研究所, 重庆 400044)

摘要: 二维优化下料问题是一个 NP-复杂性问题, 每一种优化软件都是利用近似和启发式处理得到下料结果, 不同的优化方法及其优化软件对不同的某些数据结构可能效果并不理想, 企业又不可能购进大量不同的优化软件来选优。针对以上问题本文提出了一种基于 Internet 的二维优化下料解决方法, 并给出了该方法的具体实现技术。实验表明, 该方法将明显提高二维优化下料的总体优化效果。