

文章编号:1000-582X(2008)01-0001-04

## 多规则产品协同设计任务动态排序

宋李俊<sup>1</sup>, 杨育<sup>1</sup>, 杨洁<sup>1,2</sup>, 尹胜<sup>1</sup>, 王伟立<sup>1</sup>

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400030; 2. 重庆通信学院二系, 重庆 400035)

**摘要:**针对基于单一特征的任务排序规则的局限性,提出了一种基于复合规则的协同设计任务动态排序方法。在该方法中,建立了协同产品开发中任务完成时间模型、任务排序特征体系。通过仿真方法并在仿真结果基础上,构建了规则权重的多目标函数,求得了各规则的权重。然后用权重对各规则下的排序进行复合和优序处理,确定出优化的设计任务排序。

**关键词:**协同产品开发;复合规则;任务排序

**中图分类号:**TP391

**文献标志码:**A

### Research on Task Dynamic Scheduling for Product Collaborative Design Based on Multi-rule

SONG Li-jun<sup>1</sup>, YANG Yu<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1,2</sup>, YIN Sheng<sup>1</sup>, WANG Wei-li<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;

2. The Second Department, Chongqing Communication College, Chongqing 400035, P. R. China)

**Abstract:** This article proposes a method of collaborative design tasks dynamic composition based on complex regulation. The aim is to overcome the limits of tasks composition regulation based on the oneness character. A temporal model to establish the tasks and the character system to array the tasks during the collaborative product's development process were studied. For optimized design tasks composition, a multi-object function of regulation rights was put forward to obtain the rights of different regulations available to compose regulations. Operation sequencing was processed in an orderly manner by the weights and the optimized task sequence was confirmed.

**Key words:** collaborative product development; compound rule; task ranking

在协同产品开发中,设计人员的工作任务有可能在某一段时间到达很多,有紧急任务,也有时间较为松弛的任务。对于任务的轻重缓急,需要有一个合理的安排以使得设计任务可以尽可能按照客户需求按时完成或者将延迟损失降低到最小。关于任务排序,许多学者对此做了研究,文献[1]提出了按加权折扣最短加工时间优先(WDSPT)规则排序方法,得到了加工任务在线最优排序。文献[2]提出了一种基于时间裕度的任务选择方法。文献[3]讨论了混合优先约束下带模糊交货期的单机调度问题。这

些研究都是基于某一任务特征建立相应的优先规则进行排序,但基于单一特征的优先规则排序存在着很大的局限性与不合理性,不符合实际企业生产任务排序的实际需求。文献[4]提出了一种 workflow 排序模型,并创建了包含有5个特征的特征体系,利用模糊层次分析法进行排序,解决了含有模糊特征的任务排序问题,但对于任务特征的评价以及排序过于主观,缺乏客观性且难以量化。

以上研究大都以单机排序问题<sup>[5]</sup>为研究对象,对于协同产品开发中设计者工作任务排序的研究论

收稿日期:2007-09-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70501036);重庆市科技攻关资助项目(CSTC,2007AC2039)

作者简介:宋李俊(1974-),男,重庆大学博士研究生,主要从事制造系统工程、网络化协同制造等研究。杨育(联系人),男,重庆大学教授,博士生导师,(Tel)023-66779819;(E-mail)yuyang@cqu.edu.cn。

述较少,笔者对于协同产品开发中工作任务的排序问题,参考借鉴以往任务排序的研究成果并针对上述研究的不足,提出了一种考虑多个任务特征的基于复合规则的设计任务排序方法。

## 1 设计任务完成时间模型

协同产品开发中执行一项设计任务时存在两种情况:当任务执行时出现异常或者出现设计者不能解决问题时,就有可能出现任务中断情况;如果执行过程中没有出现中断情况则称为任务不中断。设没有出现中断情况下任务  $j$  完成所需的时间为任务正常设计时间  $d_j$ 。任务可能出现中断的情况归纳起来有以下 4 种:1)任务错误。任务在执行过程中出现了设计错误,此时则需要停止当前任务进程,纠正错误后再继续任务处理。2)任务异常。在处理当前任务时出现无法由设计者协调解决的问题,需要向上级请求指示。在这种情况下,设计者中断当前任务,等待上级的回复或协调。3)任务协同。出现任务协同有两种情况:一种是其他设计者向该任务的设计者发出的协助请求,设计者需要考虑是否立即中断当前自己任务去响应协同请求或者将协同请求任务加入任务队列;另一种情况是设计者在处理自己任务时需要其他人员协助参与而向他人发出协助要求,这时设计者中断当前任务等待协助人员的反馈。4)参加会议。在设计过程中因为工作小组要对某一设计任务进行共同决策或其他情况而被要求中断当前任务去参加会议。任务处理过程中的状态模型如图 1 所示。



图 1 任务状态模型图

如果任务没有出现中断情况,则任务的完成时间为任务的正常设计时间  $d_j$ ,如果出现中断情况,则任务的完成时间则需要增加一个任务中断等待时间和任务再次继续处理时的恢复时间。令  $s_j$ 、 $p_j$ 、 $r_j$ 、 $n_j$  分别表示任务  $j$  的开始处理时间、总处理时间、到达时间和当前时间; $e_j$ 、 $c_j$ 、 $m_j$  分别为出现异常时的等待上级回复时间、任务协同情况下任务协同等待时间

或任务中断等待时间、设计者参加会议时间,任务中断后的恢复因子为  $\theta$ ,则任务在各种状态下的完成时间为:

1)任务出现错误而重做时

$$p_j = d_j + (\sigma + \theta)(n_j - s_j),$$

其中  $\sigma$  为每次错误后重做时的重复比率因子  $0 < \sigma \leq 1$ 。

2)任务出现异常时

$$p_j = d_j + e_j + (\omega + \theta)(n_j - s_j),$$

其中  $\omega$  为异常后重做该部分时的重复比率因子。

3)执行任务  $j$  时出现任务协同情况下

$$p_j = d_j + c_j + \theta(n_j - s_j)。$$

4)在出现设计者参加会议的情况下

$$p_j = d_j + m_j + \theta(n_j - s_j)。$$

综合上述结果,任务  $j$  的完成时间模型为:

$$p_j = d_j + \lambda_1(\sigma + \theta)(n_j - s_j) + \lambda_2[e_j + (\omega + \theta)(n_j - s_j)] + \lambda_3[c_j + \theta(n_j - s_j)] + \lambda_4[m_j + \theta(n_j - s_j)], \quad (1)$$

其中  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  为状态出现概率系数,当任务状态分别出现错误、异常、协同、会议几种状态时  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  为 1,否则为 0。

## 2 任务特征体系及优先规则

目前大多排序方法只是基于任务的某一个特征对任务进行排序,但在协同产品开发中,设计者所处的工作环境更为复杂,牵涉到多个部门、多学科人员的参与,因此仅以某一特征对任务进行排序不能得到合理优化的任务序列,也不符合实际工作的需要。设计者常常考虑任务的多方面特征来进行综合评定。选择设计任务特征时,任务本身的时间特性、所有任务的全局时间特性、任务的重要性是 3 个需要兼顾的方面。基于上述考虑,笔者选择任务到达时间、任务处理时间、任务截止时间和任务重要性 4 个特征构建任务排序特征体系。针对以上各个特征的相应优先排序规则为:1)先到达先设计(FCFD)排序规则。根据任务到达的时间,先进先出。FCFD 是一种体现公平的优先规则且操作简单,缺点是不能保证紧迫任务会得到及时处理。2)最短处理时间(SDT)规则。所需时间最短的任务优先执行。优点是能有效降低任务的平均等待时间,提高任务完成率,但对于需要长时间处理的任务不利。3)先交付先执行(EDD)规则。首先选择要求完成时间最早的任务先执行,可以保证任务不耽误约期。4)按任务重要程度排序规则(WBS)。按任务重要程度进行排序,重要任务优先处理,该规则可以保证重要任务

的优先完成,减少损失,但任务的完成率较低。

### 3 动态复合规则

#### 3.1 动态复合规则排序方法

解决协同产品开发环境下的任务排序问题,就是要把任务的 4 个特征综合起来考虑,笔者提出的思想是将 4 个特征对应的优先排序规则利用权重进行优序复合,利用动态的复合规则共同确定任务的排列顺序。

复合规则方法就是利用函数把多个规则复合在一起,通过改变函数中的优先规则的权重来强调某种规则或几种规则,以此来确定合适的排序计划<sup>[6]</sup>。传统复合规则的方法是利用历史统计来确定每个规则的权重,由于设计任务在实际中是复杂多变的,对于不同的设计任务,其要求完成的各指标的重要性也不相同,所以实际任务排序中不存在一种稳定的规则权重可以使各种活动的排序达到最优。还有一种方法是由专家采用两两比较法来确定各规则排序的重要程度并由此确定权重,但该方法过于主观,与客观实际存在较大偏差。笔者提出的动态复合规则排序采用仿真的方法来分析对比各个规则排序的结果,结合工作排序的目标函数来综合确定各规则的权重,从而有效复合各排序规则。由于动态复合排序规则可以利用目标函数的调整来适应任务目标重要性的侧重,而且利用仿真预测排序规则的结果,所以该方法较为合理。其步骤是:首先利用 4 个特征对应的优先排序规则对设计者的工作任务进行排序,对各规则的排序结果,依据笔者提出的任务完成时间模型进行任务处理过程仿真,得出每种排序规则下的指标数值,然后建立包含有规则权重变量的目标函数,通过求解该目标函数求出各规则的权重,最后利用权重对各个优先规则的各任务排序进行复合,确定出优化的任务总排序。

#### 3.2 动态复合规则排序过程

为了便于描述,以一个算例来说明基于复合规则的设计任务动态排序方法及其使用:

在一个协同产品开发小组中,设计者甲有 5 个设计任务等待处理,各任务的相关信息即正常设计时间、各任务的截止期限以及超期损失率如表 1 所示。

表 1 各设计任务相关信息

任务	正常设计时间/d	任务截止期限/d	超期损失率 /千元·d <sup>-1</sup>
A	8	12	6
B	4	10	3
C	10	20	10
D	5	25	8
E	11	38	12

1)各排序规则的比较。

根据 FCFD、SDT、EDD、WBS 规则得到的排序结果如表 2 所示。

表 2 4 个排序规则的排序结果

规则	工作任务排序
FCFD	A B C D E
SDT	B D A C E
EDD	B A D C E
WBS	E C D A B

依据式(1)所提的协同工作中任务完成时间模型,对按各规则排序的设计过程进行了仿真实验。对于此例,设定几种中断情况时的相关参数为:任务协同出现概率为 4%,协同等待时间为 1 d;任务出现异常概率为 2%,异常等待时间为 0.5 d;参加会议概率为 1%,参加会议时间为 2 h;重复比率因子  $\sigma$ 、 $\omega$  都设为 0.1,恢复因子为 0.05。任务出现错误的概率函数  $f_j(t)$  为递减函数,如图 2 所示。这里假设

$$f_j(t) = 0.2[1 - t/p_j]^2, \quad (2)$$

式中  $0 \leq t \leq p_j$ 。

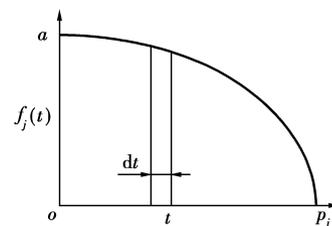


图 2 错误概率函数

用 matlab 软件进行仿真,仿真结果的几个指标如表 3 所示。

表 3 4 个排序规则的排序比较

规则	平均完成时间/d	平均误工数/个	平均延迟时间/d	平均损失 /千元
FCFD	8.7	1.20	3.5	5.6
SDT	8.0	0.51	2.0	7.0
EDD	8.4	0.92	1.6	7.1
WBS	8.9	1.45	4.0	4.6

从仿真结果可以看出,没有一种排序规则对所有的规则在所有情况下取得最优,这已经被工作实践已证实。

2)建立目标函数,求取各规则权重。

设  $x_i (i = 1, 2, 3, 4)$  分别为 FCFD、SDT、EDD、WBS 4 种规则的权重,每个规则的权重应使目标函数平均完成时间、平均误工个数、平均延迟时间以及平均损失最小。求取规则权重的数学模型为:

$$\min(8.7x_1 + 8.0x_2 + 8.4x_3 + 8.9x_4),$$

$$\min(1.20x_1 + 0.51x_2 + 0.92x_3 + 1.45x_4),$$

$$\begin{aligned} & \min(3.5x_1 + 2.0x_2 + 1.55x_3 + 4.0x_4), \\ & \min(5.6x_1 + 7.0x_2 + 7.1x_3 + 4.60x_4), \\ & \sum x_i = 1, x_i \geq 0 (i = 1, 2, 3, 4). \end{aligned}$$

采用“逼近理想点”方法,利用 matlab 工具求解此模型得到:

$$x_1 = 0, x_2 = 0.379, x_3 = 0.1908, x_4 = 0.4302。$$

3) 复合总排序。

在取得各规则的权重后,要对各任务进行复合总排序需要先计算出任务在各排序规则下的优序值。

定义:优序值是指每个排序规则下按照排序标准,各任务指标值与排序标准下最优指标值的相对偏差。用公式表示为

$$f_{ij} = \frac{|r_{ij} - r_{imin}|}{\sum_{j=1}^n |r_{ij} - r_{imin}|}, \quad (2)$$

其中: $n$  为任务个数; $f_{ij}$  为排序规则  $i$  下任务  $j$  的优序值; $r_{ij}$  为排序规则  $i$  下任务  $j$  的指标值; $r_{imin}$  为排序规则  $i$  下最优指标值,例如在 FCFD 排序规则下,指标值  $r_{ij}$  为任务到达时间, $r_{imin}$  为最早到达任务的到达时间。

计算出各任务在各排序规则下的优序值后进行加权平均就得到复合规则下该任务的总优序值,计算结果见表 4。根据任务的总优序值大小就可以确定现有任务的最优排序,总优序值越小,则该任务越优先处理。

比较各任务的总优序值:

$$0.1551 < 0.1846 < 0.2018 < 0.2140 < 0.2445。$$

得知复合规则下任务的最优排序为:

$$D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow E。$$

表 4 各优先规则下任务的优序值及总优序值

规则	权重	优序值				
		A	B	C	D	E
FCFD	0	0	0.123	0.225	0.304	0.348
SDT	0.3790	0.222	0	0.333	0.056	0.389
EDD	0.1908	0.036	0	0.182	0.273	0.509
WBS	0.4302	0.286	0.429	0.095	0.190	0
总优序值		0.2140	0.1846	0.2018	0.1551	0.2445

产品设计过程是一项复杂的活动,设计过程中牵涉到人的许多主观因素以及偶然事件的影响。对于这种不确定性,仿真方法通过设定设计过程的环境参数,对设计过程进行仿真可以较为准确地预测各种不确定性环境下的结果。笔者提出的基于复合规则的动态排序方法是对当前所有任务进行优化排序,通过对多人多任务的设计过程多次地仿真可以得到客观的结果数据,因此对当前任务来说确定的复合规则权重较为合理。当有新任务加入时,需要对没有开始进行的工作再进行排序,各规则权重会发生变化,即规

则权重是动态的。

## 4 结束语

提出了一种基于复合规则的设计任务排序方法。在建立了 4 个特征体系并提出相应的优先规则的基础上,通过建立求取权重的数学模型求解出规则复合函数中的权重,用加权法各任务的优序值进行复合总排序,确定出最优的任务排序。该方法由于使用的是复合规则使任务排序更加合理,对不同的任务集合,其规则权重也相应地变化,符合实际。并且该方法还具有较高的计算效率,易于编程实现,具有较好的实用性。

## 参考文献:

- [1] 杨斌鑫,刘小冬,成龙. 单机排序问题 1 |  $r_j, prmp$  |  $\sum w_j(1 - e^{-ac_j})$  的动态在线调度[J]. 运筹与管理, 2004, 13(1): 23-26.  
YANG BIN-XIN, LIU XIAO-DONG, CHENG LONG. On-line single-machine dynamic scheduling for 1 |  $r_j, prmp$  |  $\sum w_j(1 - e^{-ac_j})$  [J]. Operation Research and Management Science, 2004, 13(1): 23-26.
- [2] 段永强,曹健,张申生. workflow 系统中的动态任务调度[J]. 中国机械工程, 2002, 13(3): 233-235.  
DUAN YONG-QIANG, CAO JIAN, ZHANG SHEN-SHENG. Dynamic task scheduling method for workflow management [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(3): 233-235.
- [3] 谢源,谢剑英,邓小龙. 混合优先约束下带模糊交货期的单机调度问题的研究[J]. 信息与控制, 2005, 34(3): 369-372.  
XIE YUAN, XIE JIAN-YING, DENG XIAO-LONG. Fuzzy single machine scheduling problem with mixed precedence constraints and fuzzy due dates [J]. Information and Control, 2005, 34(3): 369-372.
- [4] 刘怡,张子刚. 基于模糊层次分析法的工作流任务排序研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(5): 688-701.  
LIU YI, ZHANG ZI-GANG. Research on tasks ranking in workflow based on fuzzy analytic hierarchy process [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(5): 688-701.
- [5] 唐恒永,赵传立. 排序引论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [6] 吕文阁,姜莉莉,张海燕,等. 动态复合规则的作业排序方法[J]. 机床与液压, 2001(5): 47-48.  
LV WEN-GE, JIANG LI-LI, ZHANG HAI-YAN, et al. Work scheduling method based on dynamic compound rule [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2001(5): 47-48.

(编辑 李胜春)