多级协同项目执行中的资源冲突检测与管理

乔立红 王 超

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：以航空航天型号工程项目为背景，针对多级协同项目中的资源冲突问题，利用基于时间约束网络的冲突检测算法实现了多级协同项目中的资源冲突检测，该算法建立了任务关系的时间约束网络模型，给出了基于模型的线性化、实例化方法和检测判据. 针对资源冲突的检测结果表达及冲突信息的管理提出多视图表达方式，建立了基于UML的信息模型. 基于研究结果设计开发了项目资源管理原型系统，以某航天项目任务的管理为例进行了验证，表明了研究结果的有效性.

关 键 词：项目管理；资源分配；约束；冲突避免

中图分类号：TP 391

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)11-1266-06

Resource conflict detection and management in implementation of multi-level and collaborative projects

Qiao Lihong Wang Chao

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: To solve the resource conflict problem in multi-level and collaborative engineering projects in aviation and aerospace industries, the detection of resource conflicts was studied using a temporal constraint network algorithm. In the algorithm, a task relationship model for temporal constraint networks was built. Based on the model, a linearization method was developed to deal with concurrent tasks, as well as an instantiation method to import temporal constraint data into the model. By implementing the procedures of the algorithm, the proposed conflict detection criterion can be applied to detect resource conflicts in engineering projects. To express and manage the detection results, an information model based on UML was established and multi-view approaches including Gantt chart, man-hour chart, and resource calendar view were used as standard expression mode. A project resource management prototype system was developed and examined with an example of aerospace engineering project to illustrate the effectiveness of the proposed approach to resource conflict detection and management.

Key words: project management; resource allocation; constraint; collision avoidance

型号工程项目管理是我国国防现代化建设中一个非常重要的研究内容. 航空航天企业型号工程项目是典型的多级协同项目，具有研制周期长、投资数额大、协同单位多、组织管理复杂的特点[1]，这使得其项目管理过程中的计划、进度和资源管理等不仅需要考虑普通项目管理中的协同问题，还需要考虑不同管理层次间的各种协同问题. 目前，我国航空航天型号工程项目管理中已形成组织结构跨越集团、研究院、研究所、制造厂的多级协同项目管理模式.

资源是项目执行以及最终实现所必需的保障，但由于项目实际执行过程中的动态性，多个项

收稿日期：2007-11-26

基金项目：国家863计划资助项目((2006AA04Z155)

作者简介：乔立红(1961—)，女，北京人，教授，lhqiao@buaa.edu.cn.

目同时竞争某些关键资源的情况经常发生,即产生资源冲突,它会造成不同管理层次之间的计划冲突,形成冲突在整个项目中的传播.这种资源冲突是在项目计划阶段进行资源优化配置时所不能预料和解决的.因此,对项目执行过程中产生的资源冲突在不同管理层次和任务分解粒度上进行实时检测和管理,并对资源进行动态的合理再分配是项目顺利进行的重要保障.本文针对这种实时资源冲突检测和管理进行研究.

1　研究与应用现状

目前,国外大型工程项目多采用较为先进的具有多级协同管理能力的项目管理软件,例如,美国波音集成防务系统采用了 Open Plan,洛克希德马丁公司 JSF 联合攻击机项目采用了 UGS 公司的全生命周期管理软件等[2].在国内,航空某企业基于 Microsoft Enterprise Project Management(EPM)系统构建了企业项目协同管理平台.在航空航天工业领域,面向集团企业的多级项目管理平台正在构建中.这些平台都包括与资源及资源冲突管理相关的模块,对资源冲突的管理是其中的一项重要内容.

资源冲突检测属于冲突检测的研究范围,在冲突检测领域已有较为深入的研究.冲突检测方法一般可分为领域无关方法和领域相关方法,两者的区别在于是否利用了领域知识来判定冲突是否存在.经典冲突检测方法一般可分为以下 4 类:①基于 Petri 网一致性的冲突检测;②基于真值的冲突检测;③基于约束不可满足的冲突检测;④基于启发式分类的冲突检测.在实际应用中,冲突检测的方法常是基于真值的检测与基于约束的检测的结合[3-4].但是针对资源冲突尤其是多级协同项目中的资源冲突检测,相关研究还较少,也没有成熟的理论和算法作为支持.本文针对我国航空航天型号工程项目多级协同及资源管理的特点,利用基于多级时间约束网络的冲突检测算法实现了资源冲突的实时检测,并给出对检测结果的表达及其管理方法.

2　冲突检测与冲突表达

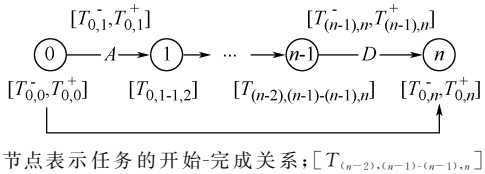
2.1　基于基本时间约束网络的资源冲突检测

造成资源冲突的主要原因可以分为:①资源的分配过渡,即任务的时间重叠;②前序任务延期对后序任务造成影响;③任务时间与资源日历不符.上述原因的共同之处在于资源占用时间的重叠.因此,时间就是判断资源状态的重要信息,时间因素主要包括资源所承担任务的计划及实际开始、结束时间等[5].根据此特点,通过任务的连接关系以及各项时间信息可建立资源在项目执行过程中的基本时间约束网络,并以此为基础通过网络约束检测资源冲突.

利用资源的任务计划时间约束网络进行资源冲突检测主要分为以下几个步骤:

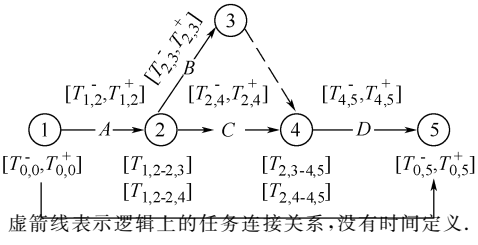
1) 描述资源承担任务的关系模型

图 1 给出了反映一个资源上所承担任务的时间约束模型的示意.设任务的时间区间为$[T^{-}_{(n-1),n},T^{+}_{(n-1),n}]$,$T^{-}_{(n-1),n}$和 $T^{+}_{(n-1),n}$分别表示完成任务的时间下限及上限,针对已完成的任务$T^{-}_{(n-1),n}=T^{+}_{(n-1),n}=T$,其中 T 为任务的实际执行时间.开始节点至结束节点的时间区间为$[T^{-}_{0,n},T^{+}_{0,n}]$,表示了完成网络内任务的总时间区间限制.图 2 给出了一个利用该模型建立的任务时间约束关系网络的实例.



节点表示任务的开始-完成关系;$[T_{(n-2),(n-1)-(n-1),n}]$表示节点所连接两个任务的时间间隔;$n$ 表示节点编号;$[T^{-}_{0,0},T^{+}_{0,0}]$表示任务网络起始任务的最早和最晚开始时间;实箭线表示连接的两个节点所代表的一个任务的两个状态间有时间关系.

图 1　任务关系的时间约束模型示意



虚箭线表示逻辑上的任务连接关系,没有时间定义.

图 2　任务关系的时间约束实例

2) 任务模型的线性化

资源执行任务一般是按照任务的优先顺序串行执行的,对于某些具有并行执行能力的资源(如多工位加工中心),可将其并行任务合并为单一任务来处理,执行时间为并行任务中的最长时间;对于没有并行能力的资源,处理并行任务时,需要将其进行线性化处理.线性化是将原时间区间分割成更小时间区间分别执行不同的任务,任务先后顺序由任务优先级决定,从原时间区间尺度来看仍保持了任务的并行.以图 2 网络为例,对其进行线性化后的结果如图 3 所示.

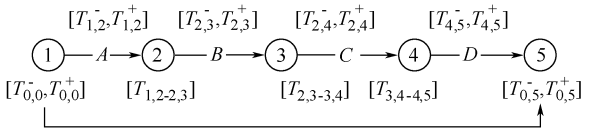


图3 任务关系线性化结果

3) 时间约束网络表达的实例化

实例化是将冲突检测所需时间信息导入约束网络,主要包括以下时间信息:

① 已完成任务实际所花时间或实际完成日期;

② 未完成任务计划所需时间或计划完成日期;

③ 任务的极限完成时间.

这些时间信息可以以定量时间约束的形式添加到时间约束网络中.

资源的类型主要可以分为工时型资源(如人员、设备)和消耗型资源(如物料).针对工时型资源,可以将任务的各种时间表示统一以工时作为度量单位,根据资源的每日可用工时将日期转换为工时表示.假设某资源每天可用工时为8 h,A任务需要10 d完成,即$A\in[80,80]$,B任务需要2~3 d完成,即$B\in[16,24]$,假设开始节点$[T_{0,0}^{-},T_{0,0}^{+}]=[0,0]$,任务时间约束为15~16 d,即$[T_{0,5}^{-},T_{0,5}^{+}]=[120,128]$,任意两任务时间间隔为[0],将各任务的时间约束信息加入到网络中后,该资源及其与任务的关系可形成如图4所示的描述.

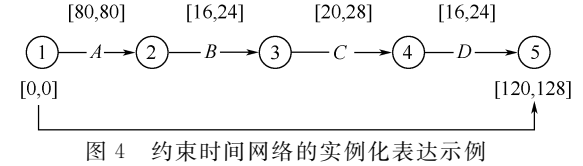


图4 约束时间网络的实例化表达示例

4) 时间约束网络的冲突检测

在时间约束网络中包含有已完成任务的实际执行时间,未完成任务的计划执行时间以及限定的任务额定完成时间,由于各任务所需时间可能不满足任务的总额定时间,造成该总时间区间内任务争夺资源,即资源的总可用工时小于任务的需求总工时.对时间约束网络进行冲突检测就可以发现冲突是否存在,方法为检测从节点i~j之间($j>i$)沿着网络路径的时间约束关系是否满足节点i与节点j的直接约束关系即任务的总时间区间约束.定义两个节点i和j之间的约束为$[T_{ij}^{-},T_{ij}^{+}]$,沿着i和j之间网络路径的约束为$[T_{i(i+1)}^{-},T_{i(i+1)}^{+}]+\cdots+[T_{(j-1)j}^{-},T_{(j-1)j}^{+}]$,则有:

$$[T_{ij}^{-},T_{ij}^{+}]>[T_{i(i+1)}^{-},T_{i(i+1)}^{+}]+\cdots+[T_{(j-1)j}^{-},T_{(j-1)j}^{+}] \quad (1)$$

式中,“>”定义为区间比较.

由式(1)可给出时间约束网络的冲突检测判据为:如果式(1)成立且符号两边不存在区间交集,则该时间约束网络一定不存在冲突;如果区间存在交集则有可能存在冲突,需要根据更多任务的实际执行情况来判断;如果式(1)不成立则网络一定存在冲突.

利用冲突检验判据检验图4所示约束网络的过程如下:

$$[T_{12}^{-},T_{12}^{+}]=[80,80] \quad (2)$$

$$[T_{12}^{-},T_{12}^{+}]+[T_{23}^{-},T_{23}^{+}]=[80,80]+[16,24]=[96,104] \quad (3)$$

$$[T_{12}^{-},T_{12}^{+}]+[T_{23}^{-},T_{23}^{+}]+[T_{34}^{-},T_{34}^{+}]=[96,104]+[20,28]=[116,132] \quad (4)$$

$$[T_{12}^{-},T_{12}^{+}]+[T_{23}^{-},T_{23}^{+}]+[T_{34}^{-},T_{34}^{-}]+[T_{45}^{-},T_{45}^{+}]=[116,132]+[16,24]=[132,156] \quad (5)$$

$$[T_{15}^{-},T_{15}^{+}]=[120,128]>[132,156] \quad (6)$$

此例中式(6)不成立,因此可以判断出图4网络中存在资源冲突.如果利用更多时间约束信息,则可以更具体地定位冲突的位置.

2.2 基于多级时间约束网络的资源冲突检测

多级协同项目的特点是项目跨越了多个管理层次,在不同的管理层次上项目的分解粒度不同,而在时间维度上各个管理层次又是统一的,不同管理层次之间靠一种约束关系来维持这种统一,这种约束关系可以用多级的时间约束网络来进行描述.基于以上分析,本文给出了在多级协同项目中建立并求解资源冲突问题的方法.

以2.1节中描述的模型为基本时间约束网络.根据基本时间约束网络资源冲突检测的原理,针对多级协同项目可以建立多级的基本时间约束网络,以完成资源冲突的检测.图5为多级时间约束网络的示意图.

上层网络中的每个任务节点可以细化成下层

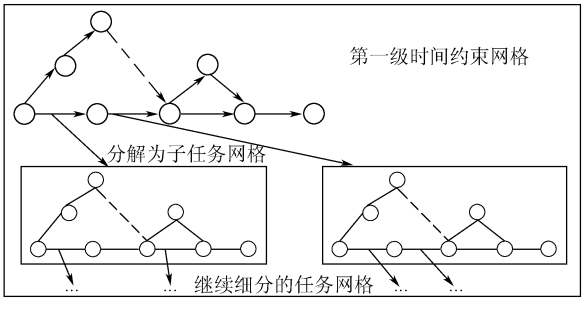


图5 多级时间约束网络示意图

的一个子任务网络,通过逐层细化,可以建立起底层资源(如某个人员、设备)的时间约束网络,对多级时间约束网络进行资源冲突的检测的方法是:首先利用基本时间约束网络检测算法对底层进行检测,如果存在冲突,将影响上层网络中对应任务的时间约束关系,再通过对上层网络进行冲突检测判断上层任务之间是否存在资源冲突.由于冲突有可能逐层上传,将影响总任务的时间节点,因此,底层资源即成为"关键"资源.图 6 给出了在多级协同项目中利用时间约束网络进行资源冲突检测的算法流程.

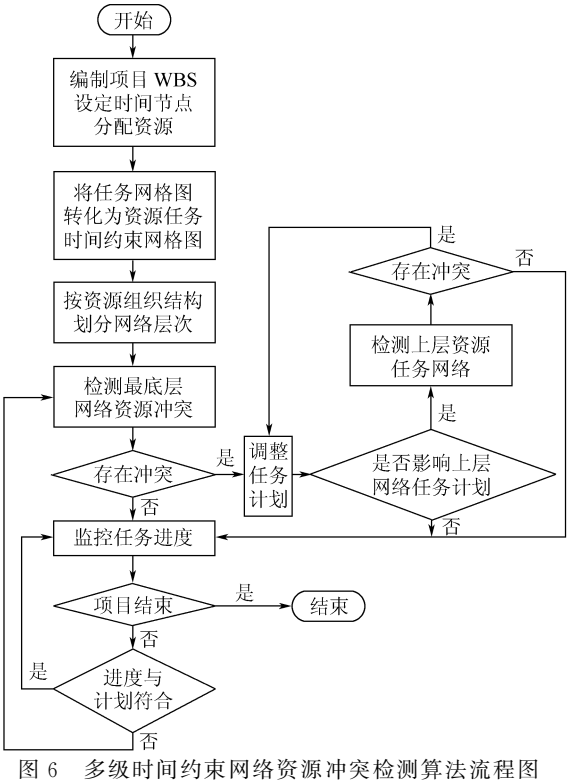


图 6　多级时间约束网络资源冲突检测算法流程图

这种多级时间约束网络的方法利用基本时间约束网络的检测原理和多级任务上下层之间的约束关系实现了多级协同任务资源冲突的实时检测.

2.3　资源冲突检测结果的表达

资源冲突检测结果的表达主要有两方面的任务,一方面是要将检测的结果以直观、准确的方式提供给项目管理者,以便针对冲突的消解做出决策;另一方面是要对检测到的资源冲突进行分析、提取、加工、存储等处理,为资源冲突消解的辅助决策和项目计划的再优化进行数据准备.

在资源冲突的直观表达上,本文采用了多视图的方式,主要包括甘特图、资源工作量图、资源日历和资源工作组工作量图几种图形化的表达方式.

针对某个组织资源,可以采用甘特图的形式来表达其当前的任务安排信息,如图 7 所示.



图 7　任务安排的甘特视图表示

针对底层的具体资源,可使用资源工作量图和资源日历的形式来表达其当前的使用状态和冲突信息,如图 8、图 9 所示,资源工作量图采用柱状图的形式表达了资源每个工作日的工作量以及超出额定量的部分,资源日历明确表达了资源每天的工作安排以及存在冲突的任务.

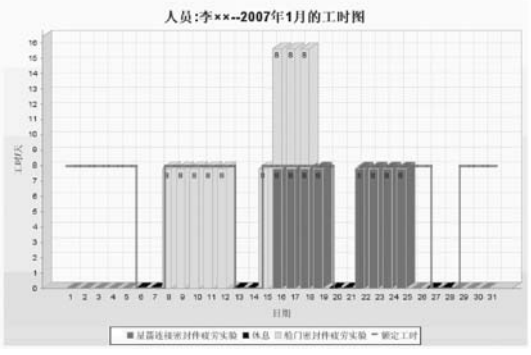


图 8　资源工作量视图

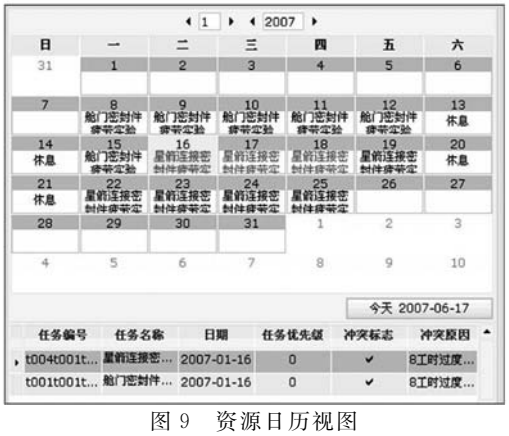


图 9　资源日历视图

针对一组具有相似功能的资源组可使用资源工作组工作量图来表达其工作状态.如图 10 所示,柱状图明确表示了组内每个资源每个工作日的任务安排以及是否有超额工作量.

资源冲突信息表达的另一个方面就是对资源的冲突信息进行有效的组织与管理,本文根据对

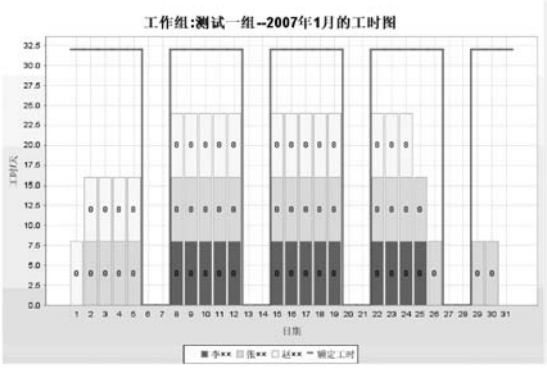


图 10 资源工作组工作量图视图

多级协同项目中的资源冲突特点的分析与研究建立了相应的资源冲突信息模型,模型通过定义冲突对象类、冲突各方类、冲突协调类、解决方案类以及各类间的关系对项目进行中的资源冲突信息进行了有效的表达,模型中引用的任务模型和资源模型是本文根据多级协同项目中的资源及任务的特点相应建立的,图 11 给出了资源冲突信息模型的示意.模型中的类、实体及属性定义在此不做具体描述.

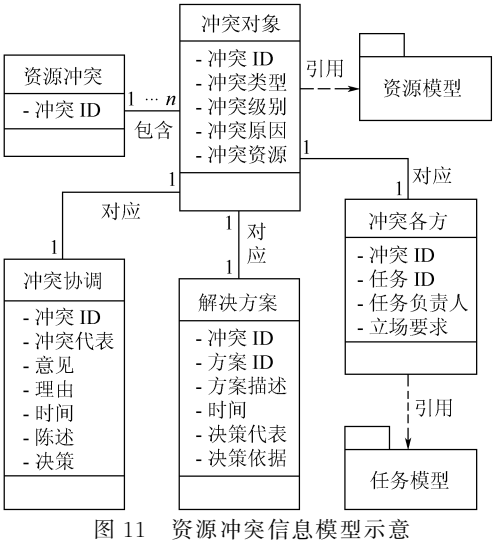


图 11 资源冲突信息模型示意

通过对资源冲突信息模型的定义可以达到以下几个应用目标:

1) 建立资源冲突的数据模型以及冲突的实例数据库;

2) 通过实例库查询以往冲突实例信息,帮助解决当前冲突;

3) 查找关键资源,经常发生冲突的资源往往就是关键资源;

4) 为基于实例和基于规则的冲突消解提供基础数据.

3 资源管理原型系统实例验证

根据对多级协同项目资源冲突的检测方法及管理技术的研究,本文基于分布式架构建立了一个项目资源管理原型系统,系统主要分为资源管理、资源维护、资源搜索、任务分配、冲突管理、安全管理 6 个模块,提供了对项目中在用资源状态的监测、执行过程中的资源冲突检测、检测结果的表达、对冲突各方协调的支持以及基于计划动态调整的冲突消解等主要功能.

为验证所建立的资源冲突检测方法和所开发系统的有效性,在研究中以航天某研究所的结构件强度测试实验任务为例进行了应用测试,测试数据在资源组织结构上跨越了集团级、厂所级、部门车间级、工作组工作单元级、人员设备级共 5 个级别,涉及 2 个型号任务静力试验工作分解结构中的 36 项子任务,表 1 列出了这 2 个型号实验中部门级所涉及的任务和任务的计划持续时间及其资源分配情况.系统利用检测算法共发现了项目执行过程中部门级、工作组级、人员设备级资源冲突分别为 1 项、3 项、4 项,图 12 给出了设计员 1 在这 2 个型号任务中的工作分布情况,从图中可看出有 3 天存在任务冲突.本文所开发的原型系统有效地利用多视图对整个项目中的冲突进行了表达,并利用系统提供的冲突协调和计划调整工具实现计划的及时调整,消解了冲突,图 13 和图 14 为部分系统界面示例.

表 1 静力强度实验任务分解结构

任务	时间/d		资源
	型号 1	型号 2	
静力试验验证的预分析	8	10	设计组
分析模型建立	5	6	设计组
中心承立筒	5	6	设计员 1
中板	2	2	设计员 2
西板	2	2	设计员 2
推进舱隔板	2	2	设计员 3
推进舱对背地隔板	2	2	设计员 3
结果分析	3	4	设计组
静强度的实验验证	21	25	强度室
安装	3	4	贴片组
实验件及仪器安装	1	2	实验员 1
工装装配	2	2	实验员 1
贴片	5	6	安装组
贴片测试	4	4	实验员 2
贴片安装	3	4	实验员 3
数据采集	13	15	设计组
现场采集	3	3	设计组
数据分析	10	12	设计组

实例验证表明,应用多级时间约束网络可以有效的发现项目任务中存在的资源冲突,多视图

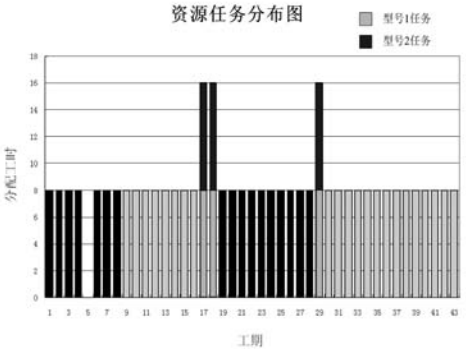


图 12　设计员 1 的工时分布图



图 13　资源冲突检测示例

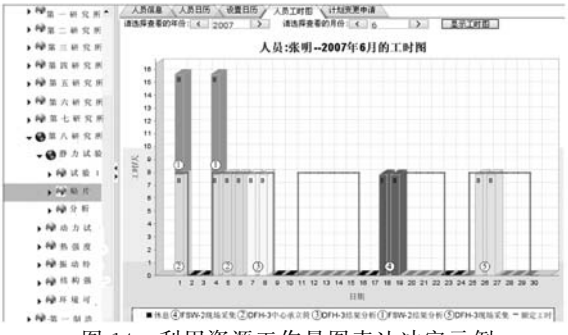


图 14　利用资源工作量图表达冲突示例

的表达方式直观、明确,系统对资源冲突信息的管理十分有效.

4　结 束 语

本文在以航空航天型号工程为代表的多级协同项目背景下,通过对基于时间约束网络的资源冲突检测算法及其在多级协同项目中的应用研究,实现了多级协同项目中动态资源冲突的检测.采用了多视图表达及分布式应用的方法对资源冲突信息进行了方便有效的管理,并通过实例验证了所建立的项目资源管理原型系统的可行性,为解决多级协同项目中的资源管理问题提供了一种有效的解决方案.针对多级协同项目资源冲突问题在理论和方法上的相关研究仍需继续进行大量深入的研究和探索,以满足我国航空航天型号工程项目管理的实际需要.

参考文献(References)

[1] 袁家军.神舟飞船系统工程管理[M].北京:机械工业出版社,2005:19－20
Yuan Jiajun. System engineering management of the ShenZhou air craft [M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 19－20(in Chinese)

[2] UGS. PLM 在 JSF 项目中的应用[EB/OL].北京:UGS,2006 [2007-11-26]. http://www.ugcax.com/ support/list.asp
UGS. Application of the PLM in the JSF project[EB/OL]. Beijing: UGS, 2006 [2007-11-26]. http://www.ugcax.com/ support/list.asp (in Chinese)

[3] 汪大勇,金炜东. 协同设计中的并行冲突检测算法[J].计算机应用,2007, 27(3): 650－652
Wang Dayong, Jin Weidong. Conflict detection algorithm in collaborative design[J]. Journal of Computer Applications, 2007, 27(3): 650－652(in Chinese)

[4] Victor Taratoukhine. Conflict management in computer supported collaborative design, the methodology and applications[C]//Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems (ICAIS'02). New York: IEEE,2002:152－157

[5] 徐文胜,熊光楞,肖田元.并行工程中时间约束网络建立及冲突检测研究[J].系统仿真学报,2003,15(2):185－197
Xu Wensheng, Xiong Guangleng, Xiao Tianyuan. Research on establishment of temporal constraint network and conflict detection in concurrent engineering[J]. Journal of System Simulation,2003,15(2):185－197 (in Chinese)

(责任编辑:文丽芳)