

基于着色 Petri 网的汽车关键零部件协同设计平台

周爱国¹, 王闻莉¹, 陆 亮¹, 周治平¹, 高卫民², 戴 轶²

(1 同济大学 机械工程学院, 上海 201804; 2 上海汽车集团股份有限公司 技术中心, 上海 201804)

摘 要: 在基于 Web 的协同设计平台上, 引入了 workflow 管理的概念, 用着色 Petri 网(CPN)定义、分析、优化的工作流程模型, 应用于平台的任务路由。此平台协同设计的理念配合 CPN 定义的流程模型, 可以更好地实现资源的分配, 项目的进度分析, 以及协调设计成员间的工作, 它将为汽车产品的协同创新设计提供一个良好的开发环境。

关键词: 协同设计; 着色 Petri 网; 工作流

中图分类号: TH166

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)06-0142-06

Collaborative Design Platform for Auto Key Parts Based on CPN

ZHOU Ai-guo¹, WANG Wen-li¹, LU Liang¹, ZHOU Zhi-ping¹, GAO Wei-min², DAI Yi²

(1 Mechanical Engineering Institute, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2 Technology Center of Shanghai Automotive Industry Corporation Group, Shanghai 201804, China)

Abstract: The concept of workflow management techniques was introduced to the collaborative platform which was based on Web, and the process model which was defined, analysed, and optimized by the Colored Petri Net(CPN) was applied to the task routing of the platform. The concept of collaborative design and the process model defined by the CPN will better allocate the resources, better analyse the process of the project, and better coordinate the design work among members. This collaborative platform will provide a good development environment for the collaborative design of automotive products.

Key words: collaborative design; Colored Petri Net; workflow

1 引言

随着汽车行业市场竞争的日益激烈, 汽车企业需要通过提升快速响应能力与加强创新能力来建立其竞争优势, 传统的产品开发模式受到严峻的挑战^[1]. 计算机支持的协同工作(Computer Supported Cooperative Work, CSCW)技术, 随着 Internet 技术的迅速发展及普及越来越受到企业管理者的重视. 对于整车关键零部件的协同设计, 要求企业根据零件的特点、协同设计的规律、以及各种约束条件, 制定出合理的协同设计方案, 这样才能缩短设计周期、减少设计成本和提高设计效率, 适应日益剧烈的市场竞争^[2].

本文在 CSCW 平台的基础上, 以提供适合汽车

关键零部件协同设计的方法为目的, 以着色 Petri 网原理为基础, 引入了 workflow 管理系统模型, 该模型在分析、优化协同设计的流程建模方面具有更多优势.

2 汽车关键零部件协同设计平台构架

协同设计的实施是以划分出一系列子任务为基础, 各个设计小组承担不同的子任务^[3]. 协同设计平台总体结构如图 1 所示.

该平台采用 B/S 三层架构, 数据库在服务器端, 它是该体系结构的核心, 主要实现用户权限的判断和功能设计、冲突消除, 以及用户共享数据库的管理. 服务器层的这些功能通过 ASP.NET 的编程实现, 面向数据库的部分程序通过 ADO.NET 与数据

收稿日期: 2010-09-14; 修回日期: 2010-12-01

基金项目: 上海市科委火炬计划项目(08Dz1120702)

库连接。

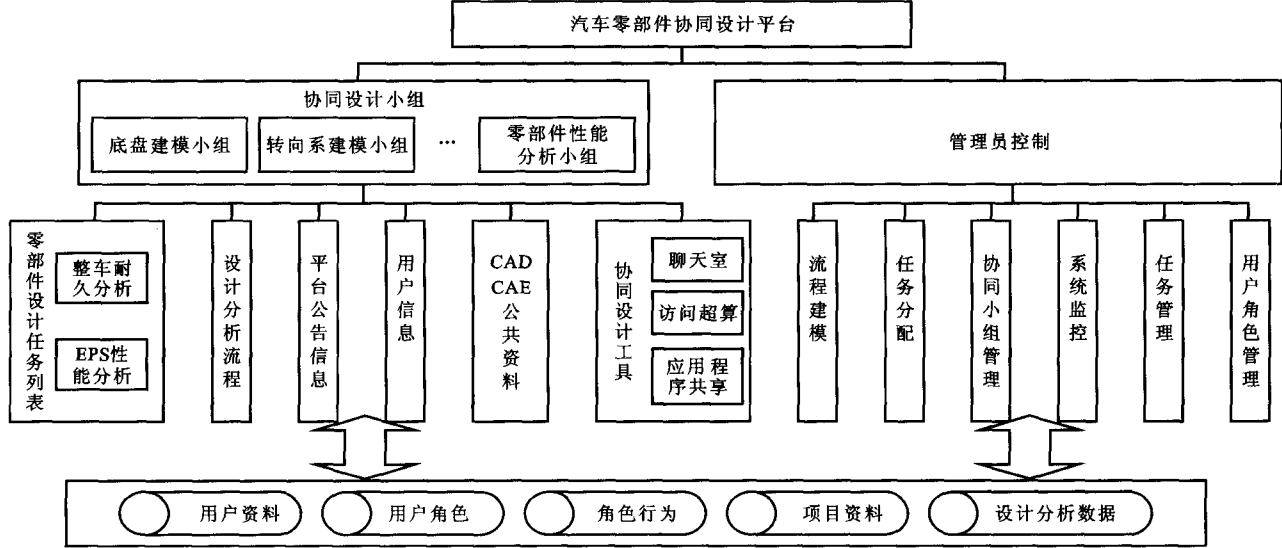


图 1 协同设计体系总体结构

用户操作和管理员控制通过数据库进行通讯，用户之间可通过平台自带的聊天室及系统公告进行通讯。管理员控制端的主要作用是负责业务流程定义、控制和协调，保证流程的正确执行，即在正确的时间，以正确的顺序，将适合的任务分配给适合的人，并对业务全程进行完全地控制。

3 协同设计平台 workflow 系统

工作流(Workflow)的概念是企业管理中为提高工作效率而产生的，它能更好地实现组织成员间的协调工作，从而实现某个预期的业务目标。工作流管理联盟(Workflow Management Coalition, WfMC)将工作流定义为，业务过程的全部或部分自动化，在此过程中，按照一系列过程规则，文档、信息或任务在不同的执行者之间进行传递与执行^[4]。

本协同设计平台的工作流系统主要包括 4 部分：流程建模，资源管理，数据管理，和小组管理。图 2 以基于该平台的 PAVE 路谱的整车耐久分析为例，说明它们之间的关系。

流程建模用来定义工作流的过程逻辑，包括一个项目中的所有设计活动以及活动之间的关系，它决定了信息传递路由。资源和数据的良好管理是任务顺利向前推进的保证，管理人员根据任务实际执行的情况灵活的激活、挂起、停止活动。此外，协同小组对资源的方便调用则是提高协同效率的重要途径。

流程建模是整个工作流的基础和核心^[5]，系统若缺乏强大的流程逻辑，系统势必变得容易出错，出

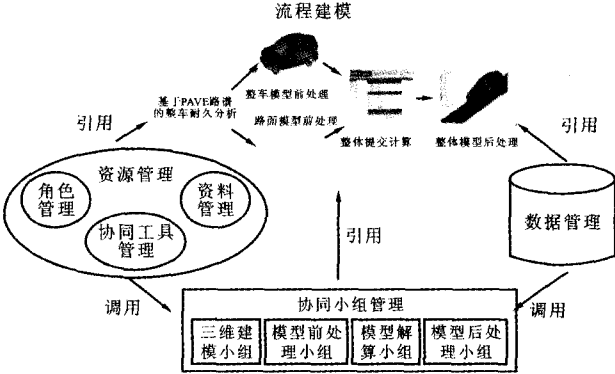


图 2 基于 PAVE 路谱的整车持久性协同设计分析 workflow 模型

现信息路由错误、死循环等。迄今为止已经有多种流程建模方法，如关键路径法(CPM)，设计结构矩阵(DSM)，结构化分析方法，IDEF 系列方法，Petri 网建模方法^[6]。其中 Petri 网以直观的图形化表示，和较强的动态分析能力的特点，成为工作流建模最常用的一种方法。经典的 Petri 网在 1970 年代由德国学者 C. A. Petri 提出的，应用经典 Petri 对简单系统进行建模和分析是足够的，但对大型的复杂系统建模，其表达能力就显得有些不足，建立的系统模型将非常庞大、复杂，往往会出现状态爆炸等问题^[2,7]。同时，基本 Petri 网不包含时间概念，因此它只能描述与时间无关的制造系统功能^[8]。赋予 Petri 网“颜色”、“时间”的概念就形成了着色 Petri 网(CPN)，它通过对网系统中的标志(token)进行分类，使网系统中的基本元素减少，达到缩小网系统的目的，同时在库所、变迁和托肯中加入了时间因素。

汽车零部件的复杂性与多样性决定了该平台是

多项目、多阶段、多人参与,以及涉及多学科的协同设计系统,流程模型的建立需要考虑设计、人员、一致性等诸多因素.考虑到该平台的特点,经典的 Petri 已经不能胜任,故采用着色 Petri 网(CPN)进行流程建模,在缩小网系统的同时,缩短了模型仿真的时间,同时在项目初期就考虑到了时间因素,在项目初期就可以进行合理的人员安排与资源调度,从而达到提高设计效率,缩短设计周期的目的.

4 着色 Petri 网相关概念及的汽车关键零部件协同设计流程

4.1 着色 Petri 网(CPN)的基本理论

该协同平台利用基于 CPN 的工作流模型,对协同平台进行优化,将注意力集中于完成工作的整个流程,现给出汽车关键零部件协同设计过程 CPN 描述.

定义 1 汽车关键零部件协同设计着色 Petri 网,是一个多元组 $CPN = (\sum, P, T, A, N, C, G, E, I, D)^{[9]}$. 各元素定义如下:

- (1) $\sum$ 是非空的有限颜色集;它的每一个元素就代表了一种类型;
- (2) P 是有限个库所的集合;
- (3) T 是有限个变迁的集合;
- (4) A 是弧(流关系)的有限集合,它满足这样的特性 $P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$;
- (5) N 是节点函数,是定义 A 到 $P \times T \cup T \times P$ 的函数;
- (6) C 为颜色函数,它是 P 到 $\sum$ 的映射;
- (7) G 称之为守卫函数,它定义 T 上的表达式,该表达式的值是布尔值;
- (8) E 是弧 A 上的表达式,表达式中涉及的变量都必须属于 $\sum$,并且表达式中的变量都属于与 A 相连的库所的颜色集 C ;
- (9) I 是初始化函数,是定义在库所 P 上的表达式;
- (10) D 是变迁的触发时间的有限集合.

4.2 基于 CPN 的流程建模

4.2.1 工作流基本 Petri 网模型结构

工作流联盟(WfMC)定义了 6 种工作流原语,即与连接、与分支、或连接、或分支、循环,以及因果关系,根据 Petri 网的语言特点,实现了工作流原语向 Petri 网的转换,且构造出了串行、并行、条件选

择、循环四种基本工作流网结构^[10]. 如图 3 所示.

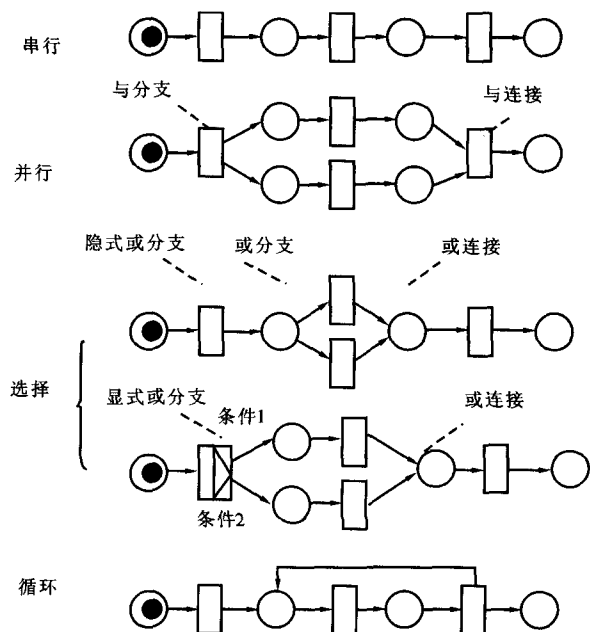


图 3 4 种基本工作流网结构^[10]

串行结构在汽车零部件设计过程中普遍存在,在新零件设计时,就必须经历概念设计→特征设计→性能分析的典型串行模型.再例如零部件的 CAE 分析中,就要经历前处理→模型分析求解→后处理的串行过程^[2].

该设计平台的特点是存在大量的并行结构,提高设计效率的关键就是合理的安排并行结构.例如,对设计好的零部件进行性能分析,小组 A 进行动力学分析,小组 B 针对强度、刚度进行分析,小组 C 则分析振动特性等等,由于各协同小组针专业知识不同,并且在完成局部性能分析时尽可能使自己的目标值取最优,所以在各小组任务并发完成后,必须将各项分析结果综合,再对结构提出改进方案.

选择结构也叫条件结构,根据具体的执行情况在工作流路径上进行路由选择.它有两种情况,分别称为“隐式或分支”和“显示或分支”,它们之间的区别是,前者的选择结果和前一个活动无关,而后的选择结果和前一个活动执行后的结果有关.

循环结构主要用于消除协同设计过程中的冲突,任务往前推进,有不同设计版本出现时,必须通过循环结构,进行任务回溯.虽然大量的循环结构影响任务完成的效率,但是协同设计过程中必然会涉及到冲突,因此循环结构是必不可少的.

4.2.2 汽车关键零部件设计过程

该协同设计平台项目类型主要包括全新设计和改良设计,每一个项目又主要包括概念设计、特征设

er”]是守卫函数,表示只有项目经理有权限执行该活动,expTime(T)为指数分布产生函数,产生均值为 T 的指数分布随即变量,通常都假设 workflow 模型的变迁延时是服从指数分布函数的,因为这种假定本身是与现实多数系统实际相符合^[10],proctime 是产生的指数分布随即变量,“@+proctime”就表示变迁延时,即任务的执行时间.任务向前推进,协同小组接受任务之后根据任务类型的不同进行相关设计,若为全新设计任务,则设计工程师根据任务要求先进行概念设计,即执行图中 CD 变迁,并且为下一步的特征设计提出要求;若为改良设计任务,协同小组成员直接根据改良要求进行特征设计,即执行变迁 FD.库所 C 表示设计结果是否需改进,此例中设定返回重新设计的概率为 5%.特征设计结束后进入性能分析阶段,此阶段需要一个装配师和一个 CAE 分析师.若特征设计时有冲突,零件性能不能达到预期目标,项目经理审核后,提出改进意见,重新返回进行特征设计,如果设计零件合格,提交管理员准备存档,协同小组任务结束.

表 1 图 5 所示库所

库所	含义
A	新任务信息
B	特征设计要求信息
C	设计结果是否要改进
D	特征设计信息
E	CAE 设计信息
F	概念设计要求信息
Resource	协同小组成员

表 2 图 5 所示变迁

变迁	含义
T	创建新任务
T1	协同小组接收全新设计项目
CD	概念设计
T2	协同小组接收改良设计项目
FD	特征设计
CAE	零件 CAE 分析
check1	审核通过
check2	审核不通过

5.1.3 模型仿真分析

结合图 5 模型可进行以下仿真分析:

(1) 分析模型是否有资源争夺现象.此例中,两个项目被创建后,储存在库所 A 中,二者因类型不同,可并发向前推进,但到达特征设计阶段,都需要 2 个“technician”,会出现资源竞争,其中一方必须等待.在项目经理任务审核阶段也出现了同样的资源争夺现象.通过此项可以根据实际项目情况增加和减少协同小组数目,以及小组成员数目.

(2) 项目进度分析. workflow 模型的重要性能参数就是响应时间,在变迁上加入了时间戳,借助 CPT 就可描述各项目的推进情况.在该实例中,影响零件设计的时间因素有:设计过程中需返回重新设计的概率,资源约束,以及特征设计(关键变迁)的时间.通过此项分析可在项目未启动前就制定优化方案,缩短设计周期,提高效率.

(3) 流程合理性分析. CPN 模型的分析主要包括活性,有界性,及可达性的分析^[12]. CPN Tool 在建立模型后可进行状态空间分析,鉴于篇幅关系,下面只列出该实例模型的部分状态空间分析:

Home Properties

Home Markings:

Initial Marking is not a home marking

Liveness Properties

Dead Markings: 7 [62,61,60,59,51,...]

Dead Transition Instances: None

Live Transition Instances None

此部分状态空间分析主要分析了模型的活性和可达性.由此报告可知,该模型中除了该模型初始标识状态,其他标识都是可达的,这对于时间着色 Petri 网来说是合理的. Dead Markings 指的是死标识状态,指在该标识下,任何的赋值变迁都是非使能的. Dead Transition 指的是死的变迁,即该变迁在该模型的任何发生序列中都无法发生. Live Transition 指的是活的变迁,即在模型的任何可达标识下,该变迁都在一个可发生序列中^[12].

根据分析报告可知,本例中只存在一个死标识,即设计任务审核合格提交管理员的状态,是我们所期望的最终状态.同时,此实例中不存在死变迁和活变迁,死变迁会造成资源的浪费,若在流程分析时出现死变迁应及早改进模型.由状态空间分析可得,此例的 CPN 模型是有界的、可达的.

5.2 协同小组成员任务完成阶段

对于协同小组的成员,只有登陆了该平台才能进行角色权限内的一些操作.管理员在平台上发布

新设计任务信息,定义项目流程后,相关协同小组成员领取任务进行操作。任务完成后,只有负责人审核通过,项目才能继续向前推进,相关结果保存到相应数据库。在设计过程中,协同小组成员可通过应用程序模块中的聊天室,公告进行及时沟通;涉及到 CAE 分析解算处理时,相关的任务负责人还可以通过高性能计算模块,将数据提交至高性能计算中心。整个过程如图 6 所示。

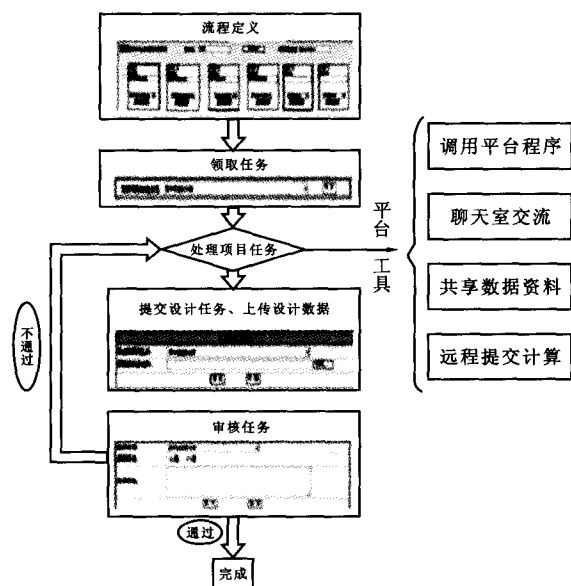


图 6 用户操作过程

6 结束语

本文从汽车企业的需求出发,针对汽车关键零部件设计,提出了以 workflow 模型优化的协同设计平台。采用基于有色 Petri 网(CPN)的方法,将注意力集中于定义、分析、优化流程,流程定义人员可以在设计的初期,利用 CPN 对流程模型进行分析,根据仿真分析结果,优化资源分配,协调设计成员间的工作,完善整个设计任务的流程定义,最后将此流程模型应用在协同平台的任务路由上,使整个项目设计过程呈现出强时序性、强逻辑性。强大的流程逻辑可以更好地实现组织成员间的协调工作,达到提高设计效率,缩短产品开发周期的目的。当然为完善该平

台在各个模块的功能,有许多工作要做,相信在不久的将来该平台必将更加完善。

参考文献:

- [1] 李伟平. 异构环境下协同设计研究及其在汽车产品设计中的应用[D]. 湖南:湖南大学,2007:11-12.
- [2] 王啸峰,卞致瑞. 基于有色 Petri 网的产品协同开发过程建模方法研究[J]. 工程设计学报,2010,17(2):91-97.
- [3] 常锋娟,刘苏. 基于 web 的协同设计系统[J]. 机电工程技术,2004,33(4):49-51.
- [4] 杨雯,刘厚泉. 基于 Petri 网的工作流模型的研究[J]. 计算机工程与设计,2007,28(17):4149-4151.
- [5] 张琳霞,李茵,李小丽. 基于 Petri 网和 Web 服务的工作流建模方案[J]. 微电子学与计算机,2006,23(3):150-152.
- [6] 黄洪钟,刘伟,李丽. 产品协同设计过程建模研究[J]. 计算机集成制造系统,2003,9(11):955-959.
- [7] 施国强,李伯虎,柴旭东. 基于着色 Petri 网的复杂产品开发多项目调度建模研究[J]. 系统仿真学报,2007,19(17):3869-3872.
- [8] 江志斌. Petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [9] Kurt Jensen. Coloured petri nets; a high level language for system design and analysis[C]// Advances in Petri Nets. Berlin:Springer,1991:342-416.
- [10] 范玉顺. 工作流管理技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2001:150-156.
- [11] 林闯,天立勤,魏丫丫. 工作流系统模型的性能等价分析[J]. 软件学报,2003,13(8):1472-1480.
- [12] 朱连章,刘烦. 基于 CPN 的发布/订阅系统的建模及分析[J]. 计算机工程与设计,2009,30(4):845-848.

作者简介:

周爱国 男,(1973-),博士,副教授. 研究方向为机器人动力学建模、嵌入式控制系统和气动控制技术。

王闻莉 女,(1986-),硕士研究生. 研究方向为系统建模,工作流系统。

陆亮 男,(1986-),硕士研究生. 研究方向为虚拟设计与 CAE 分析。