

分布式冲突检测系统的研究与实现

熊英, 范文慧, 熊光楞

(清华大学国家 CIMS 工程研究中心, 北京 100084)

摘要: 提出一种支持并行设计的分布式冲突检测方法, 设计并开发分布式冲突检测系统。该系统以约束网络的一致性区间求解算法为核心, 通过计算约束网络中各设计参数的可行域区间, 可以有效地检测产品设计过程中的冲突。软件系统采用 B/S 结构, 以支持地理分布的协同设计团队的设计工作, 并以铁路列车某型转向架工程设计为例验证了该方法的有效性。

关键词: 并行设计; 冲突检测; 约束网络; 一致性区间

Research and Realization of Distributed Conflict Detection System

XIONG Ying, FAN Wen-hui, XIONG Guang-leng

(National CIMS Engineering & Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084)

【Abstract】 An approach of distributed conflict detection supporting concurrent design is proposed. The distributed conflict detection system is designed and developed. The system which is based on consistent interval solving algorithm of constraint networks can detect conflicts in product design process effectively by computing feasible intervals of design parameters in constraint networks. The B/S architecture is adopted in the system, which can support design work of geographically distributed teams. An application of the approach in the engineering design of the bogie is introduced to show the validity.

【Key words】 concurrent design; conflict detection; constraint networks; consistent interval

分布式冲突检测系统用于在分布式环境下检测产品设计过程中发生的设计冲突。文献[1]提出了一种处理协同应用环境下的语义冲突的模型。文献[2]开发了一个系统 Conflict Detection and Management System(CDMS)来进行冲突的检测和管理。文献[3]通过收集产品各领域的指标约束与关系约束来构建基于约束网络的产品参数协调模型, 实现了定量的一致性模型求解框架。本文介绍了一种支持并行设计的分布式冲突检测系统的设计与实现的方法。该系统可以有效地检测产品设计过程中的定量冲突, 并支持地理分布的协同设计团队的设计工作。

1 冲突检测模型及算法

1.1 冲突检测模型

在产品工程设计中, 冲突通常表现为不能找到一组满足全部约束条件的设计参数的取值。因此, 可以将产品设计过程中涉及到的约束条件收集起来组成约束网络, 通过约束网络的区间过滤算法求解各参数的一致性区间, 从而找到发生冲突的参数和约束条件。并行设计的冲突检测模型为

$$\begin{aligned} & x_0 \in [x^{L0}, x^{U0}] \xrightarrow{A} x \in [x^L, x^U] \\ & \text{s.t.} \begin{cases} g(x) = 0 & g = [g_1, g_2, \dots, g_p]^T \\ h(x) = 0 & h = [h_1, h_2, \dots, h_q]^T \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, x 代表 n 维设计参数; g 和 h 为约束向量; $[x^{L0}, x^{U0}]$ 表示设计参数向量原始区间; A 是冲突检测算法, 在 A 的作用下, 原始区间中肯定不含有解的区间被过滤, $[x^L, x^U]$ 表示设计参数向量经 A 处理后的一致性区间, 是与给定产品指标要求相对应的设计变量可行解空间。如果经算法 A 计算后的区间向量的任何分量为空, 则表示相应设计参数的原始区间中肯定不含有解, 不能满足所有的约束条件, 因此, 当前设

计方案含有冲突。

1.2 基于区间牛顿算子的冲突检测算法

在式(1)中不等式约束条件中加入辅助变量 $\theta \in R^p$, 且 $\theta > 0$, 这样不等式约束可以转化为等式约束, 有

$$g(x) = 0 \Rightarrow g(x) + \theta = 0 \quad (2)$$

这样算法 A 就只要考虑等式约束的情况, 辅助变量的区间范围可以表示原不等式约束条件的满足裕度。

文献[3]给出了一个通用的区间过滤算法框架, 但是此算法框架不能处理隐式函数, 不能保证收敛, 且过滤速度慢。本文在其算法框架中采用文献[4]提出的区间牛顿算子作为收缩函数, 克服了以上缺点。区间牛顿算子的定义如下:

定义(区间牛顿算子) 设函数 $f(x)$ 为给定在区间 $A = [a, b]$ 上的连续可微函数, X 表示包含 f 零点 x^* 的某区间, $X \subseteq A$, F' 为 f' 关于区间 X 的具包含单调性的区间扩展, 且 $0 \notin F'(X)$, 则 f 的区间牛顿算子为

$$N(X) = m(X) - f(m(X)) / F'(X) \quad (3)$$

其中, $m(X)$ 为区间 X 的中点。

区间牛顿算子有 2 个很重要的性质^[4]:

性质 1 若 x^* 是 f 的零点且 $x^* \in X$, 则有 $x^* \in N(X)$ 。

性质 2 若 $X \cap N(X) = \emptyset$, 则函数 f 在区间 X 上必无零点存在。

由性质 1 可以看出, 用区间牛顿算子作为估计函数, 不

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60474059); 国家“863”计划基金资助项目(2006AA04Z160)

作者简介: 熊英(1981-), 男, 博士研究生, 主研方向: 冲突检测, 并行设计; 范文慧, 副教授; 熊光楞, 教授

收稿日期: 2009-03-30 **E-mail:** xiongy02@mails.tsinghua.edu.cn

会影响原函数解的性质。而性质 2 则表明,若变量的区间牛顿算子和变量原始区间的交集为空,则原函数必无解存在,约束条件不能满足,当前设计方案有冲突。因此,可以设计出基于区间牛顿算子的冲突检测算法。

算法 式(1)所示的冲突检测模型的算法采用迭代的方法,算法如下所示:

```

Procedure ConflictDetection(C=[g,h,f],x0)
Begin
    根据式(2)将不等式约束集转化为等价的等式约束集 g';
    Changed = true;
    While Changed = true
        For each constraint ci in C = {g',h}(i = number of C)
            Changed = false;
            For each variable xj in ci(j = number of variables in ci)
                xj 的区间为 Xj;
                计算 xj 的区间牛顿算子 N(Xj);
                If Xj ∩ N(Xj) = ∅ Then
                    约束网络发生冲突,算法结束;
                Elseif |Xj - N(Xj)| > ε
                    //判断计算出的区间牛顿算子是否发生变化
                    Xj ← Xj ∩ N(Xj);
                    Changed = true;
                End If
            End For
        End For
    End While
End
    
```

经过上述算法,若约束网络发生冲突,则系统会发出提示,并指出发生冲突约束网络和变量。若无冲突发生,则计后的各变量的区间为一致性区间,不包含解的冗余区间被过滤。

2 分布式冲突检测系统的设计与实现

2.1 分布式冲突检测系统的设计

系统采用浏览器/服务器(B/S)架构。在 B/S 架构的系统中,用户通过浏览器向网络服务器发出请求,服务器对浏览器的请求进行处理,将用户所需信息返回到浏览器。分布式冲突检测系统的体系结构如图 1 所示。

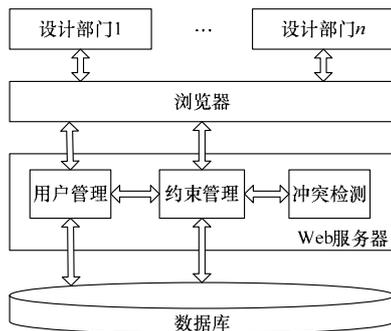


图 1 分布式冲突检测系统体系结构

体系结构中的主要部件如下:

(1)浏览器。各个设计部门通过客户端浏览器向 Web 服务器发出请求,包括约束网络的浏览,约束的添加、删除、修改,约束网络的冲突检测等。

(2)Web 服务器。Web 服务器上包含 3 个应用子系统,分别是用户管理子系统、约束管理子系统和冲突检测子系统。用户管理子系统的主要功能是设定并分配用户权限。

约束管理子系统是 Web 服务器的主要子系统之一,在各

子系统之间起连接作用,监控约束网络是否发生冲突,维护约束网络的一致性。

冲突检测子系统是运算子系统,被约束管理子系统调用,约束管理子系统从数据库中读入约束网络输入到冲突检测子系统,冲突检测子系统进行运算后输出一致性信息或冲突信息到约束管理子系统中。冲突检测子系统的算法采用上一节所示的算法进行运算。

(3)数据库。数据库主要用来存储数据信息,包括用户信息、约束网络,以及系统的日志信息等。

2.2 分布式冲突检测系统的实现

系统除冲突检测子系统外的程序的开发用 ASP.NET 实现,而冲突检测子系统由 Matlab 6.5 开发完成。在服务器端,ASP.NET 可以访问其他的 .NET 类,与许多有用的服务集成起来,有非常大的灵活性,而且与 .NET Framework 完全集成。它包含了对 C# 的支持,这样可以很方便地利用 C# 调用 Matlab 的计算引擎。

服务器上的冲突检测子系统采用 Matlab 6.5 开发。由于对于约束网络的冲突检测涉及到复杂的数学运算,而 Matlab 有强大的数学计算能力且有很多第三方软件包可供使用,因此本系统利用 Matlab 来处理产品设计中复杂的约束信息。Matlab 本身不能直接进行区间运算,对于区间运算本系统采用的是第三方软件包 INTLAB。

对于约束管理子系统和冲突检测子系统之间的交互,其本质是 C# 和 Matlab 2 种语言环境之间的数据交换。本文采用的是 Matlab 计算引擎。Matlab 计算引擎是 Matlab 提供的一组程序的集合,它允许外部语言在自己的程序中调用 Matlab,将 Matlab 作为一个计算引擎,在后台运行计算。使用该方法的优点是简便、易调试,更适合本系统。

3 应用实例

以铁路列车转向架为例说明参数设计协调系统的应用。转向系统设计的核心问题是弹性悬挂减震装置的参数选取,它涉及到机械、动力学等多个学科。转向架及其减震装置示意图如图 2 和图 3 所示,2 个学科涉及到的约束条件如表 1 和表 2 所示。



图 2 转向架示意图

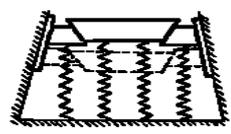


图 3 减震装置示意图

表 1 机械学科约束条件

约束名称	约束表达式
刚度约束	$K_v = Gd^4 / 8nD^3$
簧径约束	$d^2 = 8P_{\max} mC / \pi[\tau]$
自由高度约束	$H_0 = H_{\min} + 1.6f_v$
全压缩高度约束	$H_{\min} = (n+1)d$
稳定性校核	$H_0 \geq 3.5D$
应力修正系数	$C = (4m-1)/(4m-4) + 0.615/m$
弹簧指数	$m = D/d$
最大垂向载荷	$P_{\max} = 1.6P_v$

表 2 动力学学科约束条件

约束名称	约束表达式
静平衡约束	$P_v = K_v f_v$
应力约束	$\tau_{\max} = 8P_{\max} DC / \pi d^3 [\tau]$

(下转第 27 页)