

异构 CAD 系统间的几何约束在线交换*

胡 静,周广平,李路野

(浙江大学 计算机科学与技术学院,浙江 杭州 310027)

摘要:为保证不同 CAD 系统之间在线交换时几何约束的一致性,提出了一种异构 CAD 系统间的几何约束在线交换方法。通过分析主流 CAD 系统的几何约束差异性,给出了几何约束的中性命令表示;接着给出了几何约束的系统命令与中性命令的双向转化算法,并重点介绍其中的差异性解决方法;最后通过实验进行验证。实验验证结果表明,提出的几何约束在线交换方法能够有效地支持几何约束在异构 CAD 系统间的实时创建、修改和删除操作。

关键词:中性命令;异构 CAD 系统;几何约束;数据交换

中图分类号:TH164;TP391

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)06-0017-05

Online exchange in geometric constraints among heterogeneous CAD systems

HU Jing, ZHOU Guang-ping, LI Lu-ye

(College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: To ensure the consistency of geometric constraints among different CAD systems, a method was presented for the online exchange of geometric constraints among heterogeneous CAD systems. Reasonable neutral commands for geometric constraints were defined by comparing the differences among mainstream CAD systems; then dual exchange method was introduced between system geometric constraints and neutral commands, which mainly focuses on the differences of geometric constraints presentation in heterogeneous CAD systems; Lastly the experiment was tested. Experimental results show that the method can effectively support creation, modification and deletion of geometric constraints among heterogeneous CAD systems properly.

Key words: neutral commands; heterogeneous CAD systems; geometric constraints; data exchange

0 引 言

在当代 CAD 领域中,协同设计已成为企业之间提高产品开发效率的重要途径之一,而异构 CAD 系统之间的协同设计更符合实际的需要,因为它使得分布在不同地点、属于不同企业或部门的开发设计人员能够采用各自擅长的数字化工具来进行协同开发,这对于提高企业产品开发的能力和效率十分重要。由于各个 CAD 系统内部实现的不同,导致系统草图之间的几何约束具有较大的差异性,保证不同 CAD 系统间几何约束的一致性,对于协同设计而言非常重要。

近年来,人们对几何约束的信息交换做了很多的研究工作。B. Anderson^[1]等在 ENGEN 项目中给出了用于描述产品设计信息的中间模型,实现了在 Ideas, Pro/E 以及 Cadds 5 系统间的几何约束转换。Michael Stiteler^[2]等参与 CHAPS(构造历史及参数化)项目,实

现了 Pro/E, CATIA V4 以及 UG 系统之间的协同设计,其中也包含了几何约束模块的转化工作。最具代表性的是 Michael J. Pratt^[3-6]等进行的研究工作,包含 ISO-10303-108 标准的制定,它提供了显式几何约束的表示,使得带有参数和约束信息的过程化模型能够被交换,该标准给出了 CAD 系统之间几何约束交换的参考。

由于 CAD 系统内部采用求解器与约束设计表示的差异性,导致它们几何约束定义的差异性很大,正如 B. Anderson^[1]文中提到的两点:①并不是所有的 CAD 系统都支持相同的几何约束;②每个 CAD 系统设计零件采用的方法相差很大。

由于前面研究工作均未涉及异构 CAD 系统几何约束差异性问题描述以及支持几何约束的在线实时操作,笔者在深入分析了 Solidworks、Pro/E、UG、CATIA 等典型 CAD 系统的几何约束的异同点后,给出一种基于 ISO-10303-108 标准的中性命令表示。通过映射机

制实现差异性较大的几何约束的交换,同时支持在线实时对几何约束的修改、删除操作,从而达到较好的变动设计效果。

1 基于中性命令的特征在线交换框架

笔者提出的异构 CAD 系统之间几何约束在线交换方法是建立在李珉等^[8]提出的异构 CAD 系统特征在线交换框架之上,该框架的结构如图 1 所示。

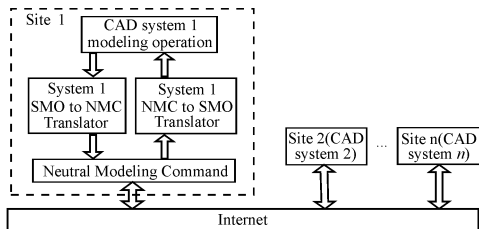


图 1 特征在线交换平台框架结构

框架采用复制式体系结构,其中每个站点都安装 1 个 CAD 系统,每个 CAD 系统都带有 2 个转换器。其中一个为 SMO-to-NMC 转换器,主要负责将本地执行的 SMO(系统建模操作)转换成 NMC(中性建模命令)并将转换好的 NMC 发送给其他站点的 CAD 系统。另一个转换器是 NMC-to-SMO,主要作用为将接收到的 NMC 转换为一个或多个本地 CAD 系统的 SMO。正是嵌入 CAD 系统的这两个转换器使得异构 CAD 系统间能够实时地交换建模操作,从而达到特征在线交换的目的。该框架的关键思想是利用中性建模命令来实现异构 CAD 系统建模操作的实时交换,其中 NMC 和 SMO 的相互转换借助于 CAD 系统的 API 实现。

为了有效地支持 SMO-to-NMC 转换器和 NMC-to-SMO 转换器的实现,NMC 采用面向对象技术,以类和对象的形式表示。每条 NMC 都表示为一个类,这个类具有相应的属性和函数,其中属性的设计旨在使其能够满足所有主流 CAD 系统进行相应建模操作重构的需要。中性命令主要由草图命令、约束命令、尺寸命令和特征命令组成。

2 几何约束的中性命令

在草图设计过程中,最主要的设计信息包含几何约束,而几何约束具体可以分为 3 类。第一类是尺寸约束,用于描述几何元素之间的相对位置关系,如点点距离、点边距离、边边距离、边边夹角等;第二类约束是结构约束,用以约束几何元素之间在结构上的关系,如平行、垂直、相切等;第三类约束为代数约束,用以描述约束参数之间的代数关系,如 $R = 2r + 3$ 。本节分析了

4 个典型商品化系统的几何约束异同点,并且在参考 ISO-10303-108 标准的基础上,给出了这 3 类几何约束中性命令表示。

2.1 典型商品化 CAD 系统几何约束异同点分析

笔者通过分析 Solidworks、Pro/E、UG 和 CATIA 等典型 CAD 系统的几何约束表示,发现几何约束的差异性主要体现在以下 4 个方面:

(1) 圆弧与圆弧的距离尺寸定义的差别性。在 Solidworks 系统中,圆弧之间的距离由两者的圆心定义;在 Pro/E 系统中,为圆弧水平和垂直方向的切线之间的距离,如图 2 所示;在 UG 系统中,同时包含了上述两种尺寸类型,其中前者表现为圆弧圆心距离去掉它们两个半径,后者则相差不大;在 CATIA 系统中,为圆弧圆心距离减去两个圆弧半径。

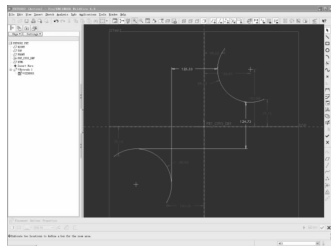


图 2 Pro/E 中圆弧与圆弧距离的尺寸定义

(2) 固定约束(Fixed)的差别性。在 Solidworks、UG 和 CATIA 系统中,存在着固定约束,主要是用于固定草图实体,保证其在空间中的位置不变;在 Pro/E 系统中,不存在该约束类型。

(3) 水平、竖直约束的差别性。该约束类型往往和每个系统的当前草图所处的局部坐标系有直接的关联,而这些局部坐标系具有差异性,所以造成了不同系统之间水平和竖直约束的含义不同。

(4) 周长约束的差别性。在 UG 系统中,存在着周长约束关系,保证草图中某几个草图实体的长度和为一常量;在 Solidworks、Pro/E 和 CATIA 系统中不存在这样的约束。

2.2 几何约束中性命令表示

根据 2.1 介绍以及参考 108 标准,分别定义了尺寸约束、结构约束以及代数约束的中性命令,如图 3 所示。NcGeoCon 包含的属性 constrainType 为对应的约束类型,派生如下 3 个子类: NcDimCon、NcStrCon、NcAlgCon。

NcDimCon 包含的主要属性如下:①dimType,对应的尺寸类型;②dimValue,对应的尺寸值,包含具体的长度值或角度值;③p_dim,对应的尺寸关联的实体,实

体个数由当前的尺寸决定。若当前关联的实体为草图内部元素,传输本草图中实体的ID,减少了传输的数据量;否则传输实体几何数据。

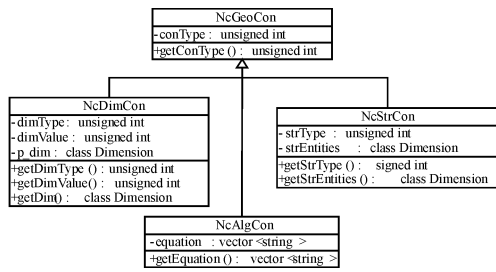


图3 NcGeoCon的UML类

NcStrCon包含的主要属性如下:①strType,对应的约束类型;②strEntities,当前约束关联的实体,个数由约束类型决定。

NcAlgCon包含的属性equation为约束方程式。

几何约束中性命令有两个转换函数:generateNMC()和generateSMO()。generateNMC()将几何约束建模操作转化为中性命令。generateSMO()将几何约束中性命令转化为建模操作。这两个转换函数在不同的CAD系统中有不同的实现。

3 几何约束系统命令与中性命令之间的转换

如何有效地实现系统建模操作(SMO)与中性建模命令(NMC)之间的转换是异构CAD系统在线交换平台构建的关键,本节分别给出了几何约束的系统命令与中性命令的相互转换方法,并采用映射机制来解决各系统几何约束的差异性问题。

3.1 几何约束的系统命令到中性命令的转换

通过CAD系统内部提供的API函数获取尺寸约束的类型dimType和值dimValue,结构约束的类型strType,代数约束的方程式equation以及当前约束的实体,将这些参数填充到中性命令。其中关键是处理以下3种差异性。

(1) 圆弧与圆弧距离尺寸的差异性处理(以竖直约束为例,如图4所示)。过程如下:

Step 1:通过API获取图4中的 d 值、圆弧圆心的位置、两圆弧的半径值 r_1 和 r_2 ,同时将dimType设置为两点之间的竖直距离类型。

Step 2:采用以下代数关系计算出圆弧间的竖直距离 h ,4种代数关系如下:

- $h = d + r_1 + r_2$;
- $h = d + r_1 - r_2$;

- $h = d - r_1 - r_2$;

- $h = d - r_1 + r_2$;

Step 3:比较 r_1 、 r_2 值大小,当 $r_1 \neq r_2$,得到惟一确定的 h 值;当 $r_1 = r_2$ 时,第2种与第4种 h 值相等,则通过先改变 r_1 或 r_2 值,判断属于哪种情况,最后恢复 r_1 或 r_2 的原先值。将以上参数添加进中性命令。

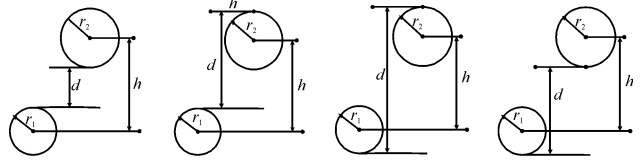


图4 4种位置关系,以圆弧间的竖直尺寸为例

(2) 固定约束。Solidworks和UG系统提取约束实体,同时将约束设置为固定类型,将参数添加进中性命令。

(3) 水平、竖直约束。约束过程如下:

Step 1:通过API获取水平或竖直约束实体,将strType设置为平行或垂直约束类型。

Step 2:遍历X轴、Y轴、Z轴等基本轴,判断是否与该约束实体平行,若存在这样的轴,以该轴为参考,算法结束。

Step 3:遍历草图所有元素,判断是否与该实体平行,若找到其中一个满足元素,则以该元素为参考,算法结束。

Step 4:遍历与该草图平行的基准面或草图所有元素,判断是否与该实体平行,若找到满足条件的元素,则以该元素为参考,算法结束。

Step 5:创建一个临时的草图元素,并以该草图元素为参考,算法结束。

3.2 几何约束的中性命令到系统命令的转换

CAD系统接收到中性命令后,解析出具体参数,主要包含约束实体数据、约束类型、约束值以及满足的方程式。利用系统的API实现几何约束的添加。这里的关键是处理以下3种差异性。

(1) 圆弧与圆弧距离尺寸的差异性处理。过程如下:

Step 1:根据接收到的中性命令,解析出具体参数,包括圆弧几何数据以及尺寸大小。

Step 2:在Solidworks系统中,选取两个圆弧同时设置尺寸大小;在Pro/E和UG系统中,选择两个圆弧圆心同时设置它们之间的尺寸大小。

(2) 固定约束。根据接收到的中性命令,解析出具体参数,包括固定约束类型以及相关固定实体。利用API在Solidworks和UG系统中选择固定实体并添加约束;在Pro/E系统中,根据草图约束实体的类型

(点、直线、圆弧以及样条曲线),分别采用以下方法实现:①判断约束实体为点,在该点与常规基准面 Front、Right 与 Top 中的两个之间添加尺寸约束,距离大小通过坐标值运算,算法结束。②判断实体为直线,计算投影线与直线间的夹角值,并在该直线与 Pro/E 中定位参考投影线之间添加该角度,算法结束。③判断实体为圆弧,在圆心与常规基准面 Front、Right 与 Top 中的两个之间添加尺寸约束,同时保证其半径大小不能改变,算法结束。④判断实体为样条曲线,将样条曲线上所有关键点都和常规基准面 Front、Right 与 Top 中的两个之间添加尺寸约束。

(3)水平、竖直约束。其过程如下:

Step 1:根据接收到的中性命令,解析出具体参数,包括约束实体以及平行或垂直的参考。

Step 2:判断平行或垂直的参考存在,通过 API 选中约束实体以及参考,添加平行或垂直约束;若不存在,根据传输过来的数据建立参考,并在该参考与约束实体之间添加平行或垂直约束,算法结束。

4 几何约束的修改、删除操作

添加几何约束是为了更好地支持参数化设计的需要,即易于实现修改、删除操作,主要包括尺寸约束以及代数约束的修改和删除操作。几何约束修改、删除操作的在线交换与几何约束创建操作的在线交换不同,因为在发送方 CAD 系统中对某个几何约束的修改需要在其他 CAD 系统中找到对应的几何约束并对其进行同样的修改,这里的关键是如何有效地进行异构 CAD 系统中被修改或删除约束对象的匹配。

为了实现异构 CAD 系统中被修改或删除对象的匹配,本研究提出了基于中性建模命令历史的解决方法。每个几何约束创建后都会生成一条几何约束中性命令,与其他中性命令一样含有一个唯一的 ID 号属性 id。每个 CAD 系统中都会建立几何约束建模操作的指针与中性命令对应的 ID 的关联对。对应于几何约束在线交换过程中的同一个几何约束建模操作,虽然几何约束建模操作的指针不一样,但是与其关联的中性命令 ID 号是相同的,因为每个 CAD 系统中的该几何约束建模操作都对应着同一条中性建模命令。

以尺寸约束为例,几何约束修改的中性命令 NcModifyDimension 与其他中性命令一样,继承于所有中性命令的基类 NeutralModelingCommand,含有属性 operationObject,该属性是某个几何约束中性命令的 ID 号。通过该 ID 号以及几何约束建模操作与中性命令 ID 号的关联机制,就可以找到对应的几何约束建模操

作指针。NcModifyDimension 包含的其他成员还有:① featNmID:当前要进行尺寸修改的草图所归属的特征 ID 号。② sketchIndex:当前修改特征中的第几张草图,由于有些特征如放样、扫描等含有多张草图,该信息可以方便、快速地定位到被修改的草图。③ dimNmIDArr:当前草图中被修改的尺寸,其中该数组中包含的信息为草图尺寸的名称。④ dimNewValueArr:当前草图尺寸被重新设置的新值的数组。

尺寸约束修改的系统命令到中性命令的转换方法如下:

Step 1:由被修改的几何约束(尺寸约束)指针找到其关联的创建中性命令的 ID 号。

Step 2:取得所有被修改尺寸的名称以及对应的新尺寸值,当前编辑草图所属特征 ID 号以及位于该特征下的草图序号。

尺寸约束修改的中性命令到系统命令的转换方法如下:

Step 1:根据 NcModifyDimension 的中性命令 ID 号找到对应的尺寸约束的指针。

Step 2:根据特征 ID 号以及草图序号快速定位到要修改的草图,然后参考被修改过的尺寸名称以及新的尺寸值重新设置尺寸的值。

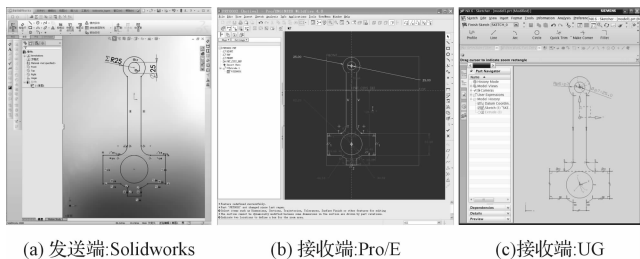
几何约束的删除对应一条几何约束删除操作中中性命令,该命令只需含有 operationObject 属性。接收到特征删除操作的中性命令后,根据中性命令 ID 号找到对应的建模操作指针并且对其删除。

5 实现与实验结果

本研究提出的异构 CAD 系统之间的几何约束在线交换在之前开发的异构 CAD 系统特征在线交换平台上进行了实现,协同设计平台可支持各种典型 CAD 系统。每个 CAD 系统相应的 SMO-to-NMC 和 NMC-to-SMO 转换器都是采用 Visual Studio 2005 和该 CAD 系统的 API 开发。转换器被编译成插件形式,在每个 CAD 系统启动时自动加载,并作为一个后台进程运行。各个站点间采用 TCP 协议提供网络上可靠的数据传输服务^[9]。

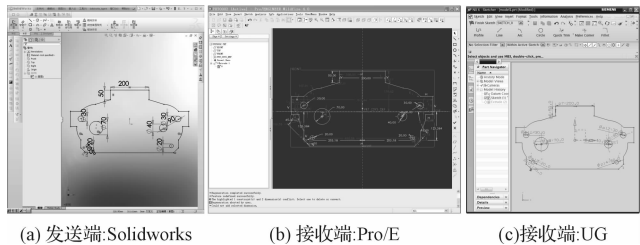
当前支持的系统有 SolidWorks、Pro/E 和 UG,3 个 CAD 系统间复杂几何约束的在线交换如图 5 所示^[10],包含尺寸约束、结构约束以及代数约束(ENGEN[1]项目中例子)。

3 个 CAD 系统间差异性几何约束在线交换如图 6 所示,包含固定约束(边固定)、水平垂直约束以及圆弧间距离尺寸。



(a) 发送端:Solidworks (b) 接收端:Pro/E (c)接收端:UG

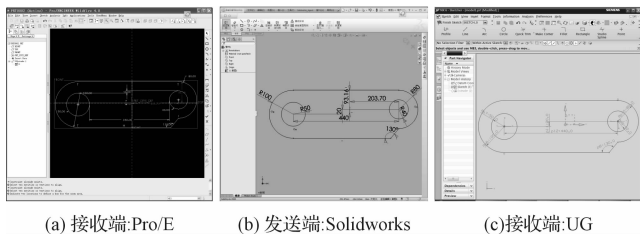
图5 3个CAD系统间复杂几何约束的在线交换



(a) 发送端:Solidworks (b) 接收端:Pro/E (c)接收端:UG

图6 3个CAD系统间差异性几何约束在线交换

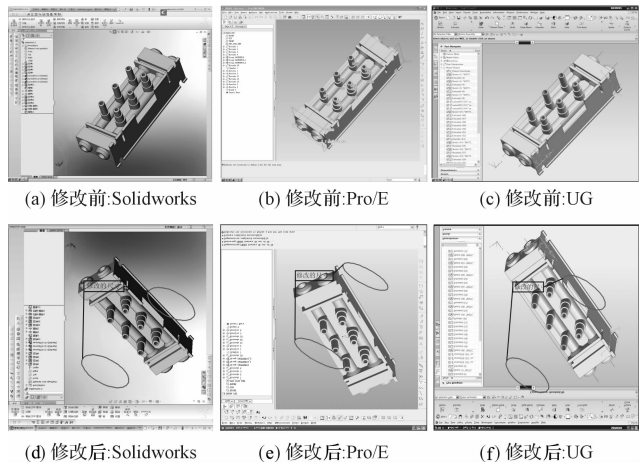
3个CAD系统间差异性几何约束在线交换如图7所示,包含圆弧间距离尺寸(以Pro/E系统定义,修改PRATT^[6]的例子)。



(a) 接收端:Pro/E (b) 发送端:Solidworks (c)接收端:UG

图7 3个CAD系统间差异性几何约束在线交换

复杂模型中草图几何约束修改的变动设计的例子如图8所示,其中修改的尺寸为圆弧标注的拉伸特征所对应草图两个尺寸。



(a) 修改前:Solidworks (b) 修改前:Pro/E (c) 修改前:UG

(d) 修改后:Solidworks (e) 修改后:Pro/E (f) 修改后:UG

图8 3个典型CAD系统间复杂模型几何约束在线修改

由于异构CAD系统相同的几何约束采用直接匹配,差异性的几何约束采用映射的方法,从理论上保证

了方法的可靠性,同时相关工作的实例证明了方法的可行性。

6 结束语

笔者提出了一种异构CAD系统间的几何约束在线交换方法,通过比较各个系统之间的差异性定义出中性命令,给出几何约束的双向转换工作。实验结果表明,该方法能够支持具有差异性的几何约束类型的变动设计,实现修改和删除操作。

由于差异性转化采用的是直接映射的方法,导致不能灵活地添加新的约束类型,未能找到统一、智能的方法,同时对于周长约束没能提出根本的解决方法,因此未来的工作主要集中在这些方面。

参考文献(References):

- [1] ANDERSON B, ANSALDI S. ENGEN Data Model: a Neutral Model to Capture Design Intent[C]. Proceedings of the Tenth. International Federation for Information Processing conference, 1998.
- [2] STITELER M. Construction History And ParametricS: Improving Affordability through Intelligent CAD Data Exchange [C]. CHAPS program final report. Advanced Technology Institute, 5300 International Boulevard, North Charleston, SC 29418, USA, 2004.
- [3] PRATT M J. Introduction to ISO 10303—the STEP standard for product data exchange[J]. *ASME J. Computing & Information Science in Engineering*, 2001, 1(1): 102–103.
- [4] PRATT M J. Extension of ISO 10303, the STEP Standard, for the Exchange of Procedural Shape Models [C]//Proc. 2004 Shape Modelling and Applications Conf. . Genova, Italy: IEEE Computer Society Press, 2004: 317–326.
- [5] PRATT M J. A new ISO 10303 (STEP) resource for modeling parameterization and constraints[J]. *ASME J. Computing and Information Science in Engineering*, 2004, 4(4): 339–351.
- [6] PRATT M J, KIM J. Experience in the Exchange of Procedural Shape Models using ISO 10303 (STEP) [C]//Proceedings of 2006 ACM Symposium on Solid and Physical Modeling. USA: New York, 2006: 229–238.
- [7] 高曙明,何发智. 异构CAD系统集成技术综述[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2009, 21(5): 561–568.
- [8] LI Min, GAO Shu-ming, LI Jie, et al. An Approach to Supporting Synchronized Collaborative Design within Heterogeneous CAD Systems [C]. Proceedings, ASME CIE/DETC. USA: Salt Lake City, 2004.
- [9] 罗敏峰. 基于Pro/E椭圆齿轮的CAD/CAM技术[J]. 机电技术, 2008(4): 7–10.
- [10] 季英瑜,徐新,王涛. 齿轮传动的MATLAB软件建模及轻量化设计[J]. 轻工机械, 2009(2): 51–52.