

基于框架的虚拟装配系统研究

吴昌盛¹, 李云飞¹, 汪代勇¹, 代英明²

(1. 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所, 绵阳 621900; 2. 绵阳职业技术学院计算机系, 绵阳 621000)

摘 要: 根据框架理论构建虚拟装配系统, 将典型装配过程性知识封装到过程框架中并在系统中保存。系统采用场景匹配的方式来捕获用户的交互意图, 提高了系统的认知能力。以匹配成功的过程框架引导装配活动, 并根据框架中规定的动作和时机来完成装配件的精确定位, 有效克服了操作者通过交互设备对装配零件运动控制不精确的问题。

关键词: 框架理论; 虚拟装配; 运动引导; 装配场景匹配

Research on Virtual Assembly System Based on Framework

WU Chang-sheng¹, LI Yun-fei¹, WANG Dai-yong¹, DAI Ying-ming²

(1. Institute of Machinery Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900;

2. Department of Computer, Mianyang Vocational and Technical College, Mianyang 621000)

【Abstract】 A virtual assembly system is constructed according to frame theory. The process frame encapsulates knowledge about typical assembly processes that is a kind of data structure and saved in the system. A method of assembly scene matching is presented to perceive user's intention, which enhances the perception ability of the virtual assembly system to a large extent. The system makes use of the matching process frame to guide the following assembly process. The part is located precisely by implementing actions at the time that are described in the matching process frame. The problem is resolved effectively which is difficult to control the motion of the assembling parts precisely with current virtual reality I/O devices during virtual assembly.

【Key words】 frame theory; virtual assembly; motion guidance; assembly scene matching

1 概述

虚拟装配是在虚拟环境中使用虚拟现实交互方式(如数据手套、自然语言)构建虚拟产品模型, 它对设计认证、零件的可装配性检查、装配路径规划有着重要意义^[1]。在虚拟现实交互方式下, 系统如何获取零部件间的装配关系, 实现复杂产品顺畅、自然的装配仍然是目前制约这项技术在工业界广泛应用的主要技术瓶颈。在目前已开发的原型系统中主要采用以下2种方式来解决:

(1)从CAD系统中获取装配关系, 通过对CAD系统中装配约束和最终装配位置的捕捉, 实现对零件模型的装配。例如: 美国Washington州立大学VRCIM实验室开发的VADE系统^[2], 英国Heriot-Watt大学开发的虚拟装配规划系统UVAVU^[1], 采用的都是这种方法。该方法存在2个缺陷:

1)虚拟装配环境下零部件的位置关系不能互换, 即同种零部件不具有互换性;

2)丢失了零件装配的中间过程信息, 而这些信息对于评价零件的可装配性具有至关重要的意义。

(2)通过自动几何约束识别来获取装配关系, 从而实现零件模型的装配。自动约束识别存在的问题是约束识别算法的复杂度随着零件形状的复杂程度增长而急剧增长。此外, 自动约束识别算法识别出的约束不一定与用户的运动意图相符。

这些方法不能满足虚拟装配系统要求的主要原因是忽略了装配知识在完成产品装配时的作用。在此背景下, 根据框架理论, 本文提出将典型装配过程性知识封装到过程框架中,

将零件装配工程信息封装到特征框架中, 过程框架、特征框架和装配场景匹配引擎一起构成基于框架的虚拟装配系统, 简称FVAS。

2 FVAS介绍

基于框架的虚拟装配系统的理论是针对人们在理解情景、故事时提出的心理学模型, 论述的是思想方法不是具体实现的。框架理论的基本观点是人脑中已存储有大量的典型情景, 当人面临新的情景时, 就从记忆中选择(粗匹配)一个称作框架的基本知识结构同它相匹配, 如果匹配成功, 则“框架”中存放的属性就可向人们提供有关此事更多的知识, 如果匹配不成功, 则寻找原因, 重新从知识库中取一个更能与新事物匹配的“框架”, 或者修改刚才哪个匹配的不太成功的框架, 直到最后求得一个完善的解答为止。

根据上述思想, 可以将典型装配情景(如螺钉-螺孔装配、轴肩-轴端挡圈装配、圆锥形轴头-轴端挡圈装配等)中的过程性知识如装配的先决条件、装配动作、建立装配约束的时机等封装到称为“过程框架”的知识结构中, 并保存在系统里。将零件模型中的B-rep信息转换为从装配角度描述实体结构

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金资助项目(2007B06001); 中国工程物理研究院预研课题基金资助项目(60373000)

作者简介: 吴昌盛(1974—), 男, 高级工程师、硕士, 主研方向: 虚拟现实, CAD, 软件工程; 李云飞, 高级工程师; 汪代勇, 高级工程师、硕士; 代英明, 讲师

收稿日期: 2010-03-09 **E-mail:** wuchangshengcaep@yahoo.com.cn

的特征框架信息,特征框架中封装的是装配计算所需的高层信息。过程框架、特征框架和装配场景匹配引擎一起构成一个框架系统。在产品装配时,系统首先根据当时的装配场景状态(装配件、基准件的位姿信息和它们自身的特征信息)、交互设备的输入信息,利用场景匹配引擎在典型装配过程框架库中搜索匹配,获取装配操作意图(既一个匹配成功的过程框架);然后由装配运动引导引擎根据保存在匹配成功的过程框架中的知识来引导下面的装配运动并进行装配件的精确定位,这2个过程不断交替执行,直到完成产品的装配。

3 FVAS系统结构

FVAS 系统结构如图 1 所示。

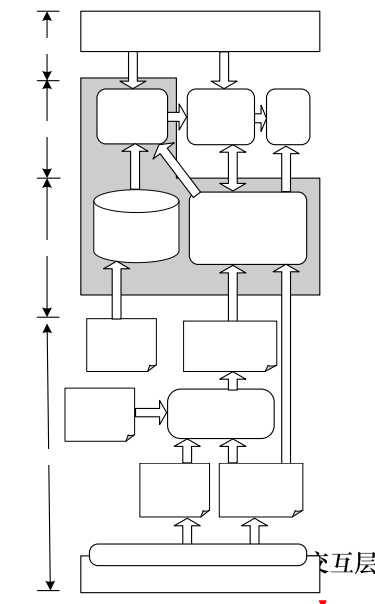


图 1 FVAS 系统结构

数据转换层主要功能是完成 CAD 模型到虚拟装配系统的数据转换。“数据转换接口程序”从零件 CAD 模型中提取出 B-rep 信息和三角面片信息,在“特征框架实例对象定义辅助程序”中定义特征实例对象,“特征框架实例对象定义辅助程序”根据用户定义的特征实例对象将 B-rep 信息转换成特性框架实例信息。数据层负责管理系统中的各种数据对象,系统加载过程框架定义、特性框架实例对象和三角面片信息创建“典型装配过程框架库”和“虚拟装配场景”。控制层根据人机交互层中交互设备的输入信息,在数据层的支持下完成产品的装配与拆卸,其中,“装配场景匹配引擎”用来捕获操作者的装配意图;“装配运动引导引擎”用来引导装配运动,实现装配过程中零件模型的精确定位。数据层和控制层中的“装配场景匹配引擎”一起构成框架系统。

3.1 典型装配过程框架库

典型装配过程框架库中保存的是典型装配过程性知识,由若干装配过程框架对象组成。主要功能是为装配意图推理提供问题搜索空间和启发信息,为装配过程中零件模型的精确定位提供引导信息。装配过程框架是采用框架知识表达法对典型装配过程性知识的描述和封装。可以表示为

$GF=\{FN, BF, PF, AP, PCS\}$

其中,GF 表示装配过程框架;FN 为框架类型;参与装配的装配零件的装配特征为 PF;基准件的装配特征为 BF;PCS 为框架成立的先决条件;AP 是装配过程中建立约束或定位时所执行的动作序列集 AS 和它们之间的时序关系。每个装配动作表示为{CS,AO,RS},其中,CS 为动作的执行条件集,CS 从几何尺寸匹配、体素类型匹配、空间方位靠近、运动方向与可装配方向接近等方面来描述该动作可执行时的场景状态;AO 为执行动作的操作符;RS 是动作执行后对场景状态变化的描述。

用命题时序逻辑来描述过程框架中动作执行之间的时序关系,它包括 5 个命题逻辑算子(\wedge 与、 \vee 或、 \neg 非、 \rightarrow 蕴含、 \equiv 恒等)和 5 个时序逻辑算子(\square 总是、 \Diamond 最终、P 在前、U 直到、O 接着)。一些函数可以用来表达过程时序关系,它们返回布尔值或返回一个需要被满足的关系。例如时序算子 P 可以用一个函数 $act_2 \rightarrow Precede(act_1)$ 描述;算子 U 采用函数 $act_2 \rightarrow Until(act_1)$, $act_2 U act_1$ 为 $act_2 \rightarrow Until(act_2)$, $\neg act_2 U act_1$ 为 $act_2 \rightarrow Not_until(act_1)$;算子 \square 采用函数 $Always(act)$;算子 \Diamond 采用函数 $Eventually(act)$ 。

3.2 虚拟装配场景

该模块的主要功能是生成和维护虚拟装配场景,管理虚拟装配场景中各种可视和非可视数据对象。从 CAD 零件模型中提取出 B-rep 和三角面片信息,在“特征框架实例对象定义辅助程序”中定义特征实例对象,“特征框架实例对象定义辅助程序”根据用户定义的特征实例对象将 B-rep 信息转换成特性框架实例信息,系统加载特性框架实例对象信息和三角面片信息创建虚拟场景中基本的可视化对象“零件”。系统以“零件”为基本节点、“部件”为组织节点,用类似 SenceGraph 的层次结构管理场景中的各种数据对象。零部件之间的装配关系(既几何约束)数据结构如图 2 所示。

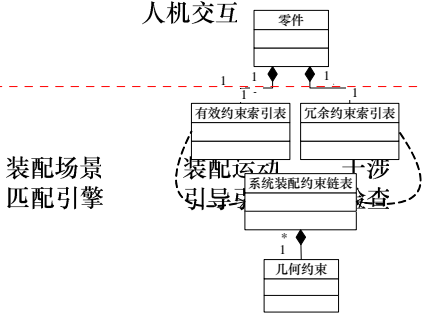


图 2 约束管理数据结构

一个“几何约束”对象描述了零件间的一个实际装配关系,“几何约束”对象按生成的先后顺序保存在“系统装配约束链表”中。影响零件运动自由度的有效约束在“系统装配约束链表”中的索引被记录在零件“有效约束索引表”中,不影响零件运动自由度的冗余约束在“系统装配约束链表”中的索引被记录在零件“冗余约束索引表”中。一个“路径”对象描述了零件模型的一条装配路径信息,“路径”对象按生成的先后顺序保存在“系统装配轨迹链表”中。部件的“装配运动引导引擎”在“系统装配约束链表”中的索引,该索引表在回放部件装配过程时供调用。

3.3 装配场景匹配引擎

装配场景匹配引擎的主要功能是针对虚拟装配场景状态

特征框架实例对象定义辅助程序

数据转换层

Xml文件 .nff文件
B-rep信息 三角面片信息

数据转换接口程序

三维CAD 系统

删除的内容:

带格式的: 段落间距段前: 0.05 行, 不调整西文与中文之间的空格

带格式的: 段落间距段前: 0.05 行

的变化来感知操作者的装配意图。该引擎利用框架实例对象中封装的装配知识和高层信息来进行装配意图的推理计算,推理计算采用场景匹配的方式来完成。装配场景匹配是指系统根据待装配零件自身特征和所处的场景状态,从典型装配过程框架库中选择一个合适的过程框架作为后续装配活动的引导的过程。与系统当前情景匹配的框架记为 ψ , $base$ 为装配基准件, $part$ 为装配零件。当 $\psi = \text{null}$, $base \neq \text{null}$, $part \neq \text{null}$ 时,在每一帧装配场景绘制之前,系统都进行一次装配场景匹配。

在场景匹配时,系统用基准件和待装配零件的未饱和特征序偶对(如果一个特征实例对象存在着空闲的装配端口,侧称之为未饱和装配特征;一个基准件上的未饱和特征实例对象和一个装配件上的未饱和特征实例对象可以构成一个未饱和特征序偶对) $\langle f_i^p, f_j^b \rangle$ 作为参数,遍历系统存储的典型装配过程框架库 $PFS = \{p_k | k = 1, 2, \dots, l\}$,如果某个过程框架 p_i 的参数类型同 $\langle f_i^p, f_j^b \rangle$ 中的类型相匹配,则用 $\langle f_i^p, f_j^b \rangle$ 来实例化该过程框架,然后检测该框架成立的先决条件,如果先决条件都为成立,则匹配成功,即捕获到装配者的装配意图 p_i 。

3.4 装配运动引导引擎

装配运动引导引擎的功能是根据某个匹配成功的过程框架(即捕获到的装配者的装配意图)中封装的典型装配过程性知识来引导装配运动,从而实现装配过程中零件模型的精确定位。

在系统中,这一功能由装配运动引导引擎实现。 ψ 为匹配成功的过程框架,既系统捕获到的装配意图。当 $\psi \neq \text{null}$ 时,系统开始以过程框架 ψ 中 AP 所描述的动作序列来引导后续的装配动作。此后,在每一帧装配场景绘制之前,系统都根据过程框架实例状态来决定如何处理外界交互设备的输入。系统先根据动作集 $\psi.AS$ 中描述的每一个动作的 CS 和 $\psi.BF, \psi.PF$ 中的端口状态来判断有没有某个动作的执行前提条件被满足,如果有某个动作的执行前提条件被满足,则就执行该动作、建立相应的几何约束作为对本帧外界交互设备的输入的处理;否则装配零件就做受约束运动或自由运动。在 AP 中每个前序动作的结果作为后序动作执行的一个必要条件,因此,动作会严格按框架中描述的先后顺序执行。当每个动作都执行一遍时,结束该框架对后续装配的引导,系统将会选择一个新的过程框架来引导后面的装配。

3.5 干涉检查

干涉检查模块的主要功能是为系统提供碰撞感知功能,避免在装配过程中零件模型之间的相互贯穿。干涉检查非常消耗系统资源,因此,在装配过程中系统尽量避免干涉检查功能的使用。系统只有在2种情况下才调用干涉检查功能:

(1)当装配零件在虚拟场景中做无约束运动时,系统将调用该功能模块,用来避免在装配过程中零件模型之间的相互贯穿。

(2)系统在解释执行过程框架中规定的装配动作时需要做局部干涉检查情况下调用。

在实现上,为了提高运行效率,并保证干涉检测精度,系统采用了一种由粗到精、逐步细化的递进快速检查方法。在该方法中,将零件包围盒概念延伸到体素包围盒,采用体素包围盒进行半精检查,提高了干涉检查效率。干涉检查处理流程如图3所示,利用体素包围盒进行半精检的示例如图4所示。

图4所示。

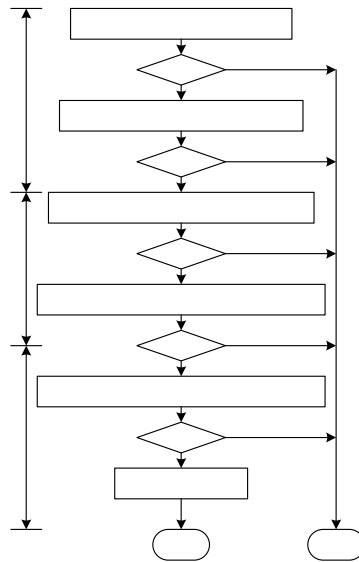


图3 干涉检查流程

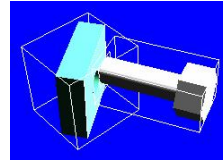


图4 利用体素包围盒进行半精检的示例

3.6 人机交互

人机交互主要是为用户提供虚拟现实交互(如数据手套、空间轨迹球、语言)功能。用户利用数据手套、空间轨迹球、语言等交互设备的输入实现对虚拟场景中零部件的各种操作如拾取、拖拽、释放等功能。在虚拟场景中,零件模型的运动是由用户佩戴的位置传感器直接驱动,由于人对装配零件运动控制的不精确性和空间方向的模糊性,这种运动是一种不精确的运动,而装配过程中零件的装配运动是受几何约束的有方向的精确运动。因此,系统要对位置传感器的输入量进行修正,实现零件模型的受约束运动。修正方程^[3]如下:

$$P = P_0 f(M(T(s), R(k, \theta)))$$

其中, $M(T(s), R(k, \theta))$ 为当前帧中位置传感器的输入量; $T(s)$ 为运动的平移分量, $T(s) = (x, y, z)$, x, y, z 为平移分量在3个坐标轴上的投影; $R(k, \theta)$ 为运动的旋转分量, $k = (w_a, w_e, w_r)$, w_a, w_e, w_r 分别表示旋转量的欧拉分量,依次为方位角、仰角和摆动角, θ 为绕空间矢量 k 的旋转角度。 P_0 为每一帧开始时零件的位姿。

在文中开发的原形系统中,采用数据手套5DT glove和空间轨迹球(3D鼠标)同系统交互,用数据手套的手势输入来拾取虚拟场景中的对象和对系统询问进行确认或否认,用空间轨迹球来控制装配零件和视点的运动。系统还配置了一块能够支持双通道输出的高性能3D图形加速卡、一个红外线发射器、2块晶闸立体眼镜,从图形卡上输出的2路具有微小差异的图像经过由红外线发射器控制的晶闸立体眼镜同步,用户戴上晶闸立体眼镜就可以在计算机屏幕上看见具有

立体效果的图形。

(下转第 221 页)