

基于语义识别的虚拟装配运动引导研究*

刘振宇, 谭建荣, 张树有

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

E-mail: liuzy@zju.edu.cn; egi@zju.edu.cn

http://www.cad.zju.edu.cn

摘要: 目前的虚拟现实交互方式尚难以保证用户在虚拟装配过程中对零件的运动进行精确控制.通过语义识别捕捉虚拟装配过程中用户交互意图,进行装配零部件的运动引导与精确定位,使得用户能够在虚拟环境中自如地、准确地进行装配定位.从装配语义元的空间位置属性匹配、空间方向属性匹配、类型属性匹配与参数属性匹配 4 个方面进行装配语义的识别.从装配语义的角度识别装配意图,将虚拟装配系统对装配关系的识别从几何体素层次提高到装配任务层次.相关方法在虚拟装配系统的研究与开发中得到实现,并应用到汽车发动机部分零部件的虚拟装配中.

关键词: 虚拟现实;CAD;虚拟装配;语义识别;约束识别;运动引导

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A

虚拟现实与 CAD 技术的融合,为产品设计提供了直观、自如的交互方式和强大的可视化能力.虚拟装配是虚拟现实在产品设计领域的一个典型应用^[1-4].在虚拟环境中,用户可以对虚拟产品模型进行装配模拟,检查装配过程中的干涉情况,分析产品的装配性能.特别是对于复杂产品的装配建模与分析,虚拟现实更能发挥其技术优势^[4].

在虚拟装配过程中,用户通过手势等三维交互方式直接控制零件模型在虚拟环境中的空间运动.人对空间运动的控制具有不精确性和模糊性.在现实世界中,人借助于视觉、触觉的协同以及物理约束的作用,克服其运动控制的不精确性,实现物体的精确定位.而在虚拟环境中,由于触觉反馈的缺乏、位置跟踪精度的不尽如人意,用户难以有效地进行零件的精确定位.例如,“将齿轮装到轴上”这样一件在现实世界中轻而易举的装配任务,要在虚拟环境中完成却并不轻松:(1) 在装配之前,需将齿轮的毂孔与轴(键)在周向精确对齐;(2) 将齿轮套到轴上以后,为了避免碰撞,用户需沿着精确的轨迹(如直线)将齿轮沿轴向运动到装配定位点.而目前的三维交互方式尚难以保证上述精确运动的完成.因此,对零件的运动进行引导是虚拟环境中产品装配建模与分析要解决的一个重要问题.

对虚拟环境中零件运动进行引导的关键是识别出用户的交互意图.在以往的研究中,通过自动约束识别进行用户交互意图的捕捉^[1,5-7],即在装配过程中通过动态识别装配零件间的约束关系捕捉用户的运动意图,从而实现零件的精确定位.例如,Fa^[5]等人提出了一种基于直接三维操作和约束的实体造型方法,该方法通过约束识别与允许运动推理(allowable motion inference)来实现三维操作的精确定位.但是,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.因此,对于复杂的装配体来说,约束识别算法难以满足虚拟现实实时性的要求.此外,自动约束识别算法识别出的约束并不一定与用户的运动意图相符.

* 收稿日期: 2000-05-19; 修改日期: 2000-08-18

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(69425005);国家 863 高科技发展计划资助项目(863-511-942-001);国家教育部博士点基金资助项目(98033506)

作者简介: 刘振宇(1974 -),男,江西赣州人,博士,主要研究领域为虚拟现实,计算机图形学,CAD;谭建荣(1954 -),男,浙江湖州人,教授,博士生导师,主要研究领域为 CAX 方法学,工程图形学,软件设计学;张树有(1963 -),男,浙江衢州人,副教授,主要研究领域为 CAD,计算机图形学.

导致自动约束识别困难的原因在于,约束识别仅从几何体素的层次来捕捉用户的交互意图,而忽略了产品设计的工程语义.装配体零件间的配合关系、装配运动过程都具有一定的工程语义.在大多数情况下,用户是通过工程术语来表达与认识装配零部件间的装配关系,而不是局限于几何体素.因此,本文将利用装配零部件间的装配语义进行装配运动意图的捕捉,并通过装配语义蕴涵的几何约束关系引导零部件间的几何约束识别.在装配语义与约束识别的基础上,对虚拟环境中的零部件进行运动引导与精确定位.从装配语义层次识别用户的运动意图,是虚拟装配交互方式从低层次的几何体素操作发展到具有工程意义的装配任务级操作的必然结果.

1 装配语义与装配语义元

定义 1. 装配语义是对装配零部件间装配关系的抽象描述,该描述蕴涵了装配零部件间存在的定位约束、装配规则与装配动作.装配语义表达装配关系的方式更贴近工程师的自然语言习惯.装配语义具有表达的抽象性和应用域的相关性.

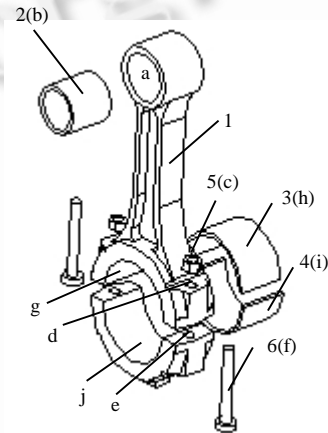
例如,工程中经常遇到的装配语义包括“螺钉-螺孔联接”、“螺栓-孔-螺母联接”、“圆柱销-孔联接”、“圆锥销-孔联接”、“键-槽联接”、“轴-孔配合”、“轴-衬套-孔配合”、“体-盖配合”、“轴承座-轴瓦-轴承盖配合”、“轴肩-锁紧挡圈配合”、“轴肩-弹性挡圈配合”、“轴肩-套筒配合”、“轴肩-圆螺母配合”、“轴肩-轴端挡圈配合”、“圆锥形轴头-轴端挡圈配合”等.

定义 2. 装配语义元是零件中若干装配特征实体的组合单元,该组合单元共同完成装配语义表达的装配功能.从装配的角度来看,零件是若干装配语义元的组合体,而装配体则可以看成是零件中各装配语义元按一定的装配语义进行联接.

装配语义元可以是一个独立的零件(如键、螺钉)、若干特征实体的组合(如带槽的孔为孔特征与槽特征的组合)或单个特征(如圆柱通孔).如图 1 所示为一连杆装配子部件的装配语义元组成.这些装配语义元通过装配语义“轴-衬套-孔配合”、“螺栓-孔-螺母联接”、“轴承座-轴瓦-轴承盖配合”进行装配组合.

我们采用框架系统进行装配语义与装配语义元的表达.装配语义的框架表达描述了组成装配语义的装配语义元集合 SES 、装配定位约束集 CS 、装配规则集 RS 以及建立装配语义对应的装配动作集 AS .例如,“螺栓-孔-螺母联接”的框架描述如下:

```
ASSEMBLY-SEMANTICS: BOLT-HOLE-NUT-JOINT
isa: SCREW-JOINT
trans: 螺栓-孔-螺母联接
SES: #1: BOLT, #2: NUT, #3: HOLE1, #4: HOLE2
CS: #1: Co_Line(axis(SES #1),axis(SES #2))
      #2: Co_Line(axis(SES #1),axis(SES #3))
      #3: ...
RS: #1: (diameter(SES #1)=diameter(SES #3))
      #2: (height(SES #2)+height(SES #3)+height(SES #4)<height(SES #1))
      #3: ...
```



1.Connecting rod ,2.Connecting rod bush ,3.Connecting rod bearing bush ,4.Connecting rod bearing bush,5.Nut , 6.Bolt ;(a)Hole SE ,(b)Bush SE ,(c)Nut SE ,(d)Hole SE, (e)Hole SE,(f)Bolt SE ,(g)Bearing chock SE ,(h)Bearing bush SE ,(i)Bearing bush SE,(j)Bearing cap SE .

The numbers 1~6 represent parts, and the letters (a)~(j) represent assembly SE (semantics entity) .

连杆体, 连杆衬套, 连杆轴瓦, 螺母, 螺栓, 孔语义元; 衬套语义元, 螺母语义元, 螺栓语义元, 轴承座语义元, 轴瓦语义元, 轴承盖语义元, 数字 1~6 代表零件,字母(a)~(j)代表装配语义元.

Fig.1 Connecting rod component

图 1 连杆装配部件

AS: #1: SES #1 screw into SES #3 and SES #4 until SES #1 released or collision detected

在装配语义元的框架表达中描述了组成装配语义元的特征实体偶集 $FES\{\langle type, entity \rangle\}$ 、匹配语义元类型集 $MT\{type\}$ 、作用空间 AZ 、特征参数偶集 $FPS\{\langle parameter-name, parameter-value \rangle\}$ 、装配可行方向集 $FAD\{\langle (x, y, z), \eta \rangle\}$ 以及装配语义元的状态标志 $status$ 。装配可行方向采用四元数 $\langle (x, y, z), \eta \rangle$ 来表达, 其中 (x, y, z) 表示空间一个矢量, η 表示绕矢量 (x, y, z) 的转角。装配语义元的状态 $status$ 包括自由状态(语义元尚未与其他装配语义元匹配)、运动引导状态(语义元正朝着匹配语义元运动, 零件的运动处于部分约束状态)、欠饱和状态(语义元与装配语义元框架中的部分语义元进行了匹配)以及饱和状态(语义元已经与语义元框架中的其他语义元完全匹配)。

在建立装配语义元之前, 系统根据预定义的装配特征提取模板, 从零件 P_j 的设计特征中提取出特征组 $\Phi_i\{F_k\}$ 。同时, 设计者也可交互地指定 $\Phi_i\{F_k\}$ 。 $\Phi_i\{F_k\}$ 与装配语义元具有直接的对应关系。在创建装配语义元时, 虚拟装配系统将零件特征组 $\Phi_i\{F_k\}$ 与装配语义元框架系统进行匹配, 建立装配语义元实例。

算法 1. 装配语义元生成算法

Step 1. 在装配语义元框架系统中搜索与 $\Phi_i\{F_k\}$ 中各元素特征类型匹配的装配语义元框架 S , 并建立 S 的实例对象 s_i (s_i 的 $FES \rightarrow type, MT, FPS \rightarrow parameter-name$ 值直接从框架中继承)。

Step 2. 将 $\Phi_i\{F_k\}$ 中的特征实体 F_k 逐一赋给 s_i 中 $FES[F_k.type] \rightarrow entity$ 。

Step 3. 根据 s_i 中 $FPS \rightarrow parameter-name$ 从零件的特征信息中提取相应的参数值, 并赋给与 $FPS \rightarrow parameter-name$ 对应的 $FPS \rightarrow parameter-value$ 。

Step 4. 建立 s_i 对应的作用空间虚拟图形实体 AZ (见第 2 节)。

Step 5. 建立 s_i 对应的装配可行方向集合 FAD 。

Step 6. 设置 s_i 的状态标志为 $free$ 。

Step 7. 将装配语义元 s_i 加入零件 P_j 的装配语义元链表 SEL 中。

2 虚拟环境中装配语义识别

装配语义识别就是通过对虚拟环境中的装配语义元属性进行匹配, 识别出装配零部件间的装配语义关系, 从而实现对用户交互意图的捕捉。

(1) 装配语义元空间位置属性的匹配。空间位置属性的匹配表示语义识别仅发生在装配语义元的邻近空间(即装配语义元的作用空间)。零件中的每一个装配语义元都对应一个虚拟图形实体, 该实体对应了装配语义元的作用空间。因此, 装配语义元空间位置属性的匹配可以转化为装配语义元作用空间对应的虚拟图形实体间的碰撞检测。建立作用空间虚拟图形实体的过程如下:

Step 1. 对组成装配语义元的各几何面沿其法向进行偏置(offset), 若几何面为凸, 则偏置方向与法向相同, 否则, 偏置方向与表面法向相反(装配可行方向的偏置量是其他方向偏置量的 3 倍)。

Step 2. 对偏置几何面进行缝合, 生成虚拟图形实体。

Step 3. 对虚拟图形实体进行简化, 以提高碰撞检测的速度。

Step 4. 将虚拟图形实体与零件实体进行运动关联(即该实体将随零件一起运动), 设置其显示属性为不可见。

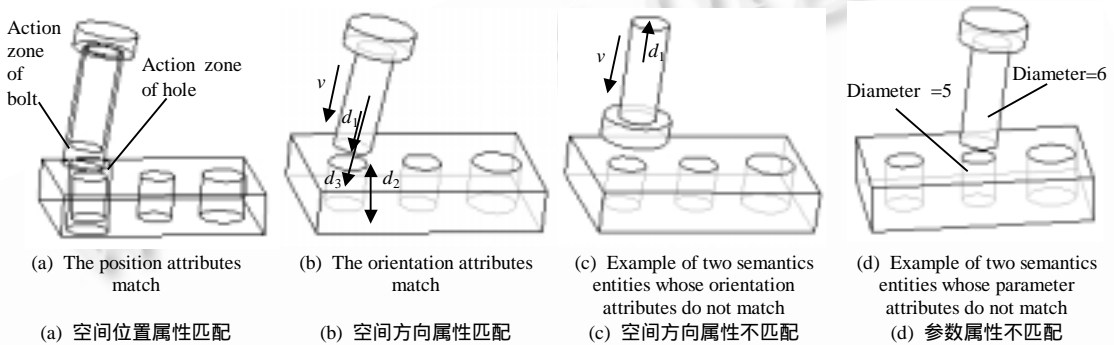
在装配过程中, 碰撞检测模块会不断检测装配语义元作用空间对应的虚拟图形实体间的碰撞情况, 一旦发生碰撞, 即进行装配语义元的进一步匹配。如图 2(a)所示为检测到的两装配语义元的作用空间虚拟图形实体发生碰撞。

(2) 装配语义元空间方向属性的匹配。装配语义元的方向属性表示了装配是一种方向性的运动。空间方向属性匹配的条件是两个匹配的装配语义元应该沿着装配方向相互靠近。若运动语义元的装配可行方向为 d_1 , 其运动方向为 v , 邻近空间存在的匹配语义元的装配可行方向为 d_2 , 运动语义元的质心到匹配语义元质心的矢量为 d_3 , 则空间方向属性匹配的条件为 v 与 d_3 的夹角小于 90° (表明两语义元正相互靠近); v 与 d_1 的夹角小于 90° 且 v 与 d_2 的夹角大于 90° (表明运动是沿着装配可行方向)。当装配语义元的装配可行方向多于 1 个(如

通孔的装配可行方向为(2)时,只要其中一个装配可行方向满足上述方向属性匹配条件即可.图 2(b)中两装配语义元的方向属性满足匹配条件(其中 v 为语义元的运动方向, d_1 为运动语义元的装配可行方向, d_2 为邻近空间存在的匹配语义元的装配可行方向, d_3 为运动语义元质心到匹配语义元质心的矢量),而图 2(c)则不满足匹配条件(其中 v 与 d_1 的夹角大于 90° ,运动不是沿着装配可行方向).

(3) 装配语义元类型属性的匹配.即装配语义元仅与特定类型的装配语义元进行匹配.装配语义元的匹配语义元类型集合 MT 中记录了能够与该装配语义元匹配的语义元类型.例如,与螺栓相匹配的装配语义元类型为螺栓孔与螺母.

(4) 装配语义元参数属性的匹配.即在参数空间比较装配语义元的接近度.通过对装配语义元间对应特征参数的比较,确定装配语义元之间是否存在匹配关系.例如,轴与孔的直径必须相等.在产品装配中,往往存在外形相似的零件,这些零件的特征参数略有不同(如 M5 与 M6 的螺栓),如果不进行参数属性的匹配,用户往往难以选择正确的零件进行装配.通过装配语义元参数属性的匹配,可以避免如图 2(d)所示的装配(图中装配语义元的直径分别为 5(孔)和 6(螺栓)).这一点,在纯粹的几何约束识别方法中是难以实现的.



螺栓的作用空间, 孔的作用空间, 直径.

Fig.2 Attribute matching of semantics entities

图 2 装配语义元属性匹配

算法 2. 装配语义识别算法

对于待装配零件 p_j 中的每一个未饱和或自由的装配语义元 f_i ,do:

对于已装配零部件 R 中每一个未饱和或自由的装配语义元 F_j ,do:

{ Step 1. $triangle\text{-}number = collision\text{-}detect(f_i.AZ, F_j.AZ)$;

//检测 f_i 与 F_j 对应的作用空间图形实体是否发生碰撞,返回值为发生碰撞的三角面片数

if ($triangle\text{-}number > 1$)

goto Step 2; // 作用空间匹配

else 结束本次循环; // f_i 与 F_j 不存在语义匹配关系

Step 2. if ($type\text{-}match(f_i, F_j)$)

goto Step 3; // 类型匹配

else 结束本次循环; // f_i 与 F_j 不存在语义匹配关系

Step 3. for (each d_{1i} in $f_i.FAD$)

for (each d_{2j} in $F_j.FAD$)

{ if ($angle(v, d_3) < 90^\circ \ \&\& \ angle(v, d_{1i}) < 90^\circ \ \&\& \ angle(v, d_{2j}) > 90^\circ$)

goto Step 4; // 方向属性匹配

}

结束本次循环; // f_i 与 F_j 不存在语义匹配关系

Step 4. if ($parameter\text{-}matching(f_i.FPS, F_j.FPS)$)

goto step5; // 参数属性匹配

```

else 结束本次循环; //  $f_i$  与  $F_j$  不存在语义匹配关系
Step 5. 进行装配语义引导的装配约束识别,若约束识别不成功,表明装配语义在约束层次存在冲突,结束本次循环;(语义引导的约束识别见第3节)
Step 6.  $f_i$  与  $F_j$  之间存在语义匹配关系,修改装配语义元的状态,并创建装配语义框架对象实例或在已有装配语义实例中增加内容.
}

```

3 语义引导的装配几何约束识别

装配语义识别主要是从抽象的语义层对零部件的装配关系进行识别,而零部件间的配合关系最终体现为几何体素之间的约束关系.因此,在语义识别的基础上还必须进行约束识别,从几何约束层进一步判断零件间的配合关系.

语义引导的约束识别就是根据装配语义蕴涵的定位约束信息,判断零部件几何体素之间的几何约束满足情况,并建立约束关系.首先,将装配语义表达中的约束几何对象与零件实体几何对象进行关联,建立装配语义约束实例集合 ϕ .然后,根据约束识别规则对 ϕ 中的约束进行识别,并将 ϕ 中得到满足的约束子集 ψ 作为运动引导约束.在装配运动过程中,系统不断地对 ϕ 中的元素进行约束识别,直到 ϕ 为空; 用户通过交互表达停止装配; 零件的运动自由度为 0 为止.

算法 3. 语义引导的装配几何约束识别算法

Step 1. 如果装配语义对象中的约束尚未实例化,将装配语义对象中的约束几何对象与实体几何对象关联,建立约束实例集合 ϕ ;

Step 2. 如果 $\phi = \text{NULL}$, goto Step 5; 否则,对于 ϕ 中的每一几何约束 ϕ_i ,根据约束识别规则进行 ϕ_i 的识别,并将识别出的约束移到临时约束集 ψ ;

Step 3. 判断 ψ 中的几何约束是否与已有的装配语义、装配约束发生冲突,若发生冲突, goto Step 5;

Step 4. 高亮显示 ψ 中约束几何对象,若在给定的时间内,用户没有改变待装配件的方位或方位的改变没有超出给定的阈值范围,则认为识别出的装配几何约束有效, goto Step 6; 否则,说明识别结果并非设计者的运动意图, goto Step 5;

Step 5. 装配几何约束识别不成功,将冲突结果反馈给语义识别模块,结束本次约束识别;

Step 6. 装配几何约束识别成功,将 T 中的约束移到运动引导约束集 ψ ,进行约束求解.

4 虚拟环境中零件的运动引导及精确定位

在每一帧装配场景绘制之前,装配语义识别程序都根据装配语义元匹配规则实时地检测待装配零部件 p_i 与已装配零部件 R 可能存在的装配语义关系.与此同时,用户还可以通过语音或手势交互地表达装配语义关系.用户表达的交互信息通过设计情景分析与交互理解,转化为装配语义.

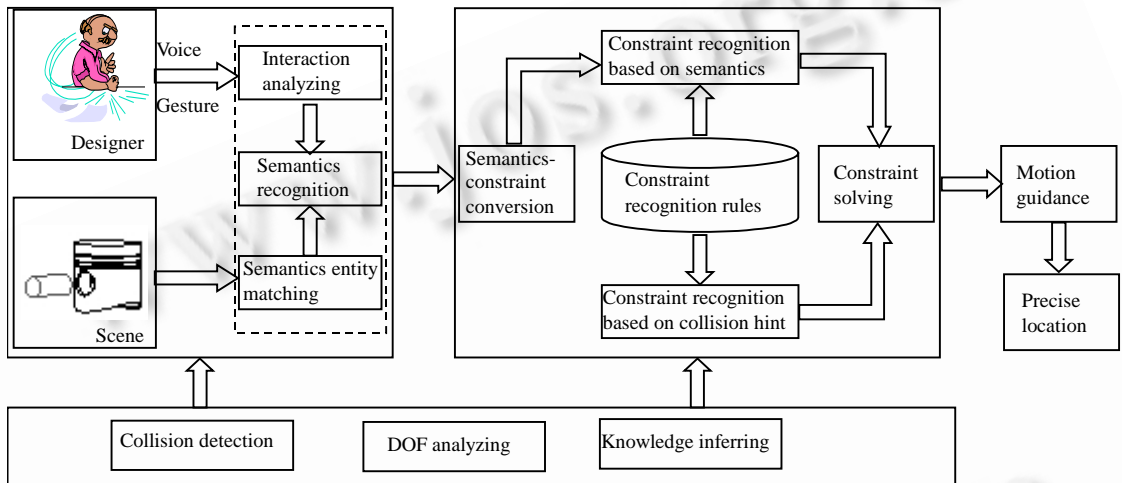
当完成语义识别以后,系统进行语义引导的几何约束识别,并根据几何约束满足情况,对零部件的运动自由度进行分析,确定零部件的“可自由运动方向”.通过将位置跟踪设备输入的运动信息投影到零部件的可自由运动方向上,实现对零部件的运动引导.当零件的可自由运动方向为 0 时,零件被完全约束在装配定位点,此时,零件的位置被精确地确定.基于装配语义识别的虚拟装配运动引导与精确定位过程如图 3 所示.

拆卸是装配过程的反演.通过对零部件的拆卸可以评估产品的可维护性.因此,虚拟装配系统应该同时支持用户在虚拟环境中对产品模型进行装配与拆卸.拆卸过程,实际上是装配语义元由饱和到欠饱和、自由状态的转化.当用户进行零件拆卸时,系统在每一个运动采样点都实时检测该零件以及固定在该零件上的其他零件的定位约束满足情况.当约束的满足度小于给定的值时,取消该约束对零件运动的限制,并对相应的装配语义元状态进行标识.拆卸过程中,随着约束的不断被破坏,零件的可自由运动方向不断增加,直至约束为 0,相应的装配语义元亦恢复到自由状态.此时,零件的拆卸完成.

5 实 例

我们设计并开发了一个虚拟设计与装配系统 VIRDAS(virtual reality design and assembly system).VIRDAS 采用数据手套 5DT glove 和位置跟踪器 Flock of Birds 进行手势的输入,并采用 IBM VoiceType for Windows NT (PC)进行语音识别,支持用户以语音命令的形式表达装配关系.同时,VIRDAS 通过 i_glasses 头盔实时显示立体装配场景.通过对头部位置的跟踪,交互过程中装配场景能随用户视点的改变而改变.

VIRDAS 通过数据接口读入 CAD 系统(Pro/Engineer 19.0)中建立的零件模型信息,并进行零件信息的预处理.在虚拟装配过程中,用户可以直接用手抓取零件进行装配,虚拟装配系统通过装配语义识别,捕捉用户的交互意图,进行零件的运动引导与精确定位.借助于装配运动引导,设计者可以准确、自如地对零部件进行装配和拆卸,分析不同的装配顺序对产品装配性能的影响.装配过程中的碰撞检测采用 S.Gottschalk 等人提出的碰撞检测方法^[8].



设计者, 装配场景, 语音, 手势, 交互信息理解, 语义识别, 装配语义元匹配, 语义与约束的转化, 语义引导的约束识别, 约束识别规则, 基于碰撞提示的约束识别, 约束求解, 碰撞检测, 自由度分析, 装配知识推理, 运动引导, 精确定位.

Fig.3 The frame of motion guidance and precise location in virtual environment

图 3 虚拟环境中装配运动引导与精确定位过程

如图 4 所示为设计者采用本文提出的方法在虚拟环境中对汽车发动机的部分关键零部件进行的装配设计与分析.如图 5~图 11 所示为活塞连杆部件装配过程(图示顺序为设计者确定的装配可行顺序之一,匹配语义元以高亮形式显示).实验表明,基于装配语义识别的装配运动引导方法有效地提高了虚拟环境中设计者装配设计与分析的效率.



Fig.4 Designer performs the product assembly design and analysis in the virtual environment

图 4 设计者在虚拟环境中进行产品装配设计与分析



Fig.5 Parts to be assembled in the virtual environment

图 5 虚拟环境中待装配零件



Fig.6 Recognized 'shaft-bush-hole mate' semantics and taken the align constraint of centerlines of hole and bush as motion guidance constraint
 图 6 识别出“轴-衬套-孔配合”语义,将孔与衬套的轴线对齐约束作为运动引导约束



Fig.7 Recognized 'hole-hole align' semantics and taken the mate constraint of end faces of two holes as motion guidance constraint
 图 7 识别出“孔-孔对齐”语义,将孔端面贴合约束作为运动引导约束



Fig.8 The recognized 'shaft-hole mate' semantics and taken the align constraint of centerlines of hole and shaft as motion guidance constraint
 图 8 识别出“轴-孔配合”语义,将孔与轴轴线对齐约束作为运动引导约束

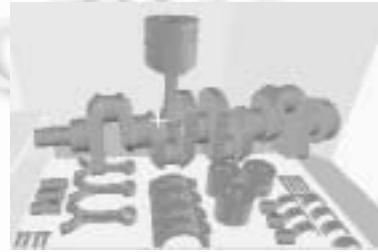


Fig.9 The mate constraint of end faces of connecting rod and crank is recognized according to collision hint
 图 9 根据碰撞提示,识别出连杆的端面与曲轴平衡块端面贴合约束



Fig.10 The recognized 'bolt-hole-nut joint' semantics and taken the align constraint of centerlines of bolt and hole as motion guidance constraint
 图 10 识别出“螺栓-孔-螺母联接”语义,将螺栓与孔轴线对齐约束作为运动引导约束



Fig.11 Final assembly of piston and connecting rod component of automotive engine
 图 11 装配好的汽车发动机的活塞-连杆部件

6 结 论

要发挥虚拟环境中产品设计的优势,必须在 VR-CAD 中充分利用产品设计蕴涵的工程信息.本文通过装配语义识别,捕捉虚拟装配过程中用户的交互意图.在此基础上,进行装配零部件的运动引导,使得用户能够在虚拟环境中自如地、准确地进行装配定位.与几何体素层次的约束识别相比,装配任务层次的语义识别对用户交互意图的捕捉更为有效和准确.本文提出的方法已在虚拟装配系统 VIRDAS 的研究与开发中得到实现,并应用到汽车发动机零部件的虚拟装配中.

由于装配语义识别仅发生在装配语义元的邻近空间.而在实际装配过程中,有时在装配语义识别启动之前就需要进行零件的运动引导,或根据装配语义进行运动引导仍不可避免发生运动碰撞.此时,根据零件间的碰撞信息进行零件的运动引导是解决这一问题的有效方法.目前,我们正在具体实现基于碰撞提示的几何约束识别

算法. 装配语义识别与基于碰撞提示的几何约束识别的有机结合, 将更好地解决虚拟装配中的运动引导问题. 此外, 本文提出的基于装配语义的运动引导方法虽然与装配顺序无关, 但是, 如果能通过装配语义蕴涵的装配知识进行装配顺序的引导, 将有助于装配规划中合理装配顺序的确定. 将本文的工作进一步延伸到虚拟装配中的装配顺序分析, 是我们正在深入研究的问题.

References:

- [1] Jayaram, S., Jayaram, U., Wang, Y., *et al.* VADE: a virtual assembly design environment. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1999, 19(6):44~50.
- [2] Ye, N., Banerjee, P., Banerjee, A., *et al.* A comparative study of assembly planning in traditional and virtual environments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1999, 29(4):546~555.
- [3] Gomes de Sá, A., Zachmann, G. Virtual reality as a tool for verification of assembly and maintenance processes. *Computers and Graphics*, 1999, 23(3):389~403.
- [4] Beckert, B.A. Venturing into virtual product development. *Computer Aided Engineering*, 1996, 15(5):45~50.
- [5] Fa, M., Fernando, T., Dew, P.M. Direct 3D manipulation techniques for interactive constraint-based solid modeling. In: Hubbard, R.J. Juan, R., eds. *Proceedings of the Eurographics'93*. Oxford: Blackwell Publishers, 1993. C237~C248.
- [6] Zhong, Yong-min, Yang, Hai-cheng. A constraint-based approach for interactive and precise solid modeling in a virtual reality environment. In: Chen, Hou-peng, Gu, Jian-hua, eds. *Proceedings of the 6th International Conference on CAD/CG*. Shanghai: Wen Hui Publishers, 1999. 1164~1171.
- [7] Gao, Shu-ming, Wan, Hua-gen, Peng, Qun-sheng. Constraint-Based virtual solid modeling. *Journal of Computer Science and Technology*, 2000, 15(1):56~63.
- [8] Gottschalk, S., Lin, M.C., Manocha, D. OBBTree: a hierarchical structure for rapid interference detection. In: Rushmeier, H., ed. *Proceedings of the SIGGRAPH'96*. New Orleans: ACM SIGGRAPH, 1996. 171~179.

Research of Motion Guidance in Virtual Assembly Based on Semantics Recognition*

LIU Zhen-yu, TAN Jian-rong, ZHANG Shu-you

(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

E-mail: liuzy@zju.edu.cn; egi@zju.edu.cn

<http://www.cad.zju.edu.cn>

Abstract: It is difficult to control the motion of the assembling parts precisely with current virtual reality I/O devices during virtual assembly. In this paper, a semantics recognition method is presented to capture the user's intention. A motion guidance method based on semantics recognition and constraint recognition is provided to help the user move or rotate the parts in the virtual environment freely and precisely. The semantics recognition is implemented according to the matching of spatial position, assembly orientation, type and parameters of the semantics entities. The semantics recognition enables the system recognize the assembly relationship on assembly task-level rather than lower-level geometry constraints. The methods are implemented in the development of VIRDAS (virtual reality design and assembly system) and a virtual assembly example of automotive engine component is also given in this paper.

Key words: virtual reality; CAD; virtual assembly; semantics recognition; constraint recognition; motion guidance

* Received May 19, 2000; accepted August 18, 2000

Supported by the National Science Foundation of China for Distinguished Young Scholars under Grant No.69425005; the National High Technology Development 863 Program of China under Grant No.863-511-942-001; the National Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education of China under Grant No.98033506