

虚拟装配中感知机制构造*

程 成

(中国科学院 软件研究所 人机交互与智能信息处理实验室,北京 100080)

E-mail: guoguocheng1@sina.com

http://www.iscas.ac.cn

摘要: 虚拟装配的一个重要特性是交互性,要提高系统的交互性能,就要合理地分担人和机器的认知负荷,虚拟环境的感知机制是实现这一目标的重要方法.在形式地描述了虚拟装配系统结构后,提出虚拟装配中复合对象的感知机制,同时给出了装配交互中的感知模式,对感知过程给出了分析和构造.桌面虚拟装配的构造实践证明了的感知机制具有很好的交互实时性,对于用户意图理解有较大的帮助作用.

关键词: 虚拟环境;虚拟装配;人机交互;感知;特征设计;几何约束;软件构造

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A

虚拟装配的目标一个是设计验证,另一个是装配工艺的自动生成^[1-3].要完成这两个任务,首先要使系统能方便地进行 3D 操作,其次要使虚拟场景具有丰富的语义^[1-3].对于桌面虚拟装配环境,多种直接交互设备的应用为人机交互提供了极大的可能性,但同时也暴露出许多问题,如何基于这些设备实现输入的精确、便捷,如何让虚拟环境理解人的交互意图是当前虚拟装配中的重要问题^[4,5].

要实现一种和谐的人机环境,就要合理地分担认知负荷,必须强化虚拟环境的感知能力.虚拟环境的感知机制是实现自然而和谐的人机交互的基础.目前的研究主要集中在感知的内容和表现形式上,如深度感知^[6]、接近感知^[7]、碰撞检测^[8]和触觉反馈^[9].虚拟装配场景的高度复杂性集中表现在装配对象的复杂结构和虚拟装配要求的精确操作上,因此特征感知和约束感知成为虚拟装配人机交互的关键.在感知机制上,大部分已经建立的虚拟环境系统采用的是集中式处理,尽管它们大部分都有对象行为机制,其核心机制都是基于事件响应模式,即根据虚拟环境中事件来激活对象行为代码,但这种机制的缺点是算法复杂度高^[10].在感知的可用性上,虽然碰撞检测是虚拟环境交互中的一种重要感知过程,但是基于碰撞检测的虚拟装配有两方面问题:一方面是由于设计参数的不当,可能导致整个装配过程无法进行下去;另一方面是虚拟装配场景的高复杂性使得系统碰撞检测很难满足实时需求.因此,对感知机制和感知过程的研究显得非常必要.

对虚拟装配场景的结构分析是实现虚拟环境感知的基础和前提,因此本文在第 1 节中首先对虚拟装配系统的结构给出形式描述,指出虚拟环境中的感知是虚拟环境中对象的能力,对象通过自身的行为和彼此间的交互来感知环境的变化.第 2 节给出一种对象感知机制.在此基础上,第 3 节针对桌面虚拟装配的感知需求,给出一种感知模式,对各种感知过程及其相互关系给出构造分析.

1 虚拟装配系统结构分析

对于较为复杂的产品,首先进行组装,再进行部装和总装,由于部装是总装的基础,其装配过程有时比总装更复杂,而且部件装配又包含有组件的装配过程,具有典型意义,因此本文以虚拟部件装配过程为分析和描述的基础.在虚拟装配中,我们将组装件和部装件都抽象为子装配,将零件也视为一个子装配.

* 收稿日期: 2001-10-23; 修改日期: 2002-05-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60033020);国家 863 高科技发展计划资助项目(863-511-942-012)

作者简介: 程成(1966 -),男,安徽黟县人,博士生,主要研究领域为 CAD,虚拟环境人机交互.

本文中的感知定义为虚拟环境中主动对象对虚拟空间中特定关系的捕捉、分析处理和有效反馈.所谓虚拟空间中的特定关系有两种含义,一种是对空间的理解,另一种是对对象关系的理解.在虚拟装配应用中对二者的感知离不开对虚拟装配系统结构的掌握,因此,对虚拟装配系统结构分析是复杂感知的存在基础和前提条件.这里首先给出对虚拟装配空间分配的定义.

定义 1. 虚拟装配空间由零件库存空间和装配空间组成,装配空间网格等分为 m 个装配子空间,每个子空间只存在一个子装配,描述如下:

$$VirtualSpace = Warehouse \quad AssemblySpace, \text{ where } Warehouse \quad AssemblySpace = \emptyset;$$

$$AssemblySpace = \quad SubAssemblySpace_i, \text{ where } SubAssemblySpace_i \quad SubAssemblySpace_j = \emptyset, 1 \leq i, j \leq m.$$

由于部装过程中会出现许多子装配,在装配过程中,子装配间的装配关系需要频繁地交互指点操作来显式地确定,给用户增加了许多负担.有了空间分配的定义,子装配之间的装配关系就可以自动建立起来.另一方面,不同类型的子空间具有不同的作用和工作情景,因而空间分配还构成对深层次的交互意图理解的基础.

虚拟装配环境中包含众多的对象,我们把这些对象按能力划分为 3 类,包括被动对象、主动对象和智能体.这里的被动对象定义为只有接收外界事件和调用自身操作完成相应请求的能力的一类对象.主动对象具有完全的事件响应能力,既能处理来自外界的事件又能产生内部事件,不仅具有事件的接收能力,还有主动发送事件的能力,而且具有自身的内部状态和行为选择能力,表现为具有自主的行为能力和对复杂环境的分析能力.我们将机械零件(Part),子装配体(A_i)以及空间导航器(Navigator)这 3 种对象设计为主动对象,空间导航器是如三维光标和虚拟手之类的辅助工具对象,是多通道输入的映射,能反映用户的空间直接操作,虚拟环境中的人机交互就是通过空间导航器与其他对象交互的.智能体对象主要是虚拟装配系统的场景管理者(SceneManager),它负责整个虚拟空间中场景管理和对象管理,它感知虚拟场景中的情景变化,根据情景转换网络决定情景的转换,同时与场景中其他对象通过事件通信进行交互,如图 1 所示.

我们给出虚拟装配系统的形式描述,目的是要对场景中的对象群给出一个确定的组织模式.规定虚拟场景中对象的类型、行为和组织模式.给出装配情景机制,刻画装配中一些典型过程.基于该形式描述达到虚拟环境对交互语义的深层次理解.这样做有以下几点必要性和可能性:

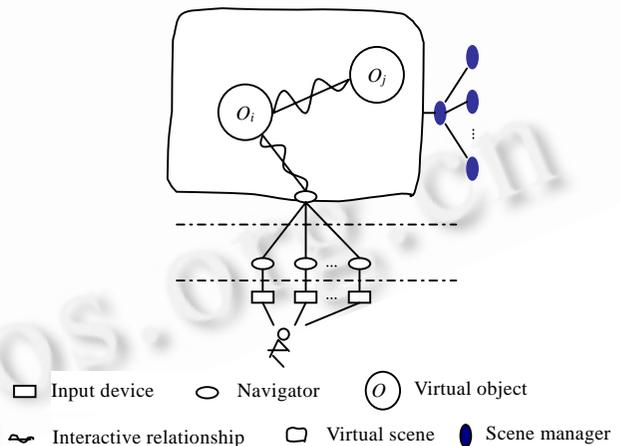
(1) 本文中的感知是建立在主动对象间交互获得彼此状态和属性的行为机制上的,而不是用集中式的算法计算得到的,对象间的交互需要对象间存在有效的组织形态;

(2) 在虚拟部件装配过程中,每一次装配行为都表现为一个子装配的行为,子装配是一个复合对象,以某个确定的关系将包含的零件组合在一起,装配过程中的复杂感知行为又是其中的基本对象——零件上的行为,多个零件的感知结果需要在子装配对象中加以对比和分析,因此,子装配的有机结构需要给出;

(3) 部装装配过程表现为两个子装配之间的交互过程,两个子装配分别是复合的对象,两个子装配之间的交互需要明确子装配间的关联关系;

(4) 系统中的对象都具有一组特定的行为,给出对象行为集是系统分析和设计的重要依据;

(5) 目前存在的系统普遍缺乏对用户意图的深层理解,原因在于没有对应用情景很好地描述,有必要强化这一方面的描述.



交互设备, 导航器, 虚拟对象, 交互关系, 虚拟场景, 虚拟场景管理者.

Fig.1 Virtual assembly system structure

图 1 虚拟装配系统结构示意图

定义 2. 称五元组 $\Omega=(O,BEHAVE,AR,SC,TR)$ 为虚拟装配系统模型,如果

- $O=SceneManager Navigator Assembly A_i$,为对象集合;
- $BEHAVE$ 为对象的行为集合,包括:
 - (a1) $\{Translate,Rotate\} \in BEHAVE$,空间运动行为;
 - (a2) $\{ApproachSense,FeatureMatchSense,ConstraintSense,FaceMateSense\} \in BEHAVE$,为感知行为;
 - (a3) $\{MatchFeatureRepresent,SelectedFeatureRepresent,MatchAuxRepresent,MateFaceRepresent\}$,感知的表现行为;
- $AR \subseteq O \times O$ 为 O 上的聚合关系,满足自反性、非对称性、传递性:
 - (b1) $(SceneManager,Navigator) \in AR$;
 - (b2) $(SceneManager,Assembly) \in AR$;
 - (b3) 若 $SubAssemblySpace_i \neq \emptyset$,则 $\exists A_i \in SubAssemblySpace_i, (Assembly,A_i) \in AR$;
 - (b4) 对 $\forall A_p, A_q \in SubAssemblySpace_i, \exists A_k, (A_k, A_p) \in AR, (A_k, A_q) \in AR$;
- $SC = \{sc_1, sc_2, \dots\}$ 为装配情景集合,每个装配情景用结构 (id, S, S_0, S_E, TR) 描述,满足:
 - (c1) Id 为情景的标识;
 - (c2) S 是情景中包含的状态集合, S_0 为情景的初始状态, S_E 为情景的退出状态集合,状态转换规则由 TR 描述;
 - (c3) $\exists SC_I \in SC$ 是初始情景;
 - (c4) $\exists SC_E \subset SC$ 是终止情景集合;
- $TR: SC \times BEHAVE \rightarrow SC$ 是情景转换规则集合,用以下时序逻辑形式^[11]描述:

$$LB=id_1 \wedge P_1 \Rightarrow \#_i(Q_1 \wedge Behave=behave_1 \wedge \$OLB=id_{N1});$$

$$LB=id_2 \wedge P_2 \Rightarrow \#_i(Q_2 \wedge Behave=behave_2 \wedge \$OLB=id_{N2});$$

$$LB=id_3 \wedge P_3 \Rightarrow \#_i(Q_3 \wedge Behave=behave_3 \wedge \$OLB=id_{N3});$$

...

$$LB=id_n \wedge P_n \Rightarrow \#_i(Q_n \wedge Behave=behave_n \wedge \$OLB=id_{Nn}).$$

模型中的对象标识集合 O ,包括虚拟场景管理者对象、空间导航器对象、系统导入的待装配产品的所有零

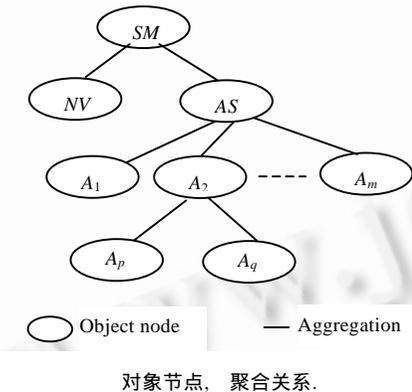


Fig.2 The object aggregation in virtual assembly scene
图 2 虚拟装配场景中对象聚合关系

部件对象和系统在交互过程中动态生成的所有子装配对象.模型中对象间的聚合关系 AR ,其直观的图形描述如图 2 所示.聚合关系是一种有向关系,满足定义中描述的性质,系统中规定的对象之间通过聚合关系形成确定的结构组成.虚拟场景管理者是虚拟场景的总的管理对象,同时也是聚合关系的根节点 (SM) ,空间导航器 (NV) 和总装配体节点 (AS) 以及 m (装配子空间分割数)个子装配节点 (A_i) 对应 m 个装配子空间,每一个这样的子装配节点可以是多层的聚合关系组成的复杂装配体的父节点,在装配过程中,当有子装配进入该子空间时,系统动态创建该子装配节点作为新进入空间中的所有子装配的聚合父节点,子装配体 A_p, A_q 同

是子装配节点 A_i 的聚合子节点.

模型中的对象行为集合 $BEHAVE$,给出了系统中对象的行为描述,基于主动对象的构造赋予不同类型对象不同的行为能力.行为主要分为:(1) 空间运动行为,主要是平移和旋转动作;(2) 复杂的感知行为,包括特征匹配感知、约束感知和面贴合感知;(3) 是感知的相应表现行为,分别是特征的匹配表现、辅助特征对的对齐表现以及特征面贴合的表现.除了以上这些感知表现外,还有子装配对象在成为拾取目标时的表现和被拾取后的相应表现.

模型中的装配情景集合 SC 包含了虚拟装配环境装配交互过程中一些典型的交互情景,我们对装配过程经过分析后抽象得到一组情景,根据情景的编排最终完成一个完整的装配过程,通过它我们可以较好地将装配工艺知识融合到装配的交互构造过程中来.模型中的情景转换规则 TR 描述了对象在情景间的转换以及情景中状态间的转换,本文给出了情景转换规则的 XYZ 语言^[11]描述. TR 中每一行表示的一个公式称为一个条件元, LB 是情景的控制变元, id 是情景标识, \Rightarrow 为推导符号, $\#_i$ 是时序逻辑算子, P_i, Q_i 都是合式的时序逻辑公式,用 P_i 反映情景中当前状态和触发事件,用 Q_i 反映下一时刻所处的状态, $Behave$ 为对象在接收到相应事件后的行为, $\$O$ 为下一时刻算子.

定义 1 是从空间角度来分析装配系统构造,定义 2 给出了装配情景及其转换和对象集合,从装配时序关系和对象关系来分析装配系统的构造.由于人机交互是一种动态行为,其显著不同的一点是包含了重要的时空关系和对象关系,因此,上面给出的虚拟装配系统模型构成了人机交互的语义基础.

2 虚拟装配中对象感知机制构造

通过对虚拟场景对象结构的分析,我们对虚拟装配场景给出了明确的刻画,说明了其中包含的对象类型、对象的组织机构以及交互装配的情景机制,这些都为虚拟装配过程中复杂的感知实现创造了外部环境.在此基础上,还需要构造基于主动对象的对象感知机制.目前的一些系统都有对象机制,但它们都是基于事件响应机制的,复杂行为还是采用集中处理的方法,算法复杂度高.我们在现有对象行为机制基础上进一步构造了虚拟环境中复合对象的复杂行为机制,主要特点是对象不仅具有事件响应和处理能力,而且还具有对象对虚拟环境的主动感知能力和基于情景的行为选择能力.

在部装装配中,基本的装配对象是子装配,在上一节的系统模型中已经描述了子装配的基于聚合关系的组织结构,我们将每个子装配视为一个有机的整体,在虚拟部装过程中对象的行为都表现为复合对象的行为,因此本节要给出虚拟环境中复合对象的行为机制,并对其如何实现复杂感知进行必要的分析.事件及其处理是复合对象行为的重要组成部分,所以我们首先给出事件的定义及其分类.

定义 3. 事件是对象间交互信息的载体,包含基本事件和复合事件.基本事件的结构为

$$e=(e_1, e_2, e_3, e_4),$$

其中 $e_1 \in O$ 为事件源; $e_2 \in 2^O$ 为对象标识集合,表示事件发送的目标; $e_3 \in BEHAVE^*$ 为对象动作或动作序列; $e_4 \in$ 构造型数据结构,表示事件所带的参数;复合事件是基本事件构成的一个无穷序列.

事件类型分为命令事件(cE)和请求事件(qE),命令事件不用接收者反馈,请求事件要求接收者反馈一个事件作为回应,有 $E=cE \quad qE$, where $cE \quad qE = \emptyset$.装配体中对象间的交互是基于事件传递,事件必须在具有直接聚合关系的两个对象中传递.

由于虚拟装配中对象的感知主要表现为子装配复合对象的行为,复合对象的行为机制是保证感知实现的基础,因此,要给出复合对象中行为和交互的实现机制,说明在这个行为机制基础上子装配是如何作出复杂感知的.其关键是要强调复合对象的整体行为能力、对虚拟环境的主动感知能力和基于对情景分析的自主行为选择能力.

定义 4. 装配体的行为机构由 3 个处理进程组成,分别是感知器(sensor)、事件控制器(eventcontroller)和行为机构(behavior).感知器在对象处于主动状态时主动感知虚拟场景中对象间的接近关系,事件控制器负责事件接收、发送及转发,行为选择器完成在不同情景下自主选择相应行为执行,描述如下:

$$BM[o_i]=Sensor \quad EventController \quad Behavior[o_i], \tag{1}$$

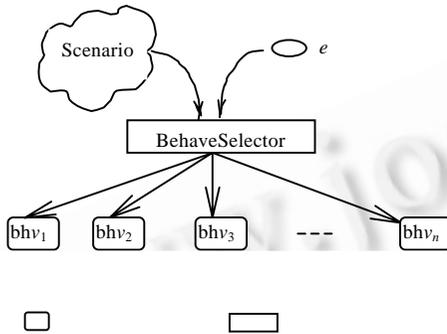
$$Sensor[o_i]=ApproachSensor@o_i||\Pi o_{j \in o_i} Sensor[o_j], \tag{2}$$

$$EventController[o_i]=Console@o_i||\Pi o_{j \in o_i} EventController[o_j], \tag{3}$$

$$Behavior[o_i]=BehaveSelector@o_i||\Pi o_{j \in o_i} Behavior[o_j], \tag{4}$$

其中 o_i 是装配体对象标识, $[o_i]$ 表示 o_i 代表的子装配复合对象, $@o_i$ 表示 o_i 对象本身, o_i 表示 o_i 聚合关系下的所有子节点对象集合, $||$ 表示进程间的并发, $\Pi o_{j \in o_i} Sensor[o_j]$ 表示所有 o_i 在聚合关系下的子节点都有感知器,其他描述类似.

式(1)给出了复合对象行为机制的 3 个主要组成部分,其中的感知器 Sensor 实现子装配对象对外部环境的简单感知,但它是对象的一种主动行为机制,主动感知对象所处的外部环境,从而为后续的复杂感知提供线索和触发事件;事件控制器 EventController 是子装配对象的事件处理单元,负责来自外部和内部的事件的接收、发送以及分发;行为机构 Behavior 根据环境情景和自身状态主动选择和执行相应的行为过程.式(2)~式(4)分别描述了这 3 个组成部分在复合对象中的构成.式(2)说明了复合对象的感知器由其每个组成对象的接近感知器进程 ApproachSensor 组成.式(3)说明了复合对象的事件处理器是由其组成对象的事件处理的守候进程 Console 组成,在子装配复合对象中,对象间的事件发送和接收都是基于具有直接聚合关系的两个对象的 Console 间通信来完成的,不同子装配之间的事件传递是通过聚合关系下公共父节点来实现的.式(4)说明了复合对象的行为单元是由其每个组成对象的行为选择进程 BehaveSelector 构成.



□ 装配情景, 事件, 对象行为, 行为选择.

Fig.3 Description of sub-assembly object behavior selection

图 3 子装配对象的行为选择机制描述

我们将虚拟装配中每个子装配作为一个主动对象来设计,它的主动性主要表现在对象的自主行为选择能力上.在定义 2 中的情景及其转换给出了装配情景的构造机制.它实际上是一个双层状态机,行为选择进程就是情景的分析单元,根据当前装配情景及接收的事件来选择执行相应的对象行为,如图 3 所示.

简单感知如接近感知对于虚拟装配这样的复杂应用是无法满足需要的,因此需要基于上述的子装配行为机制来构造子装配对象的复杂感知行为.该过程可以用下面的步骤实现:

- Step 1. 子装配根节点对象主动感知虚拟环境中的对象接近关系;
- Step 2. 在感知到对象的接近以后产生相应的一个内部事件;
- Step 3. 子装配对象的行为选择进程根据当前情景和当前处理的事件选择相应的感知行为;
- Step 4. 子装配对象通过事件机制通知其组成零件对象完成相应的复杂感知行为.

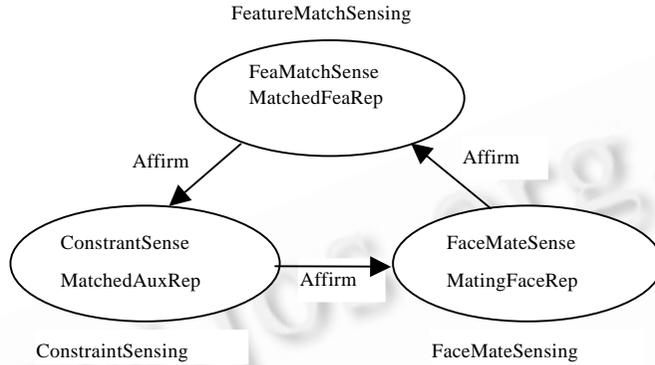
3 虚拟装配的三阶段感知的构造

机械产品的复杂性和装配工艺的复杂性导致了虚拟装配场景的高度复杂性.目前的一些系统普遍表现为集中控制、基于碰撞检测的交互以及人的认知负荷过重这 3 个方面问题,集中表现为虚拟装配环境缺乏复杂感知能力和对交互情景的分析能力.为了能让虚拟环境深层理解用户的交互意图,必须将装配工艺过程知识融入虚拟装配系统中.我们的做法是通过对交互装配过程的分析,抽象出一些典型的交互情景,并且针对各交互情景构造相应的对象复杂感知行为.具体来讲,我们在原型构造过程中设计了 3 种典型装配情景,即是特征匹配情景、对齐情景及面贴合情景,相应的复杂感知过程是特征匹配感知、约束感知和特征面贴合感知.

在感知的构造中,我们主要作了以下分析:(1) 感知过程分析,形式描述特定感知的执行过程;(2) 通过对设计原型的评估确定特定感知的表现形式;(3) 构造每一个感知情景以及情景间转换,包括设计情景中的状态内容及其转换事件.三阶段感知的情景结构如图 4 所示.

在虚拟部装过程中,特征匹配感知得到的可能是一组特征间的彼此匹配关系,用户的六自由度操作可以使特征匹配关系惟一,用户的确认使得虚拟环境对当前正在进行的装配零件对以及匹配的装配特征都有了明确的指代,我们设计的特征匹配感知行为是点亮匹配的特征.约束感知是在特征匹配之后进行的,这里的约束目前主要是指对齐约束,零件对象在六自由度运动状态中感知先前匹配的装配特征对之间的对齐约束,并通过具有装配关系的两零件各自的约束感知表现行为表现出来,我们赋予每个装配特征局部坐标轴,约束感知的表现是点亮特征上相互对齐的局部坐标轴对.在经过用户的确认后即进入有约束行为状态,零件的运动方向向量已经

与装配特征位姿矢量重合.面贴约束作为一种特殊的约束类型,我们将它专门抽取出来做成一种感知情景.它是上面的约束感知情景的后续情景,是伴随有约束运动行为进行的一种感知.典型情形是在轴向运动中进行特征面贴合感知,可能同时有多个特征面对在贴合阈值范围内,用户的交互将使面贴合关系惟一,我们在原型设计中使用一个在贴合面位置的透明方形面片来表现面的贴合.将复杂的部装过程分解成这样的基于三阶段感知的交互过程,在感知的基础上交互,在交互中动态感知,不断经过如上所述的三阶段感知交互过程,最后完成整个部装任务.



特征匹配感知情景, 特征匹配感知行为, 特征匹配表现行为, 确认, 约束感知行为, 辅助特征匹配表现行为, 约束感知情景, 面贴合感知行为, 面贴合表现行为, 面贴合感知情景.

Fig.4 Three-Stage perception mode

图 4 三阶段感知情景示意图

4 结 论

基于上述理论,我们在微机加 LOGITECH 3D 鼠标硬件环境和 Open Inventor 三维平台上构造了一个虚拟装配原型系统,在虚拟环境中通过对减速箱的装配过程来验证人机交互中感知的构造.目前,该系统可以做到零部件的自由装配和拆卸、基于六自由度设备的精确定位以及部分装配语义的自动生成.

人机交互是虚拟装配的瓶颈,其原因是虚拟环境的感知能力较弱.本文给出了虚拟装配环境中复合对象的感知机制,针对桌面虚拟装配应用提出了基于特征匹配感知、约束感知和面贴合感知的三阶段感知模式,并对各种感知过程给出了具体的构造分析.实践证明,感知机制能有效地分担人的认知负荷和操作负荷,对虚拟装配交互过程起到了重要的作用.

致谢 中国科学院软件研究所的王宏安研究员对本文的工作提出了很多有益的建议,在此表示感谢.

References:

- [1] Jayaram, S., Jayaram, U., Yong, W., *et al.* VADE: a virtual assembly design environment. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999,19(6):44~50.
- [2] Jung, B., Hoffhenke, M., Wachsmuth, I. Virtual assembly with construction kits. In: Proceedings of the 1998 ASME Design for Engineering Technical Conferences (DETC-DFM'98). 1998. 1~7.
- [3] Antonino Gomes de Sá, A.G., Zachmann, G. Virtual reality as a tool for verification of assembly and maintenance processes. Computer and Graphics, 1999,23:389~403.
- [4] Chu, C-C.P., Dani, T.H., Gadh, R. Multi-Sensory user interface for a virtual-reality-based computer-aided design system. Computer-Aided Design, 1997,29(10):709~725.
- [5] Liu, Zhen-yu, Tan, Jian-rong, Zhang, Shu-you, *et al.* Design semantics of assembly modeling in virtual environment: expression, transfer and transformation. Chinese Journal of Computers, 2000,23(11):1208~1214 (in Chinese).

- [6] Zhai, S., Buxtion, W., Milgram, P. The partial-occlusion effect: utilizing semitransparency in 3D human-computer interaction. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 1996,3(3):254~284.
- [7] Fahlén, L.E., Brown, C.G., Ståhl, O., *et al.* A space based model for user interaction in shared synthetic environments. In: Kevin, S. A., eds. *Proceedings of the INTERCHI'93*. New York: ACM Press, 1993, 43~50.
- [8] Wang, Zhi-qiang, Hong, Jia-zhen, Yang, Hui. A survey of collision detection problem. *Journal of Software*, 1999,10(5):545~551 (in Chinese).
- [9] Berkelman, P.J., Hollis, R.L., Baraff, D. Interaction with a real-time dynamic environment simulation using a magnetic levitation haptic interface device. In: Laumond, J.P., ed. *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1999. 3261~3266.
- [10] Wang, Zhao-qi, Zhao, Qin-ping, Wang, Cheng-wei. An object-oriented collision detection method and its application on distributed virtual environment. *Chinese Journal of Computers*, 1998,21(11):990~994 (in Chinese).
- [11] Tang, Zhi-song. *Temporal Logic Programming and Software Engineering*. Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [5] 刘振宇,谭建荣,张树有,等.虚拟环境中装配语义的表达、传递与转化研究. *计算机学报*,2000,23(11):1208~1214.
- [8] 王志强,洪嘉振,杨辉.碰撞检测问题研究综述. *软件学报*,1999,10(5):545~551.
- [10] 王兆其,赵沁平,汪成为.面向对象碰撞检测方法及其在分布式虚拟环境中的应用. *计算机学报*,1998,21(11):990~994.
- [11] 唐稚松. *时序逻辑程序设计与软件工程*.北京:科学出版社,1999.

Construction of Perception Mechanism in Virtual Assembly*

CHENG Cheng

(*Human Computer Interaction & Intelligent Information Processing Laboratory, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

E-mail: guoguocheng1@sina.com

<http://www.iscas.ac.cn>

Abstract: Interaction is one of the important features of virtual assembly. In order to promote the system's interactive performance, computer and human should share in cognitive burden in reason. The realization of virtual environment's perceptual mechanism is the critical method towards this objective. In this paper, a formal description of virtual assembly structure is given first, then a perceptual mechanism of compound object is put forward, lastly, a three-stage perception mode is given, and the perceptual process constructions which are needed in virtual assembly application are also analyzed. The desktop virtual assembly practices demonstrate that this perception mechanism has a good real-time interactive characteristic, and it is also a wonderful facility to help understanding user's intention.

Key words: virtual environment; virtual assembly; human-computer interaction; perception; feature-based design; geometric constraint; software construction

* Received October 23, 2001; accepted May 13, 2002

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60033020; the National High Technology Development 863 Program of China under Grant No.863-511-942-012