

VDVAS: 一个集成的虚拟设计与虚拟装配系统

万华根 高曙明 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 随着虚拟现实技术的逐渐成熟, 研究者们已将其引入到工程领域. 为实现虚拟设计与虚拟装配过程的集成, 避免现有的虚拟装配系统中, 虚拟环境与 CAD 系统间所必需进行的复杂的、无谓的数据传输, 描述了一个基于多通道的、集成的虚拟设计与虚拟装配系统 VDVAS. 在该系统中, 设计者可以通过直接三维操作和语音命令直观方便地建立机械零件及其装配模型, 并通过交互拆装来得到零件的装配顺序和装配路径等信息. VDVAS 的一个重要特征在于, 可通过集成虚拟设计与虚拟装配过程, 使设计者能在一个集成的虚拟环境中修改零件几何(假如在装配过程中发现零件存在设计缺陷的话).

关键词 虚拟现实 虚拟设计 虚拟装配 装配造型 拆装

中图法分类号: TP391.9 TH164 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)01-0027-09

VDVAS: An Integrated Virtual Design and Virtual Assembly Environment

WAN Hua-gen, GAO Shu-ming, PENG Qun-sheng

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

Abstract Virtual reality is now becoming matured for serious engineering applications. This paper describes VDVAS, an integrated multi-modal virtual design and virtual assembly environment, within which the designers are enabled to create both the solid model of a part and the assembly model of a product in 3D space by direct 3D manipulations and voice commands intuitively and easily, to perform assembly planning interactively in 3D space, and to simulate and check assembly process. One important feature of VDVAS lies in that it allows designers to modify components of an assembly(if any design flaw is found) during in the process of assembly modeling and simulation without the need of time-consuming data exchange between virtual environment and other CAD applications. This is, of course, achieved by integrating virtual assembly with virtual design. Experiments show that designers can perform assembly planning and verification in VDVAS as if they were, to some extent, in the real physical world.

Keywords Virtual reality, Virtual design, Virtual assembly, Assembly modeling, Disassembly

0 引言

为了使工程设计人员减少设计错误, 缩短产品开发周期, 虚拟成型已成为产品开发过程中重要的一步, 因为在虚拟成型系统中, 工程设计人员可以从任意方位观察、随意操纵、装配或拆卸任何零件模型.

众所周知, 在传统的产品开发过程中, 对产品外观和功能进行评估以及进行装配协调性检查, 一般是借助于实物模型来完成的. 这是一个费时、费力的

过程, 因为对设计的任何小的修改都可能导致实物模型的重建. CAD 技术的发展已使得工程设计人员能在计算机上, 对产品进行装配检查. 事实上, 装配设计是 CAD 技术中发展最快的领域之一. 大家知道, 一个有效的计算机装配模型不仅应该表示单个的产品零件几何及它们在装配体中的最终位置, 而且应该能表示装配误差、零件间的结构关系, 如零件是如何装配的等信息. 这种信息有可能在设计者将各个散置的零件装配成完整的装配体, 即产品的动态装配过程中获得.

传统 CAD 系统中的动态装配过程可描述为:设计者首先逐个调入零部件,然后利用动态导航等技术来选取相配合的几何特征,并输入几何约束,同时由系统对用户输入的几何约束进行一致性检查,并报告相关信息,在进行几何约束求解之后,再动态地将零件装配到所约束的位置上,同时系统能根据零件的装配变换矩阵,在屏幕上显示出零件的装配位置,使用户可从图形上检查所建立的装配模型。此外,在动态装配过程中,还要对零部件进行碰撞检测,并对发生碰撞的零部件作出预警。虽然这能从一定程度上仿真零部件的装配过程,但由于设计者操纵零件采用的是二维鼠标,因此对零件的操纵并不自然,而且屏幕上的二维图形显示,带给设计者的视觉信息也仍然有限。

对于利用 VR 技术构建的沉浸式或半沉浸式虚拟装配环境而言,它具有如下两个明显的特点:其一,设计者可通过三维输入设备,直接对零部件进行三维操作,因此非常直观,且具有较高的交互性;其二,三维立体显示能让设计者像在真实世界中一样观察物体,因此,虚拟装配比起传统 CAD 系统中的动态装配而言,更具真实感和实用性,也更能适应装配造型、装配规划、仿真的要求。

与本研究有关的一个领域是虚拟设计,即开发所谓的 VR-CAD 系统,以允许设计者利用 VR 工具直观方便地创建、修改和操纵三维 CAD 模型。这方面代表性的工作有:①Sachs 等基于一对三维跟踪设备开发的用于设计自由曲面的工具^[1];②Liang 等设计开发的一个具有高交互性的三维造型系统^[2];③Fa 等提出的基于直接三维操作和约束的交互式实体造型方法^[3];④Dani 等建立的在虚拟环境下面向概念设计的三维形状设计系统 COVIRDS^[4,5];⑤Trika 等建立的基于特征的虚拟 CAD 系统^[6];⑥Stork 等提出的“基于拓扑上下文的修改”方法^[7]。

与本研究相关的另一个领域是虚拟装配。作为虚拟制造的一个关键组成部分,这里,虚拟装配一般地被定义为:无需产品或支撑过程的物理实现,只需通过分析、先验模型、可视化和数据表达等手段,利用计算机工具来安排或辅助进行与装配有关的工程决策^[8]。这方面代表性的工作主要有:①美国 Northrop 公司的图形化自动飞机机身装配程序(AAAP)^[9];②华盛顿州立大学开发的沉浸式虚拟装配系统 VADE^[8,10];③Jung 等建立的基于知识的

虚拟装配系统 CODY^[11];④Roessler 等利用空间约束算法开发的旨在帮助设计者在虚拟环境中对零件进行装配和拆卸操作的虚拟装配系统^[12];⑤Anton-ishek 等基于水平显示设备 Virtual WorkbenchTM开发的半沉浸式虚拟装配系统^[13];⑥Pere 等基于 PC 平台开发的简易虚拟装配系统^[14]。

尽管上述有关虚拟装配的研究各具特色,但它们的一个共同缺点是,在虚拟装配环境中使用的 CAD 模型均来自于传统的 CAD 系统,有的甚至是来自三维动画设计系统。这意味着一旦在装配过程中发现零件不能符合装配要求,则必须将零件传回到传统的 CAD 系统中进行修改,然后再将修改后的零件重新置入虚拟环境中。这就带来了无谓的数据转换与传输,而且这种数据转换与传输本身往往并不十分可靠。

本文通过描述一个具有多通道界面的、集成的虚拟设计与虚拟装配系统 VDVAS(Virtual Design and Virtual Assembly System),进而利用 VDVAS,使设计者人员可以实现如下工作:

- (1) 通过直接三维操作和语音命令直观方便地创建、修改、操纵和观察基于约束的实体模型;
- (2) 基于几何约束,建立产品的装配模型;
- (3) 通过直接三维操作对零件进行交互拆装,以建立零件的装配顺序和装配路径等装配信息;
- (4) 检查装配模型的有效性;
- (5) 直接在同一个虚拟环境中,修改尚未满足装配条件的零件的几何,而无需在虚拟环境与 CAD 系统间进行数据传输。

1 集成的虚拟设计与虚拟装配环境

1.1 框架结构

如前所述,本文的研究目标是建立一个集成的虚拟设计与虚拟装配系统。该系统具体可用图 1 中的框架描述,它主要由如下 3 部分组成:

- (1) 用户界面 用户界面用于定义设计者与系统间交互的方式。它包含输入界面和输出界面两部分,其中,输入界面用于提供系统所需的各种信息,如有关的几何模型信息、三维导航所需的信息等。此外,为保证系统的高交互性,输入界面还应提供如下两种交互形式:其一,设计者可以利用三维鼠标或数据手套,在沉浸式/半沉浸式的三维工作空间中,通过直接三维操作来抓取、操纵物体;其二,设计者也

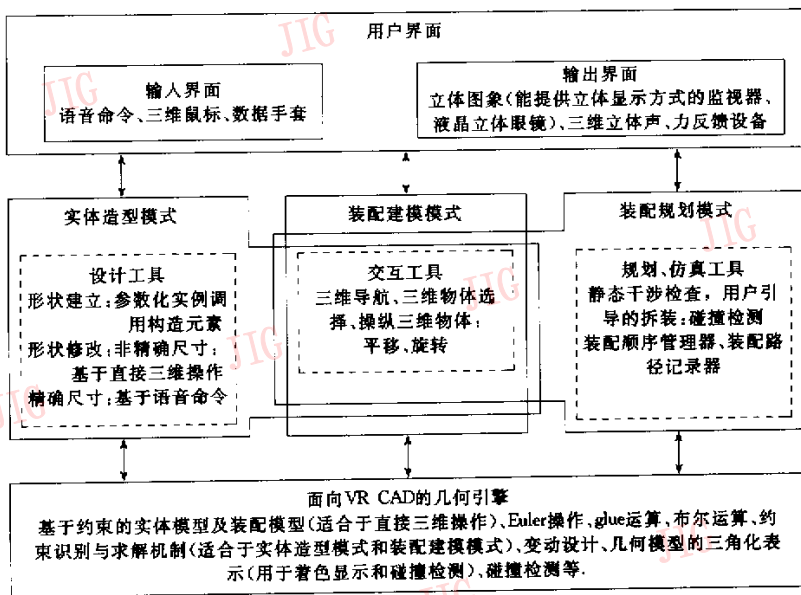


图1 集成的虚拟设计与虚拟装配系统的框架结构

可以通过语音命令直接向系统发出指令。这两种输入方式互为补充、互相增强，从而为设计者提供自然、高效的输入手段。至于输出界面，除了给设计者提供立体图形显示外，随着设计过程的进行，它还要能提供相应的声音反馈，以加强设计者对其设计的理解。更进一步，它还要能提供力反馈等信息。

(2) 3种工作模式 为有效支持与虚拟设计/装配相关的各种活动，本文设计了实体造型、装配建模和装配规划等3种工作模式，并且这3种工作模式不是彼此排斥的，而只具有相对的独立性，事实上，它们共用相同的几何引擎和交互工具，并拥有相同的用户界面，而且设计者可通过语音命令来切换工作模式。

在实体造型模式下，尽管设计者从基本形状开始就利用各种三维设计工具和三维交互工具来构造所需的零件，并生成该零件的基于约束的实体模型，但需要指出的是，这些工具的功能要由面向VR-CAD的几何引擎予以保证，且它们规范了设计者在虚拟环境下进行形状设计的能力。

装配建模模式用于将通过匹配条件(Mating Condition)在实体造型模式中生成的零件组装成最终的装配模型，且装配建模所需的操作是完全通过交互工具来实现的。

装配规划模式则用于对装配体进行装配路径规划、装配顺序规划和装配过程仿真。在进行装配规划与仿真时，基于“可拆即可装”的假定，首先对装配体

进行静态干涉检查，接着在装配体已通过静态干涉检查后，设计者就可利用交互工具来对零件进行拆卸，同时规划、仿真工具中的装配顺序管理器和装配路径记录器会自动记录零件的拆装顺序和拆装路径；最后，通过将所得到的拆装顺序、拆装路径等信息予以“反演”，即可得到所需的装配顺序和装配路径。

(3) 面向VR-CAD的几何引擎 面向VR-CAD的几何引擎是VR-CAD系统的内核，它主要提供有关零件及装配体模型的表示及作用于其上的相应算法。具体地说，面向VR-CAD的几何引擎，其主要作用表现在以下几个方面：

- ① 提供能支持虚拟实体造型/虚拟装配的几何约束模型；
- ② 提供能支持基本几何形状实例调用的过程函数；
- ③ 提供对几何约束的管理，支持变动设计；
- ④ 对造型结果进行管理和对其模型内部表示进行自动更新；
- ⑤ 将几何约束模型转化为多面体模型表示，用于支持模型的可视化和装配规划模式下碰撞检测的需要。

有关面向VR-CAD的几何引擎的更详细的描述，请参阅文献[15,16]。

1.2 零件的创建

零件的创建是在实体造型模式下完成的。虚拟

实体造型过程的主要步骤包括:

- (1) 通过直接三维操作和语音命令来对基本体素进行初始定位;
- (2) 通过直接三维操作和语音命令来对基本体素进行初始定形;
- (3) 通过对定位约束进行识别与求解来完成对基本体素的精确定位;
- (4) 通过对定形约束进行识别与求解来完成对基本体素的精确定形;
- (5) 通过直接三维操作来进行变动设计。

限于篇幅,本文没有给出每一步的具体描述,有关该虚拟实体造型方法的更详细的情况,请参阅文献[15~17].

1.3 虚拟装配流程

由于在实体造型模式下生成的零部件是基于约束的、精确的实体模型,因此它们可以直接用于装配造型和装配规划.在进行装配造型和装配规划时,首先,将散置在工作台上的零件,在装配建模模式下,基于直接三维操作逐个组合到一起,再通过约束与求解,以得到每一零部件在装配体中的最终方位;然后进入装配规划模式,进行交互路径规划及自动仿真,再通过用户引导的拆装,设计者可利用交互工具,从装配体中,动态、直观地将零件拆卸到工作台上,同时在拆卸过程中,记录下可行的拆卸顺序和拆卸路径,并对不可拆卸的零件进行修改;最后,基于“可拆即可装”的假定,将拆卸顺序和路径予以“反演”,即可得到产品的装配顺序和路径.这里需指出,在用户引导的拆装过程之前,还要对装配体进行静态干涉检查,以确定零部件的有效性,对于未能通过干涉检查的零部件,将返回到实体造型模式,并对其进行修改,直到所有的零部件均能通过静态干涉检查为止。

虚拟装配的具体流程如图2所示。

1.4 基于直接三维操作的装配建模

如上所述,虚拟装配造型是在装配建模模式下完成的,它的目的是建立起产品的装配模型,其核心内容有如下两个:①确定每一个零件在装配体中的最终方位,即进行位置推导(Inference of Positions),并建立零件间的几何约束关系;②为每个零件生成一个“装配度”,用于指导后续的拆装过程。

在本文的方法中,装配模型中的零件就是实体模型中的实体,在实体造型模式中,建好的每一个零件,均随意地分布在工作台上,而装配建模的主要任

务就是将这些散置的零件,通过直接三维操作,组装成一个完整的装配体.这通常可通过指定零件间的相对定位来完成.一般装配体中,零件之间复杂的几何约束关系可通过几何约束图(GCG)来表示,由于这些零件之间的几何约束关系包括定位几何约束、功能几何约束以及工艺几何约束,因此装配模型除了可用于进行装配建模外,还可用于装配体的功能分析和工艺分析等.由于目前仅考虑了定位几何约束,并采用“匹配条件”(Mating Conditions)^[18~20]来表达零件之间的定位约束,因此,装配指令可初始地用“反向贴合”(Against)条件和“轴重合”(Fits)条件来指定.这里“反向贴合”指的是两个不同零件的共面贴合,且这两个贴合面的法向相反;而“轴重合”条件指的是一个零件中的洞或孔与另一个零件中的杆状物(Shaft)共轴,其关系如图3所示。

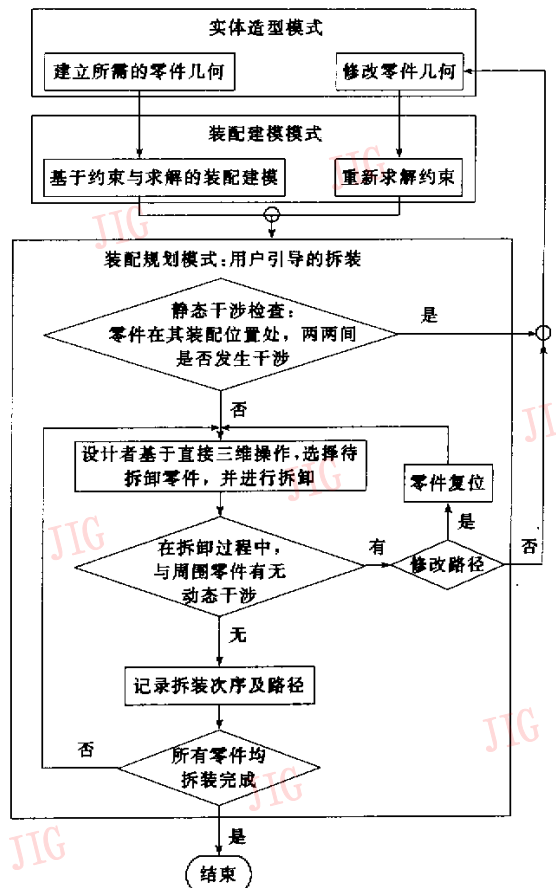


图2 虚拟装配流程

在拆装时,为了帮助设计者对零件进行选择,本文提出一个零件“装配度”的概念,它用来衡量一个

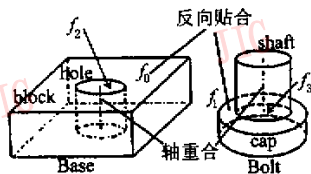


图 3 匹配条件

零件在装配或拆卸过程中,其位置自由移动所受到的约束.这种装配度的计算是一个动态的过程,即首先,对于所有在实体模式中建立的、散置于工作台的零件,其装配度为零;其次,在装配建模模式中,当一个零件 P 被装配到装配体中,假设与其匹配的零件为 Q ,即零件 Q 对零件 P 形成约束,则将零件 Q 的装配度加上 1,而零件 P 的装配度则保持不变;最后,在装配规划模型中,当完成对零件 P 的拆装后,则需要将对它形成约束的零件 Q 的装配度减去 1.

在本文的几何约束模型中,将 CSG 树的每个结点都当作一个独立物体,并显式存储其完整的边界表示,而且,对于其中的叶结点(即基本体素)而言,由于它们作为原始拓扑元素,在设计过程中始终不变,因此,上述零件间的匹配条件可以转化为零件间相应基本体素的几何元素间的几何约束,即转化为该基本体素的定位约束.这样,通过求解该基本体素的定位约束,即可得到该基本体素的精确定位,再依据该基本体素与零件间的相对位置关系,即可确定出零件的精确定位.这里应该强调的是,在装配建模阶段,当设计者操纵零件对它进行装配时,为方便匹配条件的动态输入,并不检查零件间是否会发生碰撞.

这里以图 3 的情形为例,并假设其中的零件 Bolt 是待定位的目标零件,而参照零件 Base 已经定位好.一般,将一个待定位零件装配到其最终位置的过程步骤如下:

- (1) 通过直接三维操作,将待定位的目标零件 Bolt 放置到位于参照零件 Base 中的初始位置处;
- (2) 通过约束识别算法确定目标零件 Bolt 和参照零件 Base 间的“against”匹配条件,即确定 Base 中的面 f_0 和 Bolt 中的面 f_1 间的反向贴合约束;
- (3) 通过约束识别算法来确定目标零件与当前装配体间的“轴重合”约束,即确定 Base 的通孔 hole 和 Bolt 的栓 shaft 的轴相互重合关系;
- (4) 将匹配条件转化为零件内基本体素间的几何约束.如通过“轴重合”约束,可找出参照基本体素 hole 和目标基本体素 shaft,然后面 f_0 和 f_1 间的反

向贴合约束可转化为 hole 中的面 f_2 和 shaft 中的面 f_3 的面-面贴合约束,从而,匹配条件即转化为 shaft 中以 hole 为参照的 III 类定位约束;

(5) 计算并保存目标零件中每一物体(包括基本体素与中间结果)与目标零件的相互位置关系.以 Bolt 为例,即分别计算 cap, shaft 与 Bolt 间的相互位置关系,并予以保留;

(6) 通过调用定位约束求解算法来确定出目标零件 Bolt 中的目标基本体素 shaft 的精确定位;

(7) 利用步骤(5)所计算出的目标基本体素 shaft 与目标零件 Bolt 的相互位置关系来确定出目标零件的精确定位,再利用目标零件与其他物体(除目标基本体素外)的相互位置关系,更新其他物体的位置.

1.5 基于直接三维操作的装配规划与仿真

虚拟装配规划与仿真的目的在于对装配体进行可装配性分析,同时给出它的一个可行的装配方案,如装配顺序、各零件的装配路径等信息.本文基于“可拆即可装”的假定,首先通过用户引导的拆装过程,来获取零件的拆装信息,如拆装顺序、拆装路径等;然后再将拆装信息予以“反演”,即可获取与零件相关的装配信息.

1.5.1 静态干涉检查

在装配建模过程中,为了有利于匹配条件的动态输入,虽没有对装配体各零件间是否发生干涉进行检查,但为了保证装配模型的有效性,在对其进行交互拆装之前,必须先检查装配体各零件间是否有干涉,并将发生干涉的零件及干涉面,以四元组 $\langle P, Q, F_P, F_Q \rangle$ 的形式存放到干涉信息表中,其中, P, Q 表示发生干涉的零件, F_P, F_Q 分别表示零件 P, Q 中的干涉面,干涉面信息用于指导零件几何的修改.一般,这种干涉检查是由碰撞检测函数来完成的.

1.5.2 零件几何的修改

对于干涉信息表中的零件,亦即发生干涉的零件,需要首先修改其几何形状,以消除这种干涉.这种修改是在实体造型模式下完成的,且受到干涉面信息的引导,这里提供下述两种修改方法:

(1) 基于直接三维操作的修改 设计者首先选择待修改的零件,系统通过干涉面就可知道待修改的基本体素以及要修改该体素哪一个尺寸参数(这一点由该体素的内部定形约束来保证),同时把要修改的尺寸信息,以声音反馈的形式(如“您需要调整半径”)报告给设计者,并自动选取该基本体素及其主形状控制点;然后设计者通过调整该体素形状控

制点来修改该尺寸,并由变动传播机制来将这种变动传递到整个零件;最后,在修改完成后,系统自动进入装配建模模式,并依据该零件的匹配条件重新求解该零件的精确定位,同时调整受到其约束的其他零件的方位。

(2) 基于语音命令的修改 在基于直接三维操作的修改过程中,设计者尽管能即时看到修改后零件的形状,但是这种修改是否合理,并保证不再发生干涉,设计者只能凭自己的感觉进行判断。为此,可在装配约束传播机制的基础上,采用语音命令对发生干涉的零件尺寸作精确修改。为方便起见,假设待修改形状的零件为 P ,与其发生干涉的零件为 Q ,而干涉面分别为 F_P, F_Q 。其工作步骤为:

(1) 设计者选择零件 Q ,系统即依据干涉面 F_Q 自动确定发生干涉的基本体素,并将该体素的尺寸参数显示在屏幕下方;

(2) 设计者选择零件 P ,系统即依据干涉面 F_P 自动确定发生干涉的基本体素(即零件 P 中待修改的基本体素)及该体素中要修改的尺寸参数,同时把要修改的尺寸信息以声音反馈的形式报告给设计者,并自动选取该基本体素,进入修改该基本体素相关尺寸的状态,如“半径调节”等;

(3) 依据步骤(1)所获取的尺寸参数(如3.56),设计者连续发出语音命令(如“三”、“点”、“五”、“六”),最后发出语音命令(如“好了”),终止数值参数的输入;

(4) 系统将设计者连续发出的数字语音命令转化为浮点数,并以此作为该基本体素的新尺寸,对基本体素作出更新,同时将这种变动传播到零件 P 中的其他物体;

(5) 如果修改已能达到目的,设计者则通过语音命令退出修改状态;反之,设计者发出相应的语音命令进入修改尺寸状态,回到步骤(3),继续。

1.5.3 用户引导的拆装

拆装过程是由设计者借助于交互工具来完成的。第1.4节曾提到对于每一个零件都有一个“装配度”,它用于在拆装时,为设计者作出暗示。事实上,对于装配度不为零的零件,由于它所约束的零件尚未被拆卸,设计者不可能对其进行拆卸,因此,当前有可能拆卸的零件,其装配度只能为零。一般,由于装配度为零的零件并不唯一,因此需将所有装配度为零的零件采用特殊颜色高亮显示,以供设计者在其中选择待拆卸的零件。

当用户选择了待拆装的零件后,即可借助于交互工具来完成对该零件的拆装,即将零件从装配体中的约束位置交互地拆卸到工作台上,接着,设计者通过三维鼠标来对零件进行平移、旋转,同时在每一个采样点上,系统即自动在零件间进行实时碰撞检测,若不发生碰撞,则记录下该采样点上零件的位置、方向;若发生碰撞,则不予以记录,但需作出相应的声音反馈,并将零件回退到前一方位。如果该零件存在一条从初始位置到工作台的无碰撞的路径,则该零件的拆卸过程结束,同时装配顺序管理程序即对它进行记录。这里需要指出的是,尽管设计者可以任意操纵被拆卸的零件,但在每一个零件拆卸过程刚开始的时候,由于该零件与约束它的零件之间距离十分靠近,此时如果让设计者随意操纵该零件,则极易发生碰撞。实际上,零件在拆卸的初期,可以无碰撞移动的方向相当有限,例如,在孔、轴配合中,轴只能沿轴向自由移动。本文将与零件“against”约束的反向贴合面法线方向相反的方向称为该零件的“可自由移动方向”,并将零件的初始拆卸方向强制为其可自由移动方向,直到该零件与其约束零件完全脱离为止。这样就保证了零件在初始拆卸时,不易与其约束零件碰撞,而装配顺序和路径则可通过对拆装顺序和路径进行“反演”而得到。

2 系统结构

VDVAS目前的主要硬件是一台SGI Indy工作站和一台联想微机,而工作站和微机间是通过LAN互联。SGI Indy有一个100MHz, MIPS R4600处理器,64Mb内存,和24位图形加速卡。联想微机的CPU为Pentium II(300MHz),有64Mb内存,Yamaha 16位声卡和Accton网卡。系统采用六自由度(6-DOF)Logitech三维鼠标和一个与联想微机相连的麦克风作为主要输入设备。工作时,三维立体视觉的获取是借助于StereoGraphics CrystalEyes立体眼镜完成的,而提供反馈声音的则是一个与联想微机相连的音箱。图4是原型系统硬件配置示意图。

在软件方面,SGI工作站平台上用到的主要有C语言编译器,GL图形库和WTK工具包,而语音命令的获取则借助于IBM ViaVoice。

IBM ViaVoice是一套运行于Windows95/98平台的汉语连续语音识别软件,它的平均输入速度

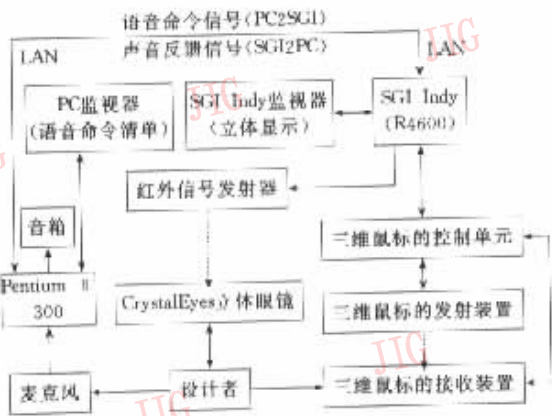


图4 VDVAS的硬件配置示意图

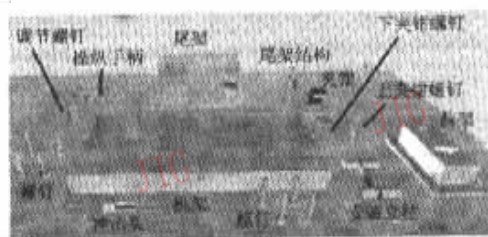
为 150 字/min,识别率高达 95%,并且为 Microsoft Visual Studio97 提供了 API 接口. VDVAS 就是采用 IBM ViaVoice 在联想微机上获取语音命令,而语音命令则通过 TCP/IP 协议传输到 SGI 工作站上,以指导设计/装配过程,同时,在 SGI 工作站上生成的声音反馈信息也通过 TCP/IP 协议传送到联想微机上,再通过音箱产生适当的声音输出.

3 实验结果

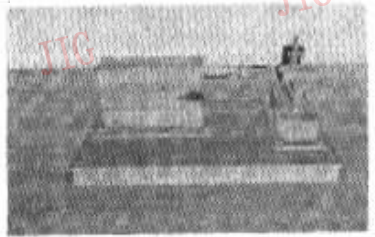
下面给出一个用VDVAS对焊接工作头装配

件进行测试的例子. 该焊接工作头装配件由机架、调节螺钉、尾架、尾架套筒、操纵手柄、冲击头、两根安装立柱、夹钳、前架、上、下夹钳螺钉和 8 个螺钉组成(图 5). 具体实验步骤如下:

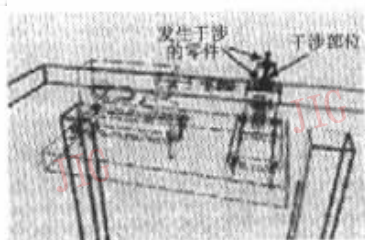
- (1) 在实体造型模式下,对所有这些零件进行造型(图 5(a));
- (2) 在装配建模模式下,通过直接三维操作和约束识别、求解过程,将这些零件组装到一起(图 5(b)),并建立起装配体的装配模型;
- (3) 在用户引导的拆装过程开始前,首先对这些零件进行静态干涉检测,结果发现在上夹钳螺钉和下夹钳螺钉之间存在干涉(图 5(c)中的高亮度显示部分);然后,工作模式自动切换到实体造型模式,让设计者对上夹钳螺钉进行编辑,以消除干涉;
- (4) 在所有零件均能通过静态干涉检测后,系统自动进入装配规划模式,让用户对零件进行交互拆装. 在拆装过程中,设计者通过直接三维操作,直观地将零件拆卸到工作台上,同时系统自动记录其拆装路径和拆装顺序;
- (5) 将这些零件的拆装顺序和拆装路径予以“反演”即得到它们的装配顺序和装配路径. 图 5(d)是拆装过程中部分拆卸完成的零件. 实验结果表明,VDVAS 中的装配过程,不仅能较为直观、逼真地模拟真实物理世界中的装配情形,而且与装配工人的真正装配过程更吻合,因为所有数据的获取都是由设计者通过直接三维操作得到的.



(a) 创建好的零件



(b) 装配建模完成后的结果



(c) 零件间的静态干涉检查



(d) 部分拆卸完成的零件

图 5 VDVAS 中焊接工作头的虚拟装配测试实例

4 结 论

本文介绍了一个基于多通道的、集成的虚拟设计/虚拟装配系统 VDVAS, 其中主要讨论了基于直接三维操作的虚拟装配建模和装配规划与仿真方法; 并提出了“装配度”和拆卸中“可自由移动方向”的概念, 用以指导零件的拆卸过程; 还通过装配体中各零件的静态干涉检查和拆卸过程中的动态干涉检查, 验证和评估了零件的可装配性. 与一般虚拟装配系统相比较, 本文提出的虚拟装配方法具有以下一些特点:

(1) 在装配建模阶段, 由于设计者可直观地通过直接三维操作来对零件进行定位, 且不考虑零件间的碰撞, 因此有利于零件间匹配条件的动态输入;

(2) 实现了虚拟设计与虚拟装配的无缝集成. 对于未能通过静态干涉检查的零件, 由于可直接在同一环境中进行编辑、修改, 从而避免了与 CAD 系统间繁琐的数据转换与传输;

(3) 零件的装配顺序与装配路径, 实际上是由设计者在虚拟三维工作空间中, 通过直接三维操作得到的, 因此能较好地仿真物理世界中零件的装配过程.

进一步的工作将包括:

(1) 采用带力反馈的数据手套(如 CyberGrasp 数据手套), 取代三维鼠标作为主要输入设备, 并开发相应的双手手势输入方法. 数据手套将比三维鼠标提供更灵活的输入手段, 且它提供的触觉反馈将更有利于虚拟装配过程.

(2) 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室已购置一套 CAVE 环境. 通过将虚拟设计与虚拟装配原型系统向该环境移植, 将使设计者在进行设计与装配时, 能够获得更加身临其境的感受. 更重要的是, 该虚拟环境配置的 SGI Onyx2 工作站具有强大的计算与图形处理能力, 这必将使 VDVAS 在实时性方面获得巨大的提升.

(3) 在几何模型中引入公差表示, 以便为装配过程中的公差分析提供依据.

(4) 目前装配信息的获取是基于“可拆即可装”的原则, 在装配/拆卸过程中, 并没有考虑装配/拆卸的工具, 而一旦涉及到装配/拆卸工具, “可拆即可装”的假设并不一定成立, 此时, 如何基于特定的装配/拆卸工具来设计符合装配人员行为规范的操作,

并对这些规范化的操作进行相应的管理, 将成为进一步的研究内容.

参 考 文 献

- Sachs E, Roberts A, Stoops D. 3-Draw: A tool for designing 3D shapes[J]. IEEE CG&A, 1991, 11(3):18~25.
- Liang J, Green M. JDCAD: A highly interactive 3D modeling system[J]. Computers & Graphics, 1994, 18(4):499~506.
- Fa M, Fernando T, Dew P M. Direct 3D manipulation techniques for interactive constraint-based solid modeling[J]. Computer Graphics Forum (Conference Issue), 1993, 12(3):C237-C248.
- Dani T H, Chu C C P, Gadh R. COVIRDS: Shape modeling in a virtual reality environment[A]. In: Proceedings of 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences [C], Sacramento, USA, 1997, DETC97/CIE-4302.
- Dani T H, Gadh R. Creation of concept shape design via a virtual reality interface[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8):555~563.
- Trika S N, Banerjee P, Kashyap R L. Virtual reality interfaces for feature-based computer aided design systems[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8):565~574.
- Stork A, Maidhof M. Efficient and precise solid modelling using a 3D input device[A]. In: Proceedings of Fourth Symposium on Solid Modelling and Applications [C], Atlanta, Georgia, USA, 1997:181~194.
- Connacher H I, Jayaram S, Lyons K W. Virtual assembly design environment[A]. In: Proceedings of 1995 ASME Computers in Engineering Conference and Engineering Database Symposium [C], Boston, MA, USA, September, 1995:875~885.
- Schmitz B. Virtual reality: On the brink of greatness[J]. Computer Aided Engineering, 1993, 12(4):26~32.
- Jayaram S, Connacher H I, Lyons K W. Virtual assembly using virtual reality techniques [J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8):575~584.
- Jung B, Hoffhenke M, Wachsmuth I. Virtual assembly with construction kits[A]. In: Proceedings of 1997 ASME Design Engineering Technical Conference [C], Sacramento, USA, 1997, DETC97/DFM-4363.
- Roessler A. Assembly planning in virtual environments-scenarios and potentials [EB/OL]. <http://www.iao.fhg.de/VR/research-areas/Assembly/OVERVIEW-en.html>, 2001.
- Antonishek B, Egts D D, Obeysekare U R. Virtual assembly using two-handed interaction techniques on the virtual workbenchTM[A]. In: Proceedings of 1998 ASME Design Engineering Technical Conference [C], Atlanta, USA, 1998; DETC98/CIE-5540.
- Pere E, Langrana N, Gomez D *et al.* Virtual mechanical assembly on a PC-based system[A]. In: Proceedings of 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in En-

- gineering Conference[C], Irvine, USA, 1996;96-DETC/DFM-1306.
- 15 Gao S M, Wan H G, Peng Q S. Constraint-based solid modeling in a virtual reality environment[A]. In: Proceedings of 1998 ASME Design Engineering Technical Conference[C], Atalanta, USA, 1998;DETC98/CIE-5544.
- 16 万华根. 基于虚拟现实的 CAD 方法研究[D]. 杭州:浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 1999.
- 17 Gao S M, Wan H G, Peng Q S. An approach to solid modeling in a semi-immersive virtual environment[J]. Computer & Graphics, 2000,24(2):191~202.
- 18 Ambler A P, Popplestone R J. Inferring the positions of bodies from specified spatial relationships[J]. Journal of Artificial Intelligence, 1975,6(2):151~174.
- 19 Ko H, Lee K. Automatic assembling procedure generation from mating conditions[J]. Computer Aided Design, 1987,19(1):3~10.
- 20 Beach D A, Anderson D C. A computer environment for realistic assembly design[A]. In: Proceedings of 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference[C], Irvine, USA, 1996, 96-DETC/CIE-1336.

万华根 1968 年生,副研究员,1999 年获浙江大学博士学位,现为浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室固定研究人员. 主要研究兴趣为虚拟设计与虚拟装配、计算机动画等.

高曙明 1964 年生,教授,博士生导师,1990 年获浙江大学博士学位,现为浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室副主任. 主要研究兴趣为特征造型、虚拟设计与加工、基于 Internet 的协同设计等.

彭群生 1947 年生,教授,博士生导师,1983 年获英国东安格利亚大学博士学位,现为浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任. 主要研究兴趣为真实感图形、计算机动画、虚拟现实技术、红外成像技术、工程图纸的扫描识别等.