复杂产品虚拟装配系统的人机交互技术

赵 罡 王 超 侯文君 金 钺

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191) (北京邮电大学 自动化学院, 北京 100876)

摘 要: 介绍了一种基于双机同步的 desktop虚拟现实设备的复杂产品虚拟装配仿真系统,对系统的人机交互技术进行了深入研究,提出了一种基于 SOP(Structure of Parts)数据结构的属性类驱动算法的产品信息管理技术以及模型转心匹配法,阐述了一种适用于多部件多场景的、快速的基于扫描线技术的直接操纵交互算法原理,通过系统的实现验证了算法的实用性与效率,有效地提高了系统性能与扩展性.

关 键 词: 装配; 虚拟现实; 人机交互; 拾取

中图分类号: TP 301. 6

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)02-0137-05

Human-computer interaction technology of virtual assembly system for complex products

Zhao Gang Wang Chao

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Hou Wenjun Jin Yue

(Automation School, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Based on the dual computer synchronized desktop virtual reality equipment, a virtual assembly system for the complex products was introduced. The human-computer interactive technology in the system was studied. The product information management technology was proposed on an algorithm of the SOP (structure of parts) data construction which acted on the attribute class for driving. The DOF (degree of freedom) law for matching the rotation center of models was presented. A direct and fast control interactive algorithm principle which was suitable for the multi-parts and multi-scenes grounded on the LOS (line-of-sight) technology was discussed, and the usability and efficiency of the algorithms were verified through the system realization. It is proved that the performance and extension feature of the system were promoted obviously.

Key words: assembly; virtual reality; human computer interaction; selection

装配是产品开发活动中最具影响力的一个环节,据统计[1],在产品生产阶段,有 1/3以上的人直接或间接从事与装配有关的活动,而装配费用则占整个生产成本的 30% ～50%,对于飞机、船舶等复杂产品,这个比例会更高. 传统人机交互系统借助于键盘、鼠标或专用的控制设备,用户发出指令,机器执行指令,人适应计算机. 而虚拟现实技术强调的是计算机适应人,计算机可以识别人的位姿、手势,甚至人机可以“会话”,头盔、数据手套、数据衣等成为人机交互的基本手段. 虚拟装配技术将虚拟现实技术用于生产装配环节中,可保证设计人员沉浸于虚拟环境中开展工作. 从本质上讲虚拟装配主要实现两个层次的映射,即底层用产品虚拟模型映射产品物理模型,顶层用虚拟的装配仿真过程映射真实的物理装配过程[2]. 虚拟装配技术的研究开始于 20世纪 90年代,美国 Northrop 公司的自动飞机机身装配程序(AAAP)是较早的虚拟装配环境,它允许设计人

收稿日期: 2008-07-20

基金项目: 国家 863计划资助项目(2007AA041902)

作者简介: 赵 罡(1972 -),男,河北文安人,副教授, zhaog@buaa. edu. cn.

员通过三维空间中实时操纵零部件对飞机装配中的装配策略、工具应用等进行验证.

VADE(Virtual Assembly Design Environment)是华盛顿州立大学与美国国家标准及技术研究院(NIST)合作开发的一个基于虚拟现实技术的虚拟装配设计环境[3]. 利用这个系统,设计人员在产品设计初期便可并行地考虑产品装拆相关环节,通过执行虚拟装配任务,建立产品的装配工艺信息,对虚拟装配环境中的装配体进行"预处理",避免相应的设计缺陷.

1 虚拟装配人机交互技术关键因素

装配操作过程中的人机交互是进行虚拟装配研究面临的首要问题,开展虚拟装配研究必须建立一个适合所研究内容的、包含相关设备的人机交互系统,从而可以将操作者的运动等信息输入到系统,同时系统又可以满足用户多方面的感知需求[4]. 在虚拟装配环境中,用户交互的对象是零件或子装配,交互的过程就是建立这些对象间的复杂抽象关系的过程,直接操作建立在虚拟环境对对象复杂关系感知的基础上[5]. 人机交互中的选择、定位、定向、拖动等技术问题也是影响人机交互的一个关键因素. 自然良好的人机交互性一直是人机交互技术所研究的关键问题,而对于交互的动态性和连续性的操作也成为了新的挑战和方向[6].

本文通过对虚拟装配系统的人机交互技术进行深入的研究,基于 OpenGL 开发了一套虚拟装配仿真系统 VASS(Virtual Assembly Simulation System),该系统已被用于某大型机械设备的研制.

VASS系统实现的主要功能为:

1) 建立一种双机同步的 desktop虚拟现实设备;

2) 通过 desktop实现虚拟装配仿真与运动仿真的立体沉浸感显示;

3) 用户通过鼠标、6D跟踪器、数据手套实现人机自然交互及虚拟场景的场景浏览和视点转换操作,其系统结构图如图 1所示.

针对该系统结构,研究了人机交互技术中的产品模型信息的存取和分类问题,以及基于 LOS 技术的直接操纵交互算法,有效的提高了系统的性能和交互的和谐. 因此,本文重点研究了在人机交互中 CAD模型装配层次信息的再组织、直接操纵用户界面的操纵模式实现等,这些都是虚拟装配系统人机交互的技术基础和关键因素.

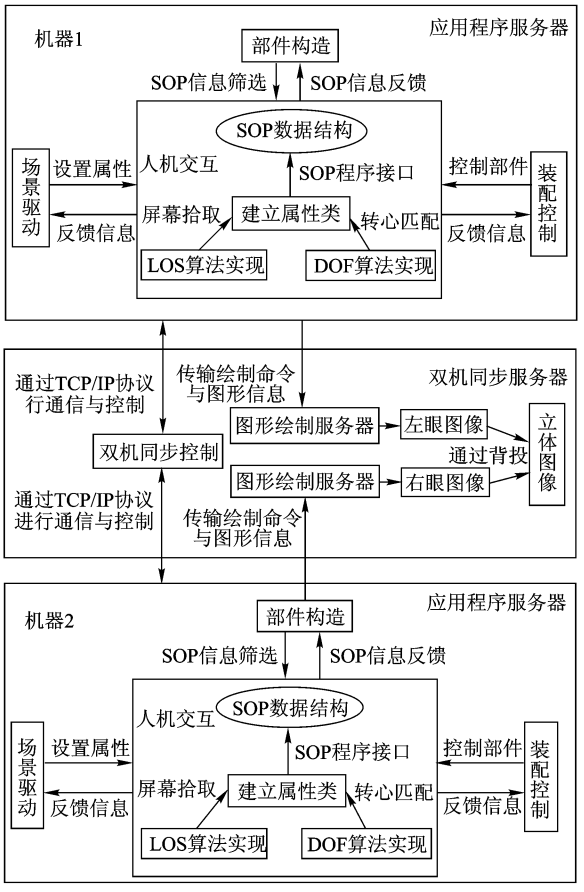


图 1 系统结构图

2 装配模型层次信息的再组织

对于复杂机械类产品,往往包括成千上万的零部件,机械产品模型一般都是 CAD 数据,CAD 数据模型包含太多的多边形数据,将会因数据量太大而影响限制实时性. 为了使 CAD数据符合虚拟装配仿真系统的数据模型要求,满足实时建模的限制,必须在仿真建模软件中将其有效组织并结构化;同时要考虑所有仿真的控制因素. 因此,从 CAD模型转化到视景仿真系统实际上是一个再建模的过程,需重新组织数据,使之满足随后的交互仿真要求.

2.1 一种 SOP数据结构组织算法

本文从 CAD模型中提取装配体中所有零部件的位置、姿态与属性信息,并将这些信息存储到产品基本信息数据库中. 通过对这些信息进行分类,建立一个数据结构 SOP(Structure of Parts),对于每个可用属性、数据、参数都采用一个变量表示,在 SOP中变量均表示为一个结点(node),结点又可分为组结点(Gn)、实体结点(Bn)、运动结点(Tn)、属性结点(Pn).

SOP的组结点表示多个实体结点的组织关系,即表示任意级别的部件,整个模型的总结点

(MGn,Main Group Node)是所有组结点、实体结点的父结点,其下分布多支子结点,子结点下又分布多支孙结点,父结点会影响子结点,子结点继承了其父结点的性质,以此形成复杂产品的有序数据结构.在每个这些组结点或实体结节之上都有两个父结点——运动结点 Tn:控制实体结点位移的 DTn与控制实体结点旋转的 STn,通过调用它们就可以改变实体的位置.属性结点与实体结点或组结点属于同级结点,同级相互影响但对子结点没有影响.其中各点、面、线都属实体结点范畴,SOP数据结构如图 2所示.

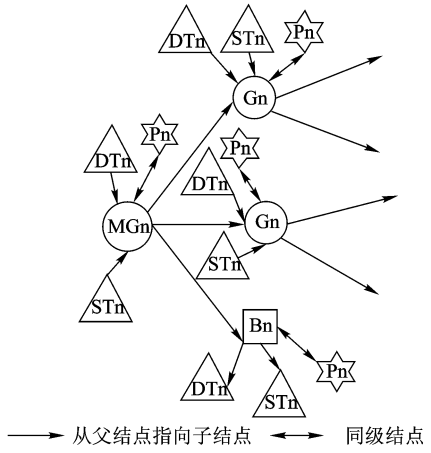


图 2　SOP数据结构

针对装配系统,为每个拟控制的部件设计一个统一属性类: Property,它包括了部件的从 SOP中读取的,在虚拟装配人机交互中需要的各种装配所需属性值,具体类描述如下:

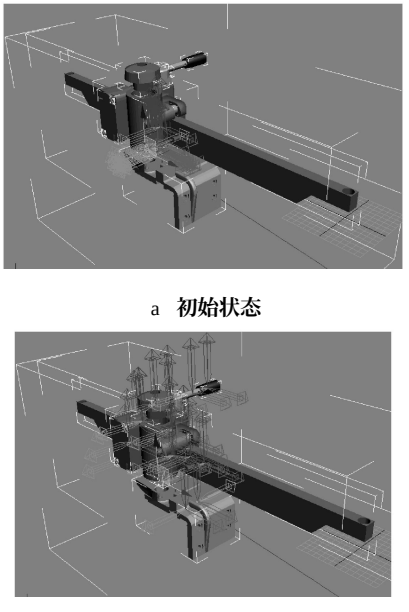
```
class  property
{
    property();
    void Init();
    char name[20];
    DTNode  * partmentRot;
    STNode  * partmentTra;
    Node     * allpartment;
    GMatrix partmentTraMat;
    GMatrix partmentRotMat;
    Vector  partmentTraState;
    Vector  partmentRotState;
    Int32    material;
    ……
};
```

通过这个属性类可以把各部件有机的联系起来,对于单个部件也起到了保存、提取以及记录各状态信息的作用.这个统一的属性类使场景管理变得简单,部件装配易于驱动和控制,代码编写量也大幅度下降,更对整个系统的维护与运行效率有很大的改善.

2.2　模型转心的匹配算法

在基于 OpenGL开发的虚拟环境中, CAD几何模型加载到程序中时,模型各部件的形状参数是根据其存储格式以特定列表的顶点形式被程序记录下来的,在应用 OpenGL函数包中的绘图命令 (如 glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP)画三角形序列命令)时,是将各点按特定顺序以三角形的形式串联起来,最终在虚拟环境中呈现出模型实体,而此类转换导致了一个严重的问题:模型中部件各自转心将被忽略,取而代之的是被统一到了一个特定的位置.如果没有对场景做任何关于位置的设定,那么这个特定的位置也就是每个部件的转心将一般被定义在 (0,0,0)点上,这将使每个部件的转动都将绕该点进行,而并非其几何中心,给交互带来限制.如果采用一般的程序方法来解决这个问题,就要对每一个零部件做一次坐标变换计算,此工作量不仅巨大且极为繁锁.

本文采用了一种 DOF(Degree of Freedom)方法,在模型信息被提取时,将各实体结点或组结点旋转中心的参数记录下来,保存于 SOP结构树的每个 Bn或 Gn的 Pn中.这种坐标信息通常被称为 DOF,它是用来纪录模型各方向自由度的信息,当各部件需要旋转或位移时, DOF会使操作更加方便简捷.如果此信息丢失,各部件旋转中心将集中至 (0,0,0)点.这将是一个事半功倍的方法. DOF对部件的影响如图 3所示.



a　初始状态

b　设置 DOF后

图 3　DOF模型转心算法

3 直接操纵界面的人机交互

虚拟装配系统中经常需要直接选取零件,进行查看、移动、旋转,这需要涉及到“屏幕拾取”的问题.也就是人机交互中的直接操纵用户界面方式,直接操纵用户界面更多地借助物理的、空间的或形象的表示,而不是单纯的文字或数字的表示.前者已为心理学证明有利于“问题解决”和“学习”.由于直接操纵用户界面的操纵模式与命令界面相反,基于“宾语+动词”这样的结构,而用户最终关心的也是拟控制和操作的对象.因此对于大量物理的、几何空间的以及形象的任务,直接操纵已表现出巨大的优越性.

这种交互方式的实现一般可利用 OpenGL 中的选定缓冲区 glRenderMode(GL_SELECTION)技术.但这种方法存在一些问题:首先要把欲选择的部件(在程序中体现为一序列的数据群)加载到选定缓冲区内,这样才能通过缓冲区实现对物体的拾取.当部件数量很多时该工作是繁锁、庞大的.

为了行之有效、简单易用的完成“屏幕拾取”功能,本系统采用 LOS(Line-of-Sight)扫描线技术,其实现思想是:利用三维空间上两点确定的一条扫描线,当这条线与空间(场景中)的任何形式上的数据单元发生相交就会产生响应,而这个数据单元无需用户预先设定,原因在于它可判断的最小数据的存在形式是点,也就是它拾取的体素的最小单元,利用 SOP结构的拓扑信息,根据父、子指针很容易地查询出与拾取点相关的任何信息.这样就可以通过拾取出来的点延伸至面、体、部件乃至整个模型. LOS拾取对象的算法流程如图 4所示.

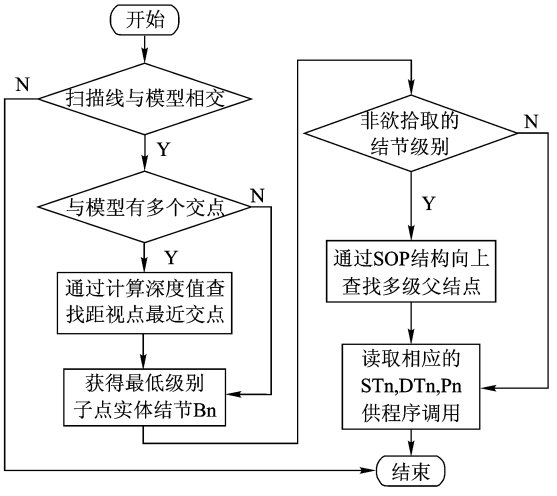


图 4 LOS拾取对象的算法流程图

LOS技术的关键在于确定扫描射线的起点 from与方向 dir,并由此找到距视点最近的交点,首先默认扫描线的起点 from为(0,0,0)点,并得到当前的 3×3的视矩阵 viewMat,当前屏幕的宽 Width,高 Height

1) 若模型视图为透视窗,如图 5所示,即

```
gluPerspective (vfov, aspect, hither, yon)
halfH = Height/2;
halfW = Width/2;
nearHalfH = hither * tanf(vfov/2.0f);
nearHalfW = nearHalfH * aspect;
dirEye = (
        nearHalfW * (curMouseX - halfW) / halfW,
        - nearHalfH * (curMouseY - halfH) / halfHt,
        - hither
    )
```

dirEye进行单位化

dir = viewMat * dirEye得到方向向量.

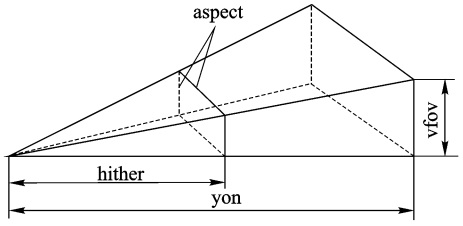


图 5 透视窗的模型视图

2) 若模型视图为正视窗,如图 6所示,即

```
glOrtho (xmin, xmax, ymin, ymax, zmin, zmax)
eyeCoord = (
        xmin + curMouseX * (xmax - xmin) / Width,
        ymax - curMouseY * (ymax - ymin) / Height,
        zmax
    )
```

from = viewMat * eyeCoord得到起点

dir = viewMat * (0,0, - 1)得到方向向量.

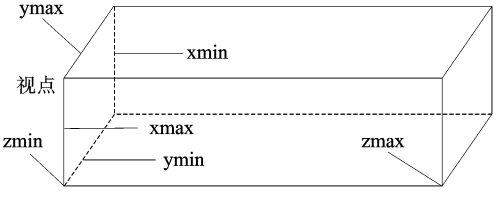


图 6 正视窗的模型视图

根据上述算法确定扫描线的起点与方向.本系统中利用 LOS扫描线实现"屏幕拾取"功能,如图 7所示.虽然比起 OpenGL的选定缓冲区法,其算法略显复杂,但却大大增强了多部件多场景的实用性与效率,有效地提高了系统性能与扩展性.

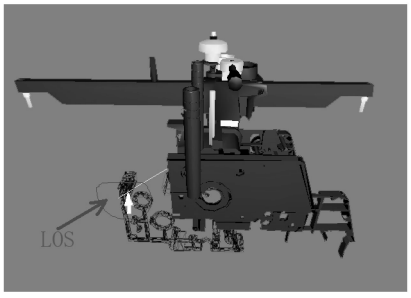


图 7　LOS扫描线实现"屏幕拾取"

4　结束语

通过对人机交互技术中的 CAD模型装配层次信息的再组织和直接操纵模式实现等关键因素的研究,针对复杂产品信息管理提出了基于 SOP数据结构的属性类驱动算法以及模型转心匹配法,针对用户界面操纵的实用性和准确性,提出了适用于多部件多场景的、快速的基于扫描线技术的直接操纵交互算法原理,通过将这些算法应用于复杂产品的虚拟装配仿真系统,使系统开发时间与效率得以提高,并使系统更加人性化、智能化,为后续的虚拟装配技术的实时性和智能化研究工作奠定了一定基础.

参考文献 (References)

[1] 肖田元.虚拟制造[M].北京:清华大学出版社,2004: 1 - 10
Xiao Tianyuan. Virtual manufacturing [M]. Beijing: TsingHua University Press, 2004: 1 - 10 (in Chinese)

[2] 郑铁,宁汝新,刘检华,等.虚拟装配关键技术及其发展[J].系统仿真学报,2006, 18(3): 649 - 654
Zheng Yi, Ning Ruxin, Liu Jianhua, et al. Survey on key techniques of virtual assembly [J]. Journal of System Simulation. 2006, 18(3): 649 - 654 (in Chinese)

[3] Connacher H, Jayaram S, Lyons K. Virtual assembly design environment [C]//ASME Database Symposium. New York: ASME, 1995: 875 - 885

[4] 周前祥,姜世忠,姜国华.虚拟现实技术的研究现状与进展[J].计算机仿真,2003, 7(5): 7 - 10
Zhou Qianxiang, Jiang Shizhong, Jiang Guohua. Comments on virtual reality reseach and its development trends [J]. Computer Simulation, 2003, 7(5): 7 - 10 (in Chinese)

[5] 程成.虚拟环境人机交互技术研究[D].北京:中国科学院研究生院软件研究所,2002: 39 - 58
Cheng Cheng. Research on human-computer interaction in virtual environment [D]. Beijing: Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, 2002: 39 - 58 (in Chinese)

[6] Eslambolchilar Parisa, Murray-Smith Roderick. Control centric approach in designing scrolling and zooming user interfaces[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2008, 66(12): 838 - 856