

飞机管线交互式虚拟装配技术研究及应用

Research and Application of Human Computer Interaction Virtual Simulation Used for Aircraft Pipe Assembly

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰 石延波 赵建国 董帅 张群



郭洪杰

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司飞机装配专业技术专家,中航工业集团航空之星,第十二届中国航空学会青年科技奖获得者。主要研究领域为虚拟装配仿真与无图制造技术、数字化柔性装配技术。拥有国家专利14项,曾获国防科技进步二等奖及集团科技进步一等奖。

飞机管道与线缆对飞机的安全性、可靠性、制造周期以及经济成本等有着重要影响。据统计,引起空中停车事件的真正原因中有50%是由于管路、线缆等故障引起的。飞机管

随着虚拟现实技术在国内的应用日益深入,人机交互设备在工程实际中的应用也取得了一定进展,借助这些环境和设备,搭建一种基于人机交互设备的虚拟装配仿真平台,实现飞机总装管路和线缆的工艺设计和仿真优化验证,对提高飞机管线装配质量和效率、缩短产品研制周期、降低生产成本至关重要。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.01/02.077

路及线缆的装配空间小、数量多、布局复杂,装配工艺设计依赖经验,装配的可达性、可视性和可维护性不易判断,装配工艺反复多、质量差、周期长,是长期制约飞机总装的技术瓶颈问题。装配仿真技术的应用在较大程度上解决了上述问题,但传统的装配仿真软件对人体动作描述复杂,而且,飞机总装仿真数据量大,对硬件配置要求极高,存在人机仿真效率低和实现难度大、对人体的装配动作缺乏有效描述、管路装配可达性和维护性验证困难、装配周期长、工艺信息表达不直观、易出错、返工率高等问题,严重影响了飞机总装效率,亟需

解决。

国际上波音、洛克希德·马丁等飞机制造公司应用数字化线缆管路设计、装配工艺仿真及现场可视化装配等先进的装配技术,取代了传统的依据二维图纸进行现场布线和导管打实样试装的方法,大幅度提高管线装配的质量和效率。特别是在飞机总装过程仿真中采用交换式虚拟现实仿真技术,更加关注人的舒适程度和人机功效,利用沉浸式虚拟现实环境和穿戴数据衣、数据手套和头盔的真人更加真实地模拟产品装配过程,发现更多的人机功效问题,有效地解决了人机仿真的效率问题,为飞机管

线装配工艺仿真提供了一种全新的手段。

国内学者也开展了大量研究工作,何良莉等^[1]采用 FOB (Flock of Birds) 位置跟踪器,基于 CatiaV5 平台,解决了虚拟布局/装配中人机交互问题,实现了对虚拟零件在三维空间的拾取、释放、平动和转动等操作。郑铁等^[2]给出了虚拟装配环境下基于人机交互的装配路径规划方法,提出了针对交互式虚拟装配的路径优选算法,消除了由于虚拟装配环境下触觉缺失而造成的路径抖动以及折返现象,提高了虚拟仿真效果。朱英杰等^[3]搭建了沉浸式虚拟装配环境,方便人对虚拟物体的操作,提高了装配仿真效率。随着虚拟现实技术在国内的应用日益深入,人机交互设备在工程实际中的应用也取得了一定进展,借助这些环境和设备,搭建一种基于人机交互设备的虚拟装配仿真平台,实现飞机总装管路和线缆的工艺设计和仿真优化验证,对提高飞机管线装配质量和效率、缩短产品研

制周期、降低生产成本至关重要。

人机交互技术研究

搭建一套沉浸式虚拟现实平台,将数据衣、数据手套、ART (Advanced Realtime Tracking) 摄像头和头盔显示器等人机交互设备与 DELMIA 装配仿真软件集成,实现人体姿态的采集和驱动,提供设计者一种与“电子样机”进行可视化交互的途径,从而解决应用 DELMIA 软件进行人机仿真时人体姿态调整效率低的问题。

1 虚拟装配环境搭建

DELMIA 仿真软件是达索公司开发的具有强大几何装配仿真功能的三维设计软件,广泛用于航空、航天、汽车和船舶制造。对 DELMIA 系统自带的人机仿真模块,人的动作需采用键盘和鼠标输入,由于人体关节自由度众多,致使人机仿真效率非常低。本文采用德国 ART 公司的数据手套、数据衣、ART 摄像装置和头盔显示器等作为人机交互工具,如图 1 所示。

虚拟人通用的国际标准 HANIM 中,用 3 种不同类型的节点来表示人体重心、关节以及骨骼段。考虑到所用动作捕捉设备采集数据特征,人体模型采用的标准是简化的 HANIM,有 23 个人体骨骼段 (segments) 和 22 个人体关节 (joints),并采用基于标记点的动作捕捉方式,标记点为被动反光球。人体动作的交互采用数据衣和 ART 摄像头实现,ART 摄像头预先布置在虚拟交互场内,通过工业以太网连接到人机交互主机。

数据衣为分体式结构,穿在现实人身体各部位,用于捕捉人体实际姿态,实现真实人与虚拟人的行为统一。数据衣每个部件上均设有反光标记球,将入射的红外辐射波反射到相反方向更狭窄的角度中。ART 摄像头包括 LED 闪光灯和智能摄像头,LED 闪光灯发出同步红外信号闪光,红外光线信号被包裹在标记球上的反光材料反射到智能追踪摄像头的镜头中。智能追踪摄像头视野能覆盖一定的空间范围,在该范围内可侦测到标记点上反射回来的红外辐射,并基于获取的红外辐射信号创建一个灰度图片。在整个过程中摄像头根据模式识别的方式计算标记点的高精度 2D 坐标,坐标平均精度为 0.04 个像素,2D 数据发回到控制主机,根据摄像头视野范围的共有部分,计算出红外射线交点的三维坐标,即为目标点的空间位置坐标。手部动作采用数据手套,其内部传感器可准确检测人手的精细动作,指导 DELMIA 中虚拟人完成相应动作。



图1 人机交互设备

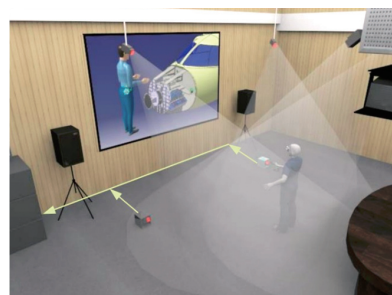


图2 虚拟仿真交互环境

根据虚拟仿真空间布局、尺寸确定 ART 摄像头的数量和布置方式。理论上每个反光标记球只要被两个 ART 摄像头同时照到即可实现定位跟踪,考虑到操作人员动作的随意性,为实时准确捕捉人体姿态,ART 摄像头应覆盖虚拟仿真空间,如图 2 所示。

在虚拟仿真交互环境中,根据现实人的身材定制虚拟人,正确穿戴数据衣,并进行部件校准。现实人穿戴数据衣、数据手套在虚拟仿真空间内移动,确保数据衣和数据手套上的标记球一直处于摄像头的可视范围内,如图 3 所示(共 ART 6 个摄像头),当所有部件显示正常后校准完毕。

虚拟仿真交互环境校准后,由于现实人的体型各不相同,在更换操作者或是开展新的仿真时,为使虚拟人的动作准确、协调,需进行虚拟人和现实人的匹配,如图 4 所示,并记录保存,方便交互仿真系统调用。

2 基于虚拟现实环境的装配模型简化与绘制技术

目前普通计算机能够实时绘制的几何模型三角面片数量约为 100 万,而航空、航天领域的飞行器结构极其复杂,如挑战者号航天飞机有 250 万个零部件,波音 777 客机有 600 多万个零件和连接件,其较高精度的几何模型就包含 3.5 亿以上

的三角面片,仅保留几何模型信息,转化成虚拟环境下使用的面片模型后,存储量也超过了 12GB,再经过一系列的预处理,数据量甚至超过了 60GB,这对实时可视化带来巨大的挑战。

利用 Deep Exploration 软件,在开源的 OpenSceneGraph 开发库的基础上,开发一套通用的 CAD 模型格式转换软件,支持 CATIA、UG 等主流航空 CAD 设计软件模型格式。系统首先利用 Deep Exploration 软件读取 CAD 模型装配体,另存为计算机图形学通用格式的模型文件,然后利用开发的格式转换软件读取该模型文件,按照原 CAD 模型装配树关系,将零部件按照文件夹层次结构存储为目标格式。此外,在产品数模中,如小直径孔、倒角、圆角等特征处的三角面片对整体显示精度提高有限,但对模型实时绘制带来了极大的负载,故在保证显示精度的前提下,去除冗余的三角面片,从而提高实时可视化的效率。

在产品 CAD 模型计算机绘制过程中,几何模型的显示精度与实时可视化效率始终是一个矛盾。为此,本文采用 LOD 几何模型的多分辨率显示技术,将原始几何模型简化生成不同精度等级的几何模型,以精确遮罩查询为基础,并通过视锥剔除,根据

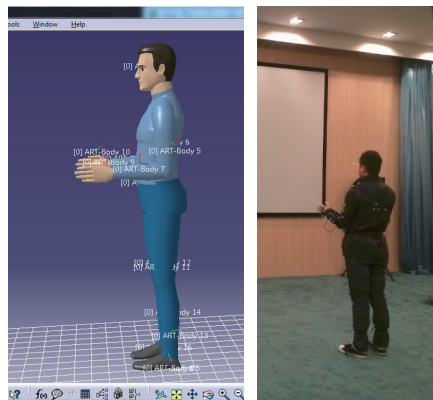


图4 虚拟人与现实人的匹配

计算机实时绘制负载和 CAD 模型面片密度动态地调整 LOD 精度等级,使得各个模型的精度基本一致,避免了传统算法的弊端,实现了 LOD 实时自适应绘制。当几何模型与视点距离较近时,使用三角面片较多、几何精度等级高的模型;反之,当几何模型与视点距离较远时,使用三角面片较少、几何精度较低的模型。此外,结合 GPU 加速,并行计算等技术,实现复杂大规模 CAD 模型的快速预处理和实时绘制,有效保证了模型显示的精度和流畅性。

基于人机交互设备的装配工艺仿真及优化

基于人机交互设备的装配工艺仿真与传统的应用 DELMIA 软件系统进行装配仿真在工艺设计流程上是基本相同的,主要区别有 2 点:一是对仿真模型的轻量化处理方式和方法不同,DELMIA 软件系统是利用自带的功能模块将 CATIA 模型转换为 CGR 模型达到简化的目的,本系统采用自主开发的 CAD 模型简化模块完成简化处理;二是人机仿真实现方式和方法不同,应用 DELMIA 软件系统人体动作的描述是通过对软件系统的虚拟人模型运动关节进行约束编辑生成运动轨迹。本系统是让真人在虚拟现实环境下借助人机交互设备控制虚拟人体模型完成操作,生成运动轨。



图3 ART摄像头跟踪信息

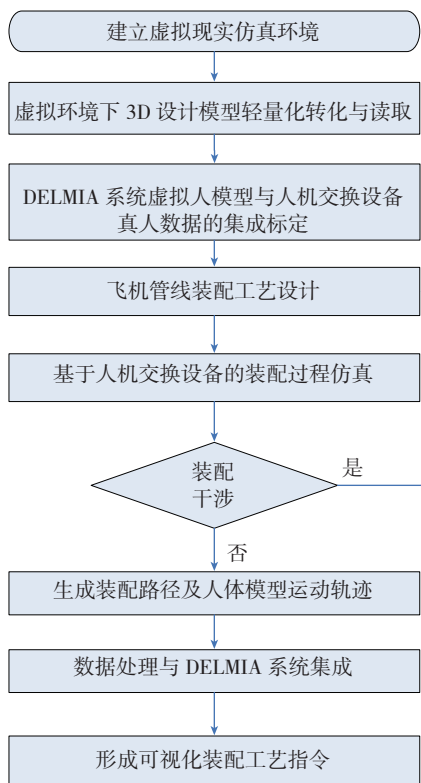


图5 基于人机交互设备的装配仿真技术方案

基于人机交互设备的装配工艺仿真与优化总体技术方案如图5所示。其技术手段是在虚拟仿真交互环境下,利用自主开发的模型轻量化模块对拟装配的三维产品模型进行简化,再导入到虚拟现实系统中,利用人机交互设备提供给设计者一种与使用物理样机类似的方式,与电子样机进行可视化和物理交互,通过

与 DELMIA 软件系统集成,将真人的运动轨迹转换为虚拟人的运动轨迹,生成可视化的装配工艺指令。并对相关装配过程进行人机功效仿真,发现潜在问题,并对其进行优化,以支撑后继装配现场的工作。同时在装配操作仿真分析的基础上,从装配操作的可达性、可操作性、开敞性、装配资源的可调用性、装配过程的不干涉性、装配作业的平衡性、高效性等角度出发,对装配仿真的结果进行修正与优化,提高装配效率,降低返工率,有效保证作业安全。

应用验证及实施效果

下面以某型飞机设备舱管路装配为例,采用两种方案开展装配仿真工作,对比验证本文方法的有效性。

方案1:采用达索公司的 DELMIA R18 版软件,采用开发的模型处理系统,结合德国公司的虚拟现实仿真设备,包括1套 ART 全身套件、2只 CyberGlove 数据手套、1个头盔显示器、6个 ART 摄像头。

方案2:采用达索公司的 DELMIA R18 软件集成的人机仿真模块,交互设备为鼠标和键盘。

首先测试模型轻量化效果,针对3类模型(大小分别200MB\500MB\900MB)进行模型简化测试,应用自主开发的 CAD 模型

简化模块,实现从 CAD 模型向虚拟环境仿真模型的转化,测试结果如表1所示。

进行人机装配仿真效率的对比测试。针对2个后设备舱导管安装的实际案例,分别按照数据衣仿真和传统仿真进行仿真测试(分别选取3类不同复杂程度的操作,每类操作执行5次取平均值),人机仿真效率指标见表2。

结论

(1)开发了线缆管路模型转换简化程序,实现从 CAD 模型向虚拟环境仿真模型的转化,几何压缩比达到3以上,压缩后模型在系统中均正常显示,未出现失真现象,同时大压缩比模型减轻了系统负担,使系统运行更加流畅,优化系统运行环境,简化后模型保留原 CAD 模型装配树。

(2)基于人机交互设备的虚拟现实仿真系统,能够实现与 DELMIA 仿真软件的集成应用,在沉浸式虚拟现实环境下,借助数据衣、数据手套、ART 摄像头和头盔显示器等人机交互设备进行飞机管线的装配仿真,简化了人机仿真流程,比传统仿真效率提高65%以上。

(3)基于人机交互设备的虚拟现实装配仿真技术能够大幅度提升飞机总装的管线工艺设计水平,提高人机仿真的效率和质量,改善飞机管线的装配质量,对保障飞机安全、降低飞行事故率具有重要意义。

参考文献

- [1] 何良莉,魏发远,王峰军. 虚拟布局/装配环境下的人机交互技术研究. 机械设计, 2010,27(12):86-89.
- [2] 郑荻,宁汝新,刘检华,等. 交互式虚拟装配路径规划及优选方法研究. 中国机械工程, 2006,17(11):1153-1156.
- [3] 朱英杰,李淳芑,马万里,等. 沉浸式虚拟装配中物体交互特征建模方法研究. 计算机研究与进展, 2011,48(7):1298-1306.

(责编 亿霖)

表1 测试模型压缩比

模型原始大小	去除率为 20% 时模型压缩比	去除率为 50% 时模型压缩比	去除率为 80% 时模型压缩比
200MB	4.5	7.0	18.0
500MB	4.7	7.5	19.3
900MB	3.5	5.6	14.3

表2 人机仿真效率指标对比

案例操作名称	数据衣仿真 /s	传统仿真 /s	提高效率 /%
管路 1(010.927.00)	61.6	243.0	74.65
管路 2(105.901.00)	81.8	274.4	70.19
管路 3(225.901.00)	122.6	532.2	76.96
管路 1(423-01.0)	69.6	280.0	75.14
管路 2(090.902.0)	105.6	307.0	65.60
管路 3(492-01.0)	123.2	449.8	72.61