

基于运动捕获的飞机管路虚拟 装配仿真技术研究

Research on Virtual Assembly Simulation Technology of Aircraft Pipeline Based on Motion Capture

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 范为 赵罡 肖文磊



范为

硕士,主要研究方向为结构装配仿真、人机工程仿真。

提出通过运动捕获的方式实时获取虚拟人动作姿态,将其应用在 Delmia 软件和独立开发的程序中进行虚拟人仿真的方法,完成人机工程装配仿真,并在一套产品实例装配仿真系统中进行验证。经过实践验证,在人机工程装配仿真中使用此种方法,操作者的动作可以控制软件中的虚拟人完成装配仿真动作。相比传统的虚拟人姿态控制方式,此方法可大幅提高虚拟人装配仿真的工作效率,节省调整虚拟人姿态工作时间。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.23/24.075

虚拟装配是近年来装配领域的一个重要研究方向,虚拟装配技术体现了两层映射^[1-2]:一是虚拟世界中的模型映射真实产品;二是模型仿真步骤映射产品装配步骤。前者省掉了产品物理样机,后者可实现装配过程可行性验证^[3-4]。

虚拟装配技术主要包括相应飞机产品构件的装配顺序规划和装配路径规划^[5]。装配顺序规划是指已有几何模型装配过程或拆卸过程

的零部件运动顺序,根据“变拆为装”的思想,只有经过合理的零部件拆卸顺序逆转处理才能获得合理的产品装配顺序,完成产品实例装配过程。装配顺序规划是装配方案设计中最重要的一项步骤,决定了装配仿真方案是否合理。路径规划是指产品模型在装配过程中的运动路径设计,既包括产品在指定装配路径引导下能否到达终点位置、实现装配目标,也包括产品在运动过程所经过的空间位置是否会被障碍物遮挡,是否能够按照预定方案完成装配路径运动等情况。装配路径规划通常是三维仿真软件(如 Catia/Delmia)装配仿真

过程中最常用到的功能,所指定的运动路径既可是二维平面运动,也可是三维空间运动。

在 Catia 软件中,通过 Automation 开发方式,提供大约 360 个操作函数接口,覆盖 Catia 软件中的大部分常用功能,利用宏或脚本,将一系列的命令和操作进行编辑,实现 Catia 功能的自动操作和连续执行;通过 Visual Basic 编写脚本,即以 VBA 的方式建立 Catia 图形界面接口,完成 Catia 软件中的自定义功能,是一种较高层次的 Catia 二次开发实现。

本文针对某新型号飞机项目,使

用一套飞机装配产品实例,针对某部件管路结构的装配仿真,通过动作捕捉设备,使用运动捕获的方式获取虚拟人姿态,完成人机工程装配仿真,验证操作者虚拟装配实际操作的可达性。在实际使用中,通过 Delmia 软件和独立开发程序分别验证了此种人机工程装配仿真方法的可行性,并对两种使用环境特点进行了对比。

考虑到新型号飞机中涉及很多创新理论的实践和验证,且新型号项目中的飞机无法大规模生产,由此导致了新型号飞机项目的成本提高、工作量增大。在以前的新型号试制任务中,需要在先完成生产图纸前提下,制造两架新型号飞机的原型机,在制造过程中发现一些产品零件及产品装配的实际应用问题或操作问题,发现问题后修改图纸,再进行原型机的修改制造步骤。经过长时间的摸索和修改,两架原型机制造完成后,再进行相应的装配验证和破坏验证工作。这样的工作流程存在生产周期长、返工率高、重复工作量大、生产效率低、成本高等问题。相比较而言,本文对虚拟装配技术仿真的研究,充分体现了使用三维软件进行虚拟建模、虚拟装配的优点,在前期的设计和建模工作中,不需要真正制造出原型机,设计方案、装配情况可以实时任意修改,大量缩短生产时间,提高工作效率,降低生产成本。此外,通过虚拟情况下的建模及装配仿真还可对实际生产时的工作方法进行高效指导。

虚拟人姿态控制

传统装配仿真中,只包含产品的运动路径规划、装配顺序规划和碰撞检测等,但不包括对操作人员装配仿真情况的考虑,人机工程仿真则很好地解决了这个问题。加入仿真环境中的虚拟人,可测试操作人员是否具有足够工作空间、是否与周围产品发生碰撞、实际工作中运动路径是否合

理等。

虚拟人能够很好地模拟人体的几何尺寸,因此在人机工效学方面发挥着重要作用。如在设计 1 个工作环境前,可用虚拟人分析环境中物体的可视性、可达性,通过对虚拟人位置姿态进行调整,模拟人工作时的力矩分析及疲劳强度,从而及早发现和修改设计中存在的缺陷,从而提高工人工作效率、舒适度及安全性能等。

相对于传统的装配仿真,人机工程仿真具有更真实的视觉效果、更及时有效的人机工效分析、更有实际意义的参考价值等特点,通过虚拟人体模型驱动、虚拟人体模型位置跟踪等手段,实现虚拟人装配动作仿真。

为了使人机工程仿真中虚拟人动作的效果更佳真实、自然,需要对虚拟人运动姿态进行过度处理、平滑控制等操作,传统的虚拟人姿态控制方法包括关键帧控制方法^[6-8]、逆运动学控制方法^[9-11]等,另外还有基于物理的仿真技术,如通过运动捕获技术获得虚拟人位置方向数据及驱动虚拟人体模型。

传统人机工程仿真方法为保证虚拟人动作更加自然和符合真实情况中的运动,往往需要对虚拟人的姿态关键帧进行精细控制,调整每一个关节节点的属性,这给装配仿真添加了很多无意义的工作,很多重复性的工作无法一键完成,也无法将之前做过的设置工作重复利用,造成工作量的无效浪费,使用户将更多时间和精力放在虚拟人相关的设置工作上,大大降低工作效率。在传统方法中,无论是对于产品模型还是虚拟人模型,所做的仿真验证(如装配路径)均是在理想情况下进行,即模型运动路径均为预先设置好,不会发生偏移或晃动,也不会发生意料之外的运动情况,如虚拟人在运动过程由于算法失误,出现关节部位畸形变化等。

关键帧控制方法原理清晰,技术简单,是虚拟人运动控制中最普遍的

一种方法,使用关键帧控制方法需要进行大量的虚拟人姿态设置工作,在每一特定的关键帧虚拟人姿态可能都不相同。另一方面,通过运动学控制法在仿真过程中可能会出现由于算法解析而导致人体模型的异变或不合理;动力学控制法技术难度高且姿态不易精确设置。若采用逆运动学控制方法,虽然可以设置起始和终止两个虚拟人的状态,中间状态由插值算法自动生成,但是由于在插值过程中未设置需遵守的规则、规避的路径等,因此从起始到终止的姿态插值过程一般是按照最短路径插值而成,这就导致了过程中的虚拟人姿态直来直往,可能与路径中的物体发生碰撞(若未启动碰撞检测则直接穿越),并且插值过程中虚拟人的姿态可能会出现不自然的情况。

基于运动捕获的虚拟装配仿真技术

鉴于采用关键帧控制、逆运动学控制等实现方法,虽然可实现人机工程仿真的需求,但均具有一些不便使用的缺点,通过动作捕捉设备实现仿真的方法,利用操作者身上各个关节的传感器,实时获得操作者各关键帧节点的动作姿态,通过数据传输和反馈,实现虚拟环境中人体模型驱动。

本文通过运动捕获方式获取虚拟人姿态,并将其应用于 Delmia 软件和独立开发程序中的虚拟人姿态控制。通过运动捕获方式获取虚拟人姿态,能够满足动作的实时性,同时通过操作者穿着动作捕捉设备完成动作,可保证姿态的自然性和真实性,又避免了在软件中大量设置虚拟人关键帧姿态的复杂工作。通过动作捕捉设备提供虚拟人模型的关键帧数据,免去了关键帧的重复设置,只需在某些特定姿态上对关键帧进行修补,即可完成虚拟人的装配仿真验证。

要通过运动捕获的方式获取虚拟人姿态,操作者需要穿着动作捕捉设备进行动作。本文涉及到的动作捕捉设备包括数据衣和数据手套,同时还需要软件的相关支持。

1 软件支持

本文中人机工程仿真分别在 Delmia 软件和独立开发的程序中实现。

为实现在 Delmia 软件中的虚拟人姿态运动捕获,采用由法国 Haption 公司开发的 RTID Human 软件。该软件是目前可知的唯一一款 Delmia 人机交互接口软件,可与动作捕捉设备(如数据衣、数据手套等)建立数据关联,完成实时装配仿真工作。

虽然 Delmia 软件已具备强大的可视化功能,但 Delmia 作为一款商业软件,无法对用户实现完全开放,不能实现特定需求定制化功能。针对本文的虚拟人姿态控制,独立开发了获取虚拟人姿态程序,建立动作捕捉设备软件接口,实现对虚拟人姿态的控制。本程序中通过 Autodesk 公司发布的 MotionBuilder 软件,实现虚拟人模型建模及对虚拟人模型各个关节动作的管理;使用同样由 Autodesk 公司出品的 FBX SDK 软件开发包,实现虚拟人动作数据格式定义以及与程序的软件接口;使用开源的 OpenSceneGraph 三维图形引擎,实现在程序中虚拟人动作的渲染和绘制。虚拟人模型各关节的效果如图 1 所示。

2 硬件设备

本文中涉及到的动作捕捉设备包括 ART Suit 数据衣、MVN Suit 数据衣和 CyberGlove 数据手套,其主要原理均是通过分布在相关部位的传感器实现位置姿态数据的采集,通过数据传输模块将相关数据传输到软件程序中,实现对虚拟人模型各关节的控制,进而实现虚拟人动作变化,现针对 ART Suit 数据衣的使用

进行简要介绍。

ART Suit 数据衣,即 ART Track 光学跟踪器数据衣,使用时操作者全身佩戴 ART 光学跟踪套件,使用 ART 配套软件采集人体模型各节点位置的信息,进而起到控制虚拟人模型运动的作用,在使用前需要对配置文件进行有效校准。ART Suit 数据衣的效果如图 2 所示。

使用过程中,通过系统配套软件 DTrack 在软件中检测到控制虚拟人所需的全身节点,确认人体各节点之间的关系以及节点本身的状态正常,进行工作场景的三维空间位置校准。此时就可看到操作者控制的虚拟人全身各节点,虚拟人随着操作者的运动而运动,进而完成虚拟装配仿真任务。

管路装配工艺仿真

本文以飞机某部件管路结构装配为例,利用“可拆即可装”的原理,对管路结构的装配路径和人机工程仿真进行规划。

使用动作捕捉设备,驱动人体模型,将仿真环境中的结构件一一拆卸,形成零散合理分布的多个零件,利用“可拆即可装”^[12]将结构件的装配路径仿真验证问题转化为拆卸路径验证过程。通过虚拟人抓取、释放等操作,实现零部件的拆卸运动,确定被拆卸零部件运动终点的位置,保证该零部件与其他模型确实分离。

所谓“可拆即可装”,即根据设计方案将虚拟环境中的三维产品模型在空间内按一定顺序拆卸,记录各个零件拆卸路径、拆解顺序和最终位置,再将刚刚得到的拆解顺序逆转,拆卸的最终位置变为装配的起始位置,就可在虚拟环境中获得产品零件的装配顺序和装配路径,形成装配操作流程。

在工艺仿真过程中,需注意管路零件产品之间、零件产品与装配工装的干涉,零件产品装配路径的规划

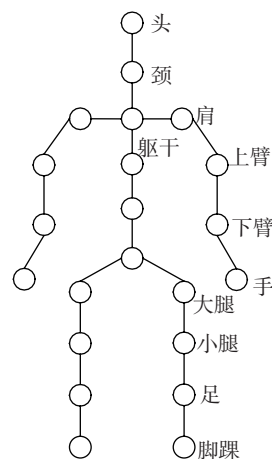


图1 虚拟人模型关节点效果图



图2 ART Suit数据衣效果图

等。同时,在人机工程仿真中还需注意虚拟人模型与产品之间的干涉,虚拟人所处的位置是否具有足够的空间,虚拟人操作过程中是否具有足够的视野以及虚拟人躯体的可达性和舒适性问题。

虚拟装配系统实现

本文提出的基于运动捕获的虚拟装配仿真技术,通过运动捕获方式获取虚拟人位置姿态数据,分别在 Delmia 软件和独立开发程序中实现人机工程虚拟装配仿真。

在实际仿真工作实现过程中,包括 2 种实现方式:一种方式是操作者穿着动作捕捉设备录制装配动作,保存数据格式文件,在软件中读取数据文件,配合软件环境中的管路零件,

播放录制好的动作,使虚拟人实现对管路零件的装配/拆卸过程;另一种方式是虚拟人位姿数据与软件建立数据通信后,操作者直接在软件中控制虚拟人模型,完成所需的抓取/释放管路零件等装配动作,实现实时动作的人机工程仿真。

具体操作步骤如下:

(1)操作者穿着动作捕捉设备(如数据衣),通过相应的配套软件,按照虚拟人姿态标定要求,完成动作捕捉设备的姿态校准。

(2)通过设备参数配置软件接口,完成相应的设备参数设置,建立动作捕捉设备与软件环境中虚拟人模型的数据通信。

(3)若设备与软件环境通信正常,则此时操作者可对软件(Delmia或独立开发的程序)中的虚拟人姿态进行实时控制,完成各种真实动作。操作者穿着动作捕捉设备与虚拟人关联效果如图3所示。

(4)在实际使用中,由于与某飞机公司项目合作的便利条件,通过一套产品实例中的管路零件装配仿真任务,验证了此方法的切实可行,大大简化人机工程仿真的工作步骤,节省了以往传统方法大量调节虚拟人关键帧姿态的时间。经过实际测试,可提高人机工程仿真工作效率达50%以上。

结束语

本文通过一套飞机产品实例中的管路零件装配仿真任务,实现了基于运动捕获的人机工程仿真。考虑到新机试制过程中面对的问题,使用虚拟建模和装配仿真的方式非常符合这项工作要求。通过零件虚拟装配仿真,验证零件装配的有效性和可行路径,通过人机工程仿真验证工作人员在具体操作环境下的操作可行性和可达性。实际使用表明,使用本文提出的基于运动捕获的人机工程仿真方案可显著提高人机仿真工作

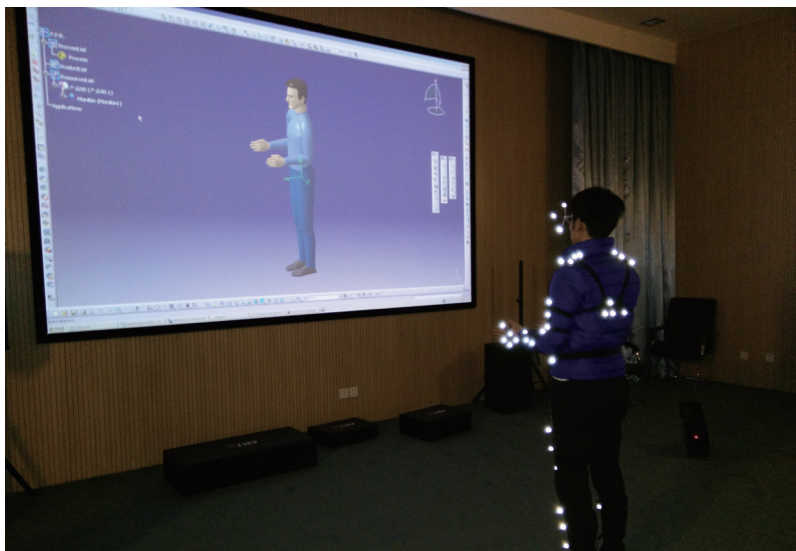


图3 操作者与虚拟人关联示意图

效率,缩短人机仿真的用户操作时间达到50%以上。

在实际使用过程中,还存在着产品零件显示格式单一、系统数据不完整、模型仅支持通用格式文件等不便,在以后的工作中可继续进行改进和完善。现有的解决方案中,在Delmia软件下实现人机工程仿真。Delmia作为一款成熟的商业软件,用户通过键盘和鼠标完成交互操作,实现仿真过程中相关功能;而独立开发的程序虽然可实现相关的动作捕捉设备和虚拟人姿态数据关联及人机工程虚拟装配仿真操作的相关功能,但在操作交互和软件体验方面还有很大的空间需要提高,这也是日后工作的一项重要内容。

参考文献

[1] 姚珺,宁汝新,王新永.基于虚拟现实的装配工艺规划研究.机械工程学报,2002,38(8):130-134.
 [2] KUEHNE R P, OLIVER J H. A virtual environment for interactive assembly planning and evaluation// Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences. Boston: ASME, 1995: 863-867.
 [3] DEWAR R G, CARPENTER I D, RITCHIE R G, et al. Assembly planning in a virtual environment//Proceedings of Portland Int. I Conf on Management of Engineering and Technology (PICMET 97). Piscataway: IEEE

Press, 1997: 664-667.

[4] JAYARAM S, HUGH I C, KEVIN W L. Virtual assembly using virtual reality techniques. Computer-Aided Design, 1997, 29(8): 557-584.

[5] JUNG B, HOFFHENKE M, WACHSMUTH I. Virtual assembly with construction kits// Proceedings of 1997 ASME Design Engineering Technical Conference. Sacramento: ASME, 1997: 1-7.

[6] ROSE C F. Verbs and adverbs: Multidimensional motion interpolation using radial basis functions[D].Princeton:Princeton University, 1999.

[7] HUANG Z Y, Motion control for human animation [D]. Lausanne (EPFL): Swiss Federal Institute of Technology, 1996.

[8] BADLER N I, Bindinganavale R, GRANIERI J P, et al. Posture interpolation with collision avoidance// Proc. of Computer Animation' 94. Geneva: IEEE Press, 1994:13-20.

[9] BOULIC R, BECHEIRAZ P, EMERING L, et al. Integration of motion control techniques for virtual human and avatar real-time animation // Proc. V RST ' 97. ACM Press, 1997: 111-118.

[10] BOULIC R, THALMANN N M, THALMANN D. A global human walking model with real-time kinematics personification. The Visual Computer, 1990, 6(6): 344-358.

[11] KO H, BADLER N. Animating human locomotion in real-time using inverse dynamics, balance and comfort control. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2): 50-59.

[12] 贾朝定. 基于DELMIA的虚拟装配技术. 成飞科技, 2007(1): 32-36.

(责编 古京)