

虚拟环境下飞机线缆装配技术研究

Research on Aircraft Cable Assembly in Virtual Environment

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 王同苏 杜宝瑞

[摘要] 虚拟装配技术作为一种典型的数字化装配技术,已经越来越多地被应用到飞机装配生产实践中。线缆在飞机上占有非常大的比重,其装配效率直接影响着飞机总装效率。然而由于线缆本身的柔性特征,决定了相比于刚性结构件的虚拟装配,飞机线缆的虚拟装配工作难度更大。本文对虚拟环境下的飞机线缆装配技术进行了系统性的介绍,并且讨论了基于 DELMIA 的飞机线缆装配仿真与基于人机交互设备的装配工艺优化两种目前比较主流的飞机线缆虚拟装配技术,最后进一步提出了该技术未来发展的方向。

关键词: 飞机线缆 虚拟装配 装配仿真 人机交互

[ABSTRACT] Virtual assembly is a typical digital assembly technology, it has increasingly been applied to aircraft assembly. The cable takes a large proportion in the aircraft, the assembly efficiency directly affects the efficiency of aircraft assembly. However, due to the flexible characteristics of the cable, compared with the rigid structure, it is more difficult to aircraft assembly simulation. This paper makes a systematic introduction to the virtual assembly technology of aircraft cable, and discussed the aircraft cable assembly simulation of DELMIA, and discussed the optimization of the assembly process of the human-computer interaction. Finally it put forward the future direction of the key needs of developing the technology.

Keywords: Aircraft cable Virtual assembly Assembly simulation Human-computer interaction

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.19.052

线缆在飞机上占有较大比重,线缆的主要作用是可靠地传输通信信号,保证电气设备之间的正常通信,其重要程度相当于人体的神经。在实际的飞机装配过程中,影响线缆装配的因素数目较多,目前大部分装配操作仍采用手工方式,装配过程中常常需要人工对其进行修改。飞机线缆的装配工作很大程度上依赖于工作人员的经验,这一特点严重影响了飞机总装的装配效率。虽然我国目前已经实现了飞机线缆的三维设计,然而线缆的装配仍然处于传统的依据二维图纸进行现场布线

的阶段。随着我国航空制造业型号任务的增多、产量需求的加大,电力、数据等线缆数量显著增加,布局更加复杂,这些线缆的装配效率直接影响到整个装配生产线的速度和飞机的寿命。因此,提高飞机线缆的装配水平已经成为飞机装配领域中一个急需解决的问题。

虚拟现实技术(Virtual Reality, VR)是一项集信息融合技术、计算机应用技术、电子信息技术、虚拟仿真技术于一身的先进技术。该项技术的交互性(Interactivity)、沉浸性(Immersion)和实时性(Real-Time)能够为飞机装配人员提供一种高度逼真的虚拟环境,可以直接对虚拟原型进行人机交互操作,并实时地观察装配过程及其产生的效果。虚拟现实技术的引入为改进飞机线缆的装配条件提供了一种可行的技术途径。本文针对实际飞机装配生产线的特点,对虚拟环境下的飞机线缆装配技术进行了研究。

1 飞机线缆虚拟装配

1.1 虚拟装配技术

虚拟装配技术(Virtual Assembly, VA)是实际产品装配过程在计算机上的本质体现,是虚拟现实技术和CAD技术在工程设计中的典型应用,是现代先进制造技术的关键组成部分^[1]。虚拟装配技术以装配工艺为核心,以装配仿真、干涉碰撞检查、装配规划的形成与可装配性评价等单元技术模块为支撑,对产品的装配顺序、路径、方法、资源、人工等进行分析与决策。飞机装配的研究对象通常种类繁多且造价相对较高,针对其难以进行实物试验的特点,虚拟装配技术是一种特别有效的研究手段。虚拟装配技术的重要工具是计算机,它与数值计算、求解方法的区别在于它首先是一种试验技术。虚拟装配技术以最直观的效果、可视化方式展示、验证并改进尚处在设计阶段的产品可装配性,从而起到缩短产品开发周期、提高设计质量、降低装配成本的作用。

目前,虚拟装配技术的研究可以分作2个层次:

(1) 装配过程的可视化手段和干涉检查工具。直观展示产品装配过程中零部件的运动形态和空间位置关系,并提供运动过程中的干涉检查和报警。

(2) 基于VR技术构造虚拟的产品装配环境。操作人员有身临其境的感觉,并能通过视觉、听觉和触觉来

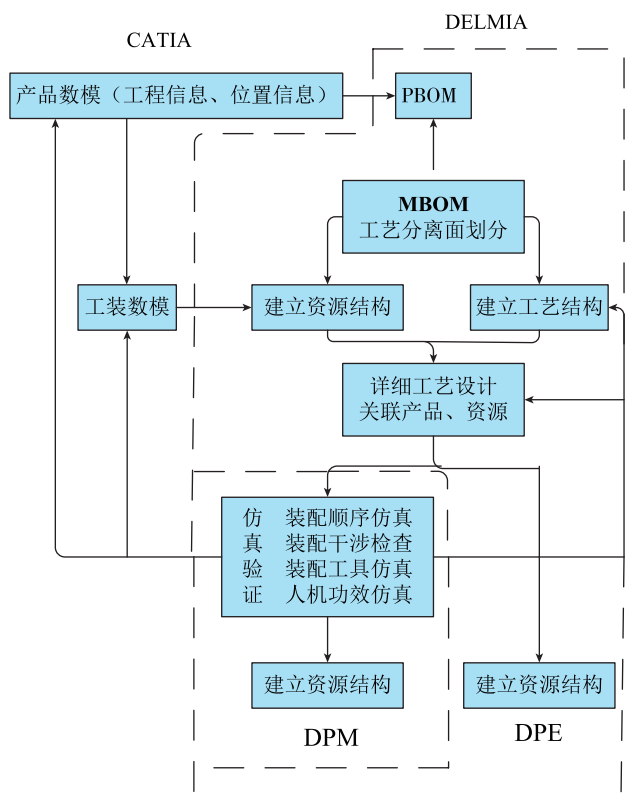


图1 虚拟装配技术工作流程

Fig.1 Virtual assembly technology work process

感知产品的装配过程和效果。

2个层次的发展对产品开发与并行工程的实施均有深远意义,它们都处于研究和探索阶段。

1.2 基于 DELMIA 的装配仿真

DELMIA (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interaction Application) 是法国 Dassault Systemes 公司以“数字化工厂”为概念,开发的一款具有模拟仿真功能的三维设计软件。DELMIA 软件系统包括两个相互关联的独立软件, DPE (Digital Process Engineer) 与 DPM (Digital Process Manufacture),前者为数字化工艺规划平台,它建立产品数据(Product List),工艺结构(Process List)和资源数据(Resource List),并将三者有效地关联在一起,实现产品分析、工艺方案评估、各种数据统计计算和装配工艺结果的输出等。后者提供工艺细节规划和验证应用的虚拟环境,以产品、工装的三维模型并结合 DPE 已设计好的工艺流程进行数字化装配过程的仿真验证,二者通过唯一的 PPR Hub 数据库共享数据。

飞机虚拟装配过程仿真的基本思路是利用 DELMIA 系统,在计算机上直观展示出装配过程中飞机零部件的运动形态和空间位置关系,并对其运动过程进行干涉检验,检查飞机的可装配性。

1.3 飞机线缆的数字化建模

在飞机装配过程中,线缆的柔性特征决定了其在装配过程中容易发生变形。另外,线缆的结构通常比较复杂,并且需要与刚性结构件协调交叉装配。以上2点使得飞机线缆的装配仿真一直是飞机虚拟装配界的难题。

目前,在数字化建模中,刚性结构件的建模通常比较容易实现,利用这种建模思想,可以将柔性线缆设计成几何实体模型,这种模型能够从几何上表达出线缆布置的初始状态与最终结果,对于柔性线缆的可变形性以及装配过程中的中间状态则无法表达。线缆的数字化建模关键是建立合理的走线路径和拓扑结构,图2所示为某一线缆的示意图,该线缆包含2个分支点,5个末端,线缆末端为连接器,共有7个主节点。不考虑线缆的几何参数、材料属性等具体信息,将所示线缆抽象为如图3所示的基本元素。

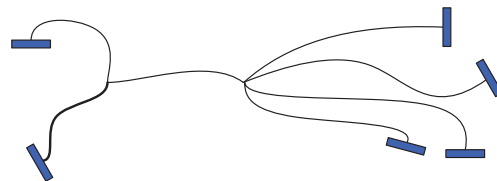


图2 某线缆示意图

Fig.2 Cable diagram

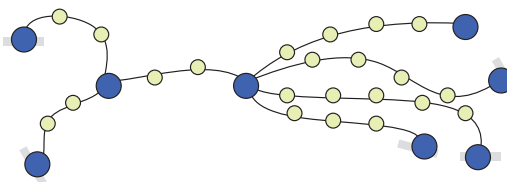


图3 抽象为基本元素后的线缆示意图

Fig.3 Cable diagram after abstraction as the basic element

如图3所示,将整个线缆拆分为不同的关键点与线缆段:

(1)关键点:飞机线缆的装配仿真过程通常以节点作为基准点,线缆的节点分为主节点与分节点,在装配过程中,主节点的位置通常是相对固定的,其次是分节点,通常通过调整线缆段来完成线缆的最终装配,必要时可以对分节点进行适当调整。在装配仿真建模中,将线缆的各端点和节点抽象为基础关键点,同时根据线缆通路的实际工程需要,在柔性线缆适当位置设置一系列插值关键点。

(2)线缆段:经过关键点的确定,将整个线缆分割成一组相对独立的线缆,相邻2个关键点之间的线缆即为线缆段。

这种线缆的数字化信息模型,实现了对柔性线缆的复杂信息进行抽象表达,基于此生成线缆在三维环境中的虚拟实体模型,从而为下一步线缆的虚拟装配仿真提供数模已完成各种交互操作。

1.4 基于 DELMIA 的飞机线缆装配仿真

在 DELMIA 软件中,建立线缆的虚拟仿真环境(“PPR 树”的建立)。

(1) 建立产品数据(Product List)。

将所建立的飞机线缆三维数模和其所处装配环境的飞机结构三维数模的产品信息保存为“*.CATProduct”格式,对于三维数模中没有的产品信息和一些附加的工艺信息(如分工路线、材料属性等)可以加入到“*.xls”格式的文件中与装配数模一并导入到 DELMIA 环境中,这种方法能够实现产品信息提取的自动化,减轻手工操作的工作强度和出错几率。值得注意的是,具体操作时通常会将一些不参与装配仿真动作的结构部件等保存为轻量化数模(通常为“*.cgr”格式),在 DELMIA 环境下再将整理出来的装配数模导入到 Product List 中完成 Product List 的建立。

(2) 建立工艺结构(Process List)。

构建 Process List 的过程,就是规划装配工艺顺序的过程。装配顺序规划是指零部件之间的装配优先关系,即装配过程中各零部件之间决定先后装配顺序的约束关系,该约束关系需要充分考虑几何干涉与装配工艺性 2 个方面。虚拟环境下线缆装配顺序规划与刚性结构件在流程上的主要不同之处是,在进行虚拟装配工艺规划之前,刚性结构件已在虚拟建模环境中设计完成,只需将虚拟建模环境下的实体模型导入到虚拟装配环境中就可以进行结构件的装配工艺规划^[2];而线缆的设计还与电气原理图密切相关,所以在进行装配工艺规划之前,还需要先在虚拟环境下进行线缆的几何布局设计。因此,虚拟环境下线缆和管路的装配规划包括布局设计和装配工艺规划 2 方面。在这里,线缆在布局设计阶段和装配工艺规划阶段均为柔性体。

(3) 建立资源数据(Resource List)。

Delmia 软件里面的资源是一个广义的概念,指参与装配过程的所有非产品的实物元素,如:刀量具、工艺装备、地面设备、车间厂房、操作人员与机器人等。这些信息均需在“resource”资源树下建立相应节点,填入必要的属性信息,必要的是将这些元素指派给与该元素对应的三维数模文件。构建 Resource List 的过程和构建 Product List 的过程类似,在此过程中,同样要注意将数据量大同时又不参与装配仿真的部件保存为节省数据空间的“*.cgr”格式,并且加载进“*.CATProduct”中导入进来。

应用 DELMIA 系统建立飞机线缆装配仿真过程的主要步骤为:

(a) 初始化装配仿真环境;

(b) 建立虚拟装配行为,其中包括设置装配工序及装配路径;

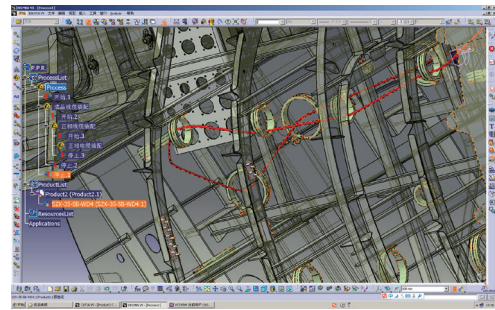


图4 基于DELMIA飞机线缆装配仿真的制作

Fig.4 Simulation based on DELMIA aircraft cable production

(c) 执行装配仿真过程,同时进行干涉检查。

如果在装配仿真过程中发生干涉,可对仿真行为和装配路径进行及时修改,直至形成最优的装配仿真结果(图4)。

这里需要说明的是,飞机线缆装配仿真过程基于“可拆即可装”原理,即将三维零部件模型从最终的空间位置进行合理有序的拆除,从而获得所有零部件的拆卸序列,最后将此拆卸序列“反转倒置”,“反转倒置”后的流程即为正确的“装”的工艺流程。由于无需在移动零部件模型时查找它们之间的约束元素,采用这种方式能够比较方便地对各零部件进行移动。飞机线缆的装配仿真过程中,在显示已有的工装和结构件数模的同时,适时的对线缆系统进行隐藏/显示操作,以便建立合理的飞机线缆装配仿真流程。

线缆的柔性特性决定了飞机线缆的装配目前仍以手工操作为主,因此装配过程仿真人员需要充分考察工艺中影响工人作业的空间开放性、姿态舒适性和劳动强度等因素。在此,通过人机工程引入三维人体模型进行人体操作的动态仿真,从而分析操作人员在具体装配环境中的姿态、负荷、舒适度等,验证工人操作的可达性、舒适性,进一步优化仿真流程、改进工装设计,确保现场工人操作的可行性与最优性(图5)。

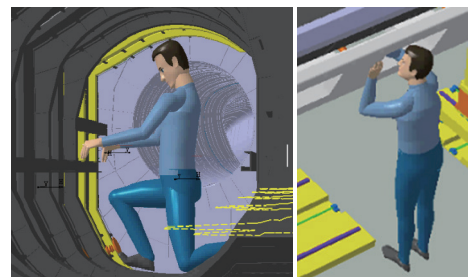


图5 基于DELMIA人机工程的飞机线缆装配仿真制作

Fig.5 Aircraft cable assembly simulation based on DELMIA man-machine project production

2 基于人机交互设备的装配工艺优化技术

目前,飞机线缆的装配工作主要以人工操作为主,

人机交互设备的采用为线缆的虚拟装配工作提供了很大的便利。人机交互 (Human-Computer Interaction, HCI) 是研究人、计算机以及它们间相互影响的技术。人机交互技术是当前信息产业竞争的一个焦点,世界各国都将人机交互技术作为重点研究的一项关键技术。美国总统信息技术顾问委员会的“21 世纪的信息技术报告”中将“人机交互和信息管理”列为新世纪 4 项重点发展的信息技术 (还包括软件、可伸缩信息基础设施、高端计算) 之一,它的目标是研制“能听、能说、能理解人类语言的计算机”^[3]。

将人机交互技术应用到飞机线缆虚拟装配中不仅考虑到装配过程的可行性,而且十分关注工人在装配过程中的方便性,以利于提高工作效率和产品装配质量,如图 6 所示。人机交互技术的应用使装配技术人员可以利用特制的头盔和数据手套等辅助设备,进入数字化的虚拟装配环境,进行真正装配过程的虚拟仿真,该方法可以优化装配工艺路径,进一步提高工作效率和产品装配质量。国内对于人机交互技术的应用尚处于起步阶段,人机交互设备大多应用于机器人领域,很少应用于飞机装配等大型复杂产品的生产研制。

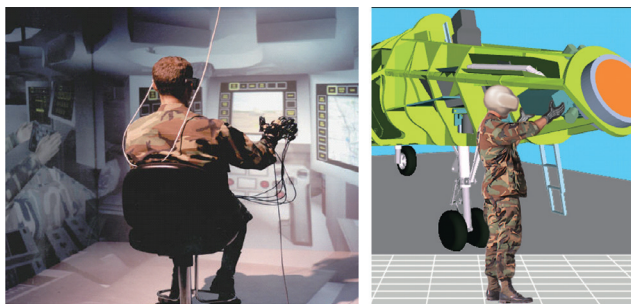


图6 基于虚拟现实的数字化虚拟仿真模拟
Fig.6 Digital virtual simulation based on virtual reality

据有关数据显示,虚拟装配技术的应用使波音、空客取得了显著的效益如空客典型部件装配周期缩短了 60%,装配工艺设计周期缩短了 30%~50%,装配成本减少了 20%~30%。波音公司在研制 X-32 机时,随着 X-32 装配工作的进展,工人们开始佩带一种挂在腰间的微型计算机,该机通过单目镜片,能把装配顺序和装配好的部件状态投射到正在装配部件的上方,让工人方便直观地进行装配工作,无需再细读图纸,翻阅工艺文件,使装配周期缩短 50%,成本降低 30%~40%。

3 结论

虚拟装配技术的出现和发展为复杂产品的优质、高效和可靠性装配提供了一条新的研究途径。该项技术已经成为数字化制造技术在制造业中研究和应用的典范,为飞机线缆装配研制提供了一种全新的实施途径。

针对虚拟现实技术未来的发展方向,目前需要发展的关键技术有以下 3 个方面:

(1) 虚拟环境模型构建技术: 通过研究解决模型数据接口问题、模型轻量化问题以及装配环境模型优化问题等,从而合理进行线缆虚拟装配环境的构建工作,使装配工艺顺序和路径得到有序的规划,进而缩短工作周期。

(2) 虚拟装配工艺规划技术: 虚拟装配工艺规划技术充分基于人的经验和感知,通过模拟真实装配过程,实现产品的装配顺序和路径规划,从而提高装配精度和装配可靠性,是一种提高装配现场现代化管理水平的有效手段。

(3) 现场可视化装配技术: 现场可视化装配是通过将装配过程仿真结果进行可视化处理,再将处理后的结果在车间/工作地输出;同时还将有关的工作内容以文字(超链接)的形式输出。利用可视化技术对仿真结果进行处理,可以脱离原来的仿真平台也可以看到有关的仿真结果,并且加入必要的文字技术使得仿真结果更容易理解和接受。

通过将以上技术应用于飞机线缆虚拟装配工作中,有助于飞机装配生产线建设,保证了调试效率及装配质量,从而缩短飞机装配周期,提高生产力,使我国飞机装配技术水平得到进一步的提升。

参考文献

- [1] 夏平均,姚英学. 虚拟装配的研究综述与分析 I. 哈尔滨工业大学学报, 2008(5):740-744.
- [2] 刘检华,姚璐,宁汝新. 虚拟装配工艺规划实现技术研究. 机械工程学报, 2004, 40(6):138-143.
- [3] 董士海. 人机交互的进展及面临的挑战. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004(1):1-13.

(责编 早春)

(上接第 33 页)

参考文献

- [1] 任军学,张定华,王增强,等. 整体叶盘数控加工技术研究. 航空学报, 2004, 25(2):205-208.
- [2] 张定华,张莹,吴宝海,等. 自适应加工技术在整体叶盘制造中的应用. 航空制造技术, 2008(13):51-55.
- [3] 史耀耀,段继豪,张军锋,等. 整体叶盘制造工艺技术综述. 航空制造技术, 2012(3):26-31.
- [4] 张莹. 叶片类零件自适应数控加工关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2011.
- [5] 王文理,袁士平. 自适应加工技术在数控加工领域的分类与应用. 航空制造技术, 2013(6):26-29.
- [6] GAO J, CHEN X, YILMAZ O, et al. An integrated adaptive repair solution for complex aerospace components through geometry reconstruction. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 36(11-12):1170-1179.

(责编 宇军)