

AR 技术在卫星线缆设计和装配中的应用综述

王升安, 杨海龙, 王凤彬, 张名毅, 梁小峰, 丁勤, 李帅

(航天东方红卫星有限公司, 北京 100094)

摘要: AR 技术通过显示设备将虚拟世界与现实环境相融合, 改进人机交互模式, 使用户能在虚实结合的新环境中进行交互; 将 AR 技术应用于卫星线缆的设计、装配和检验等环节, 可优化线缆的设计和布局, 提高线缆装配效率和质量, 节约产品研发成本和周期; 文章总结提出了卫星线缆对 AR 技术的应用需求, 分析了开展工程应用的关键技术, 对实现 AR 技术在卫星线缆研制和装配过程中的应用, 进行了有效的探索。

关键词: 增强现实; 卫星线缆; 虚拟装配

Application Summary of Augmented Reality Technology in Design and Assembly of Satellite Cable

Wang Sheng'an, Yang Hailong, Wang Fenbin, Zhang Mingyi, Lian Xiaofeng, Ding Qin, Li Shuai

(DFH Satellite Co., Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract: Augmented reality (AR) combines the virtual world with the real world through display devices, it improves the human-computer interaction model to enable users to interact in a new environment where the virtual and real are combined. The application of AR technology in the design, assembly and inspection of the satellite cable can optimize the design and layout of the cable, improve the efficiency and quality of the cable assembly, save the cost and period of product development. This paper summarizes the application demand of satellite cable to AR technology, analyzes the key technology of engineering application, explored the application of AR technology in the development and assembly of satellite cables.

Keywords: augmentation reality (AR); satellite cable; virtual assembly

0 引言

增强现实技术 (augmented reality, AR) 由虚拟现实技术发展而来^[1], 旨在利用佩戴式显示器及位置跟踪器, 实现虚拟场景与实际场景的融合, 营造出用户直接与虚拟场景对象进行交互活动的效果。

它的目的是通过计算机图形和图像处理技术实现真实场景与计算机生成的虚拟环境或虚拟物体的合成, 通过设备显示给用户一个虚实结合的新环境, 用户沉浸于一个虚拟环境和真实环境融合的世界, 增强了对目标环境的感知和交互。

航天领域的卫星具有多品种小批量的特点, 线缆组件在卫星产品中占有很大的比例, 随着卫星型号的发展, 精密化、轻量化等要求提高, 线缆在星上的应用将更加广泛。线缆在星上的作用是传输电流和型号, 是保证星上设备正常连接和工作的关键部件, 线缆同时还严重影响产品的研制周期和装配质量, 是卫星非常关键的部件之一。

卫星内部结构复杂、布线空间狭窄、零部件数目多, 星上线缆具有数量多、结构复杂、柔性装配等特点, 使得目前线缆设计复杂、线缆设计冗余长度过长导致资源和空

间浪费等问题, 卫星线缆布局如图 1 所示。另外目前星上布线装配工艺多为手工作业, 操作步骤繁复, 装配过程质量需严格管控, 通常要求“双人单岗”在现场进行装配作业, 作业质量与操作人员的工艺熟练程度和技艺水平密切相关, 为产品质量管控带来巨大挑战, 影响了卫星总装的装配效率。目前, 大部分线缆布线工艺说明以纸质文件为主, 可视化程度不高, 可理解性、指导性有待增强, 不利于经验知识的传承; 同时, 在生产过程中, 对布线工艺执行、检验信息记录及数据管理仍以文件记录为主, 容易造成疏漏, 信息难以检索, 数据可追溯性差。针对上述问题, 在卫星线缆设计和装配作业以及检测过程中, 需要引入比现有线缆设计、装配工艺、操作和检验更有效的 AR 技术, 提高线缆设计的有效性、装配工艺的指导性、装配过程的可控性、装配质量的可追溯性, 缩短装配技术人员上岗时间, 减少错误装配行为的产生, 提高并保障产品质量。

如图 1 所示为卫星线缆布局的透视三维图。当前星上线缆铺设、装配等过程均以人工方式实现, 操作步骤复杂, 通常以一人操作, 一人辅助的形式进行, 对执行人员的操作熟练程度有着较高的要求, 容错率较低, 且差错出现后的返工效率极低, 以上问题为星上线缆装配质量保证带来了巨大挑战。目前星上线缆安装的工艺指导文件以纸质文件为主要载体, 相对于三维显示, 二维的图纸存在着可视化程度低、不直观缺点, 容易造成歧义, 且对操作人员

收稿日期: 2019-04-17; 修回日期: 2019-07-19。

作者简介: 王升安(1986-), 男, 硕士生, 主要从事卫星总装工艺、总装数字化、虚拟装配等技术方向的研究。

的图纸阅读能力要求较高,同时存在着数据检索效率低、数据保存与可追溯性差等缺点。为解决以上问题,本文引入了AR技术辅助现场线缆装配过程,包括线缆设计、装配工艺设计、操作及检验,解决工艺指导文件的可读性差、数据索引效率低等问题,提高线缆装配的整体效率,降低误操作率及返工率,实现产品质量的提升。

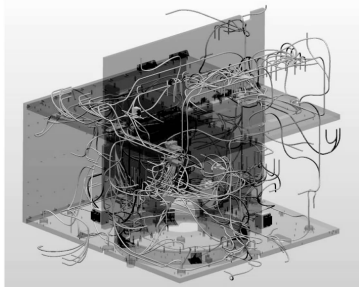


图1 卫星线缆

1 国内外研究现状

国外企业、高校对AR技术的理论及应用展开了大量研究,AR技术在现代化制造业中得到了众多应用。

20世纪末波音公司首先在飞机制造中应用了AR技术,用于舱体线缆安装,结合GoogleAR眼睛可以将线缆的路径走向与文字注释信息显示在现场操作人员视野中,实现了虚拟信息(待装部件信息)与现实世界(待装环境)的结合。此外,该公司后续又开发了基于AR的波音737引擎装配及故障检修系统,提高装配效率约20%,提高一次装配正确率约24%^[3]。日本信息通讯企业富士通将AR技术应用于设备的检查和维修,将输入文本提供给维修检测工人,实现了高效信息共享,工人可以轻松地判断设备工作正常与否。空客公司将AR技术运用在A400M军用运输机的装配过程中,基于CAD模型开发了AR智能装配引导系统MOON,用于电气线路辅助装配,缩短装配制造周期约50%,MOON系统的结构如图2所示。

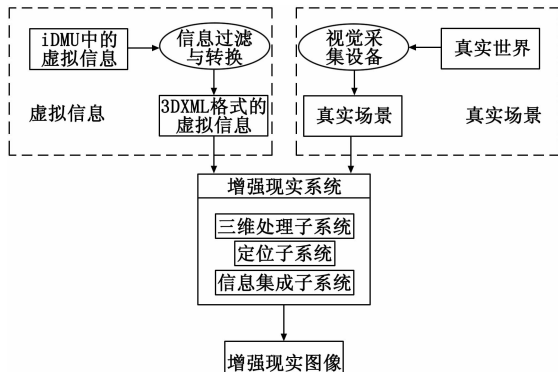


图2 MOON系统结构图

国内对于AR技术在工业领域中的应用研究起步较晚。华中科技大学王峻峰等人以增强现实环境下引导产品装配为目标,建立了面向增强装配过程的统一信息模型,采用基于标识物的视觉跟踪技术实现虚拟零件和视频中真实零



图3 MOON系统验证

件的注册定位。哈尔滨工业大学郝秀峰设计了基于AR眼镜的卫星装配增强诱导原理验证系统,开发了虚拟模型数据库、标识物定位和三维注册算法、虚实模型融合等功能。南京航空航天大学王发麟等人提出了基于AR的复杂机电产品线缆虚实融合装配方法,给出了线缆虚实融合装配的体系框架和系统运行流程,对线缆三维注册技术、线缆虚实遮挡技术以及相机标定与跟踪技术等关键技术进行了阐述。广东工业大学詹松涛设计了基于头戴式增强现实眼镜的辅助布线系统,研究了基于视觉跟踪算法的三维注册、基于SLAM技术的无标识跟踪和线束装配虚实场景中的交互设计技术。

本文总结提出卫星线缆装配过程面临的问题和虚拟增强技术应用与线缆装配的需求,剖析了开展AR技术应用于线缆装配的关键技术,为逐步建立卫星虚拟现实中心,实现AR技术在卫星线缆设计、装配和检验中的全面应用,进行了有效的技术探索。

2 卫星线缆设计和装配AR应用需求

卫星卫星的线缆在设计、装配等研制过程中涉及线缆的设计、仿真、线缆铺设装配、检验、数据追溯等多个环节,其中多项工作面临由于线缆的柔性导致的未知性,以及装配时序问题导致的无法开展物理验证的环节以及不可逆操作环节,需要借助AR技术可视化、虚实融合的特点,完善线缆的设计方案,加强验证分析能力、增强线缆装配能力和装配质量、培训操作人员的能力等任务。具体需求如下:

1) 卫星线缆的虚拟设计及验证。

传统的卫星线缆在设计环节,缺乏详细设计环境和和方法,线缆的路径无法完全确定,仅有大致走向,另外由于缺乏详细设计,而且由于生产进度原因,线缆的安装通常在卫星大量单机设备安装之前,所以线缆无法在真实环境下试装,为了避免后续安装问题,线缆通常留有较大余量,导致资源和空间的浪费,且线缆的布局、固定结构等设计不合理。

通过引入AR辅助卫星线缆的设计可以解决上述问题,使用AR将真实卫星和虚拟的单机设备融合为一个可视化、可操作的虚拟样机,设计师可在虚拟样机上开展线缆设计、调试、优化,校核等工作,可直观了解线缆及固定件等零部件的设计缺陷和不足,减少不必要的设计余量,降低研制周期和成本,

通过沉浸式 AR 技术可不受卫星其它单机研制周期的影响, 即使卫星设备未交付安装, 通过 AR 技术, 可将数字化三维模型与真实卫星本体融合为观察环境, 通过虚拟线缆的布局可观察线缆是否布局合理, 是否与大量单机设备发生干涉, 线缆在卫星上的布局直观、立体, 便于设计人员对线缆进行规划, 提高了设计和验证效率, 避免了后期的更改和资源成本浪费, 使得星上线缆设计和布局优化, 提高卫星质量。

2) 卫星线缆的虚拟装配。

随着卫星承担的功能与任务日趋复杂, 星上机电设备一体化程度不断提高, 电缆的走向与安装任务也随之难度提高。星上的有限空间对线缆走向的合理程度提出了更高的要求, 因此, 卫星线缆装配时一项尤其重要的工作。

卫星线缆结构复杂、分支多, 在铺设安装过程中, 操作人员在线缆铺设安装前需要浏览卫星线缆走向三维模型确定线缆的走向及绑扎固定点, 再将线缆铺设到卫星真实结构上, 整个铺设安装过程需要多次比对线缆铺设安装是否与卫星线缆走向三维模型一致, 整个操作过程需要操作人员有丰富线缆铺设经验和视图能力。同时卫星线缆走向三维模型无法精确的反应线缆的直径和弯曲半径等特征值, 依照卫星线缆走向三维模型铺设安装线缆时可能会发生线缆与卫星单机设备或零部件发生干涉、安全安装距离过小、线缆电连接器与设备电连接器插接拔离空间不足、线缆铺设路径被遮挡等问题。

国外企业在现代化制造业中已广泛应用了 AR 技术, 并有效的解决了上述线缆铺设安装的问题。将计算机产生的虚拟信息通过 AR 技术和真实的卫星结构无缝融合, 创建卫星线缆增强现实模型, 在增强现实环境中设置卫星线缆布线引导信息, 实现对卫星线缆布线操作的精准引导, 提高卫星线缆的布线效率, 避免线缆布线过程中出现的布线不符合要求的现象。同时在卫星线缆设计初期可以在虚拟的布线过程中对线缆布线设计的合理性进行验证, 对布线过程进行模拟验证, 提前暴露布线过程中存在的问题, 减少布线操作过程中的风险, 缩短卫星的研制周期, 提高卫星线缆布线效率。

3) 卫星线缆的装配检验。

由于卫星线缆非常多, 走向复杂, 插拔接口多, 传统的卫星线缆检验环节复杂, 检验周期长、效率低, 另外在生产过程中, 对布线工艺执行、检验信息记录及数据管理仍以文件记录为主, 容易造成疏漏, 信息难以检索, 数据可追溯性差等问题。

通过使用 AR 技术, 搭建装配质量检验系统硬件平台, 设定人机交互逻辑, 通过打印实体测试模型进行摄像机位姿参数标定, 基于计算机视觉技术, 对实时采集的装配现场图像进行预处理和检测特征处理, 将待检测的图形特征描述输入识别模块, 获得检测结果, 实现电连接器插拔完整性检测、设备安装方向检测、设备安装完整性检测等功能, 能够检验判断单机设备安装、电缆铺设、电连接器插

接的正确性和有效性。当单机设备安装错误时, 能够提示错误位置及原因, 指导修改, 提高线缆装配的检验效率和正确性。

4) 卫星线缆装配的过程记录和追溯。

传统的卫星线缆通常在实物上进行布线和调整, 大部分电缆布线工艺说明以纸质文件为主, 可视化程度不高, 可理解性、指导性有待增强, 不利于经验知识的传承。

通过 AR 技术, 可对交互过程记录及源头进行追溯, AR 技术的视频及图像记录功能自动随工序记录操作影像并存储。考虑外部读取视频的直观性, 可修改拍照记录内容为文字+图像模式, 以文件形式保留的装配过程和结果追溯性强, 查看方便直接, 设计和布局经验也可积累传承。

5) 交互式虚拟培训和维修。

AR 技术将虚拟与现实场景进行融合, 充分发挥了三维空间的可视化优势, 将该技术应用在操作人员培训及演练中, 可为被培训人员提供一种直观效果, 提高信息传递的效率与准确性, 最大程度的避免操作失误的发生。另外, AR 技术还可应用于卫星线缆维修中, 避免直接操作对设备和线缆造成损害缩短维修成本和周期。

3 关键技术及实现途径

AR 技术利用计算机视觉技术、计算机图形学技术、人机交互技术等一系列先进的技术将计算机产生的虚拟信息与真实的物理环境实时精准叠加, 叠加融合过程如图 4 所示。用户可以通过人机交互系统与增强现实模型进行交互, 从而完成卫星线缆的布线设计验证、布线操作及布线结果的检验。增强现实辅助布线系统如图 5 所示。AR 技术应用于卫星线缆设计、装配和检验包括以下几个关键技术。

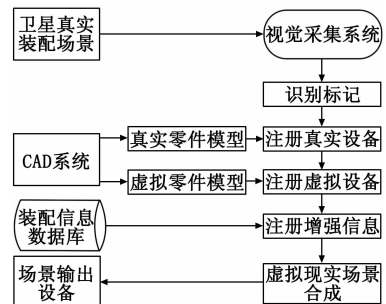


图 4 物理世界和虚拟对象匹配和融合

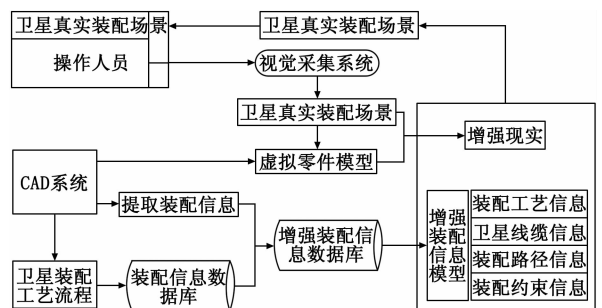


图 5 增强现实辅助布线系统