

飞机装配作业AR智能引导技术 探索与实践*

唐健钧¹, 叶波¹, 耿俊浩²

(1. 航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092;

2. 西北工业大学机电学院, 西安 710072)

[摘要] 为解决增强现实应用系统在通用性、一体化方面的不适应性, 以满足飞机装配中的实际应用需求, 提出一种新的飞机装配作业 AR 智能引导系统。首先, 开展了基于动态操作描述的通用化 AR 装配指令和基于连续作业状态的一体化操作引导两项关键技术研究; 其次, 构建了面向飞机装配作业的 AR 智能引导系统; 最后, 该系统在实验室环境中, 进行了飞机液压系统管路装配应用实践。初步实现了在液压管路装配过程的实时引导和装配结果的智能检查。

关键词: 飞机装配; 增强现实技术; 智能引导系统; 智能检查; 液压管路

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.08.022



唐健钧

博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为飞机系统装配技术、数字化车间技术。

飞机具有产品结构复杂、零件数量巨大、协调关系繁多等特点, 因此其装配作业难度大、操作复杂高、作业流程漫长。随着数字控制、数字化测量等技术的应用, 飞机装配作业在大部件对接等部分装配阶段逐渐实现了较为自动化、智能化的作业, 提升了装配效率和质量, 但是在大部分装配阶段人工装配作业仍然占据了主要地位。飞机装配作业特点要求作业人员需要记忆大量操作指令, 熟悉复杂漫长的操作步骤和动作, 掌握大量的装配操作技巧, 对装配作业人员的经验和综合素养要求非常高, 也间接导致了人工装配作业效率不高、装配质量有波动等问题。

为辅助飞机装配作业人员提升装配效率和质量, 三维装配指令、电子工作指令、现场可视化等方法和技术手段目前已经逐步应用于飞机装配现场, 为装配作业人员提供可

视化、可交互的作业过程描述, 对提高装配效率和质量起到了一定的作用。但是, 上述技术主要提供虚拟化的装配作业技术要求、过程描述或者视频、三维动画等信息, 无法与真实作业环境融合, 使得作业人员仍需要频繁在虚拟环境和真实环境之间进行视觉和思维转换, 虽然增强了对装配作业的理解效率和准确度, 但是不能够基于真实装配环境提供“所见即所操作”的实时智能引导, 也无法提供装配结果校验等功能, 尚不能直接辅助提升装配作业的规范性、准确性, 从而直接提升装配作业效率和质量。同时, 随着产品研制频率和装配质量要求的增加, 装配效率和质量提升与人工装配作业之间的矛盾也越来越突出, 现有的装配指令可视化技术已经无法满足当前的迫切需求^[1]。

因此, 在飞机装配作业阶段迫切需要一种能够捕捉真实的物理装配

* 基金项目: 四川省智能制造项目: 飞机移动式总装智能生产线。

环境,并能够与之进行交互的装配智能引导技术,从而提高飞机装配作业引导的一致性、实时性和代入感,进一步提高人工装配效率和质量。随着增强现实(Augmented Reality, AR)技术的快速发展,其虚实结合、增强现实、实时交互等特性为探索飞机人工装配作业智能引导技术带来了契机,在飞机装配方面的研究显现出极大的应用潜力^[2-4]。

AR 技术及其在飞机装配中的应用现状

1 AR 技术及其特点

AR 技术是一种将虚拟信息叠加于所看到的真实世界从而实现真实世界“增强”的技术。AR 原理性技术的研究,最早可追溯至美国麻省理工学院 1968 年研制出的光学透明头戴式显示器。20 世纪 90 年代,波音公司在设计飞机线缆连接与装配辅助系统时,使用了 AR 这个特定称谓。目前,AR 技术发展迅速,逐步从实验室走向工程应用。

目前 AR 有两种得到较为广泛认可的定义。一种是源自于 Paul Milgram 和 Fumio Kishino 在 1994 年提出的“现实-虚拟连续系统”的概念。他们认为在“现实-虚拟连续系统”中靠近真实环境一端,且能够通过虚拟信息而得到“增强”的真

实环境的技术为增强现实技术。第 2 种是 R.T. Azuma 于 1997 年提出的增强现实 3 个特性:虚拟与现实融合、实时交互、三维空间注册。这虽然不是一个定义,但是刻画了增强现实的基本特征。

一般情况下,AR 系统由 4 个模块组成:跟踪模块、注册模块、可视化模块和空间模型。空间模型包括现实信息和虚拟信息。现实信息是跟踪模块的参考基准,用来确定用户在物理环境中的位置。虚拟信息由用户希望增强现实世界的虚拟信息构成。现实信息和虚拟信息需要通过注册模块在同一坐标系统中关联起来并通过可视化模块呈现于用户视场中。通过上述系统组成(图 1),AR 用户观察 AR 显示信息并控制视点,而系统则跟踪用户视点,将虚拟信息注册到现实世界中,并以可视化的方式进行定位展示,从而构成了人机之间的反馈闭环^[5]。

2 飞机装配中 AR 应用现状

AR 技术在工程行业的应用起源于飞机装配。因此航空制造业目前也是应用 AR 技术较多的工程领域之一。目前,AR 技术在飞机装配领域的应用主要集中在装配技能培训、现场装配指导、装配结果检查等方面^[6-9]。

AR 技术能够真实再现物理生产

环境,可以最大程度提高技术人员培训时的真实体验感,从而提高对飞机装配作业过程及其装配指令的理解程度以及接受程度。日本航空应用 AR 设备训练员工,通过模拟飞机大型喷气发动机 3D 互动模型让员工迅速掌握结构知识和维护技能,涉及工种包括飞机设备维护和飞行员,能够训练员工更全面地了解飞机设施,提高工作效率。

AR 技术通过捕捉现场装配环境,并将虚拟操作信息和指令融合于真实环境,能够引导装配人员准确、快速地完成相应操作。空客利用 Arvika 系统和“MOON”(Assembly Oriented Authoring Augmented Reality)系统辅助操作工人完成高密度布线工作,提升首次安装速度。美国洛马公司使用基于智能眼镜的 AR 平台加速 F-22 和 F-35 的维修过程,检测员能够通过眼镜看到投影于战斗机上的零件编号和计划,在飞机旁边就可以记录要修理的区域,减少操作错误。

AR 也可以用于装配结果的检查。比如在空客 A350、A380 和 A400M 生产线上,使用一种“智能增强现实工具”(SART)辅助对超过 6 万个管线定位托架的安装质量进行管理。操作人员利用 SART 访问飞机 3D 模型并将操作和安装结果与原始数字设计进行对比,以检查是否有缺失、错误定位或托架损坏,使 A380 机身 8 万个托架的检查时间从 3 周减少到了 3 天。

从上述应用现状可以看出,在飞机装配中以人工作业为主的环节,AR 技术可以发挥积极的作用。但从应用情况来看,虽然大部分航空企业都对其进行了技术研究,但其应用均处于初步探索阶段,其应用对象局限于特定典型部件,应用范围分散于引导、检查等不同阶段。因此,AR 技术要在飞机装配作业中逐步发挥作用,还需要在通用性、一体化等方面

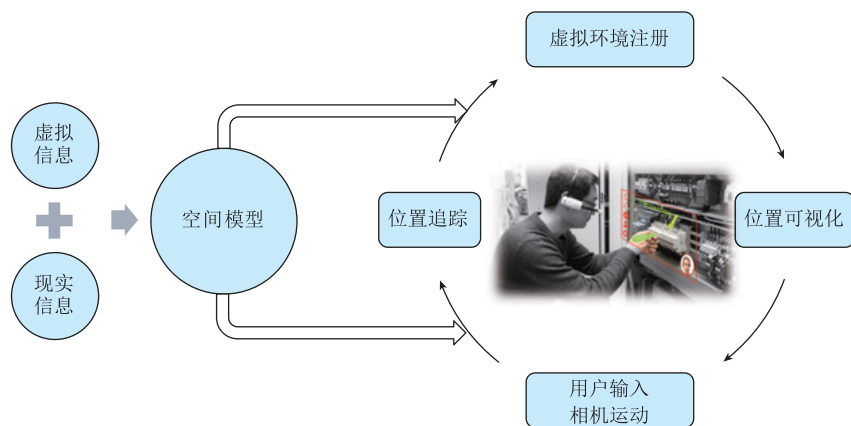


图1 AR系统构成及闭环处理逻辑

Fig.1 Structure of AR system and closed-loop processing logic

进行探索、设计和应用实践,从而形成一条 AR 技术在飞机装配作业中能够有效发挥作用的技术路线。

飞机装配作业 AR 智能引导技术研究与设计

1 飞机装配作业 AR 智能引导系统关键技术

AR 基础技术涉及 AR 处理软件(如 AR 计算机视觉处理库、三维可视化环境等)以及 AR 智能设备(AR 眼镜等),其发展相对独立且成熟。对于飞机装配应用来讲,主要工作是基于 AR 基础软硬件,进行符合自身特点的智能引导系统的设计与开发。从上述应用现状和应用需求分析可以看出,目前基于 AR 的飞机装配作业智能引导系统在通用性、一体化等方面尚未取得有效进展。因此,本文

将集中在这两个方面进行分析和探索,其关键技术有两个方面(图 2):基于动态操作描述的通用化 AR 装配指令和基于连续作业状态的一体化操作引导。

飞机装配作业 AR 智能引导系统之所以通用性不足,其主要原因是缺乏一种能够动态描述不同零部件、不同装配作业,能够加载不同资源的通用性 AR 装配指令。由于飞机装配作业对象多变、工艺复杂、场景不一、过程漫长,并且需要加载文字、图片、视频、三维数模等多种类型的引导资源,所以目前将操作描述、操作场景和引导资源固化于应用中的方式不能满足复杂多变的装配作业要求,需要设计一种能够可以动态编制的 AR 装配指令格式,其能够详细描述任意装配作业操作、不同的操作场

景以及相对应的引导资源,从而使引导程序能够适应任意零部件的装配作业。

飞机装配作业 AR 智能引导系统的一体化程度不足主要体现在装配作业引导过程的不连续方面。装配作业引导过程主要关注装配操作引导和装配结果检查。但是目前的飞机装配作业 AR 智能引导系统将装配操作引导和装配结果检查割裂为两个阶段,难以在装配作业引导过程中将其贯穿起来进行连续引导,所以需要基于装配操作引导和装配结果检查之间的内在逻辑关联关系,设计一种控制机制能够在装配作业过程中将两者自然的连续融合,形成一体化的作业过程,从而使飞机装配作业 AR 智能引导系统的应用效率和便利性得到有效提升。

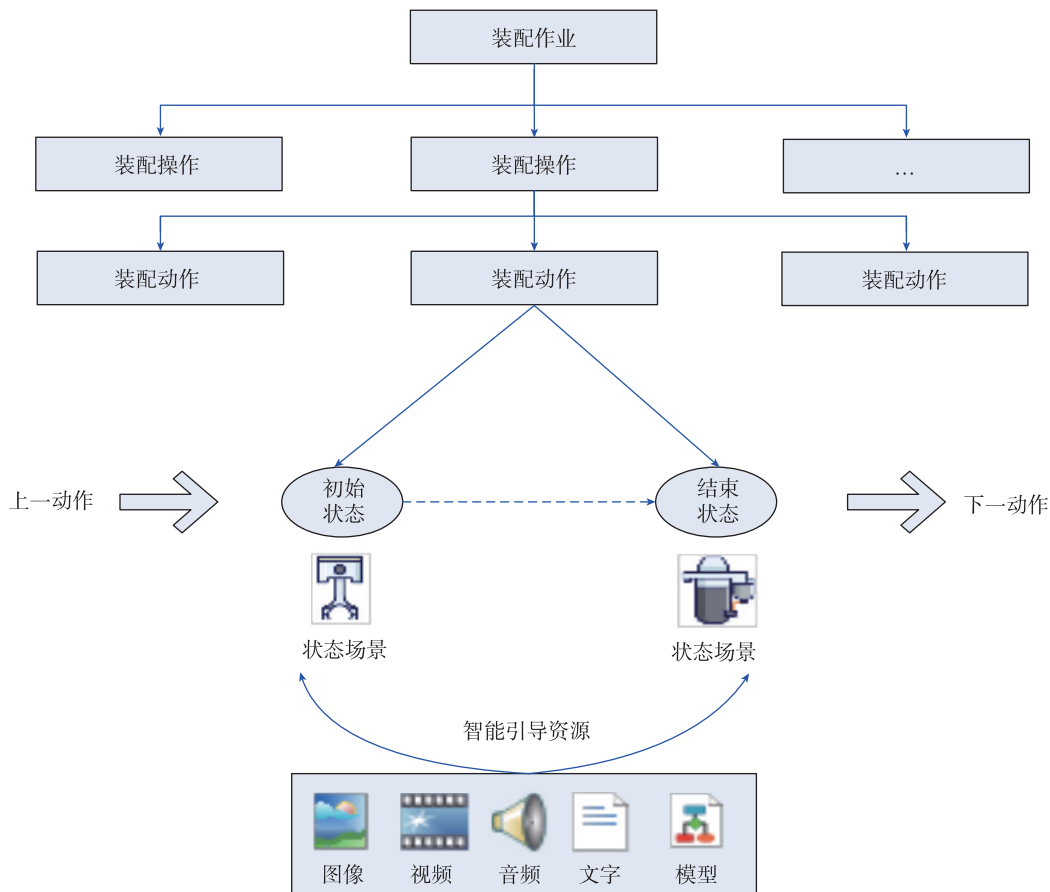


图2 飞机装配作业AR智能引导关键技术

Fig.2 Key technology of AR intelligent pilot for aircraft assembly operation

基于上述分析,本文构建了基于AR装配指令的一体化飞机装配作业引导技术框架。基本原理是利用基于XML格式的动态AR装配指令,对装配作业过程进行结构化描述。该AR装配指令可以描述装配作业操作、操作对应的场景以及该场景所需要的引导资源,并将作业之间的顺序、场景的识别要求以及资源的加载方式等进行结构化描述。基于AR装配指令,将装配作业过程分解为作业、操作、动作3个层次,然后将动作的初始和结束阶段定义为两个状态:初始状态和结束状态。基于初始状态的场景进行判断,对下一步操作进行可视化、智能化引导。当本动作结束时,再基于结束状态的场景判断装配结果是否正确,如果正确则进入下一个动作的初始状态,从而将整个装配作业过程自然关联起来,形成连续的不间断的装配引导。通过上述技术方式,可以实现对任意零部件装配作业过程进行一体化、连续的智能引导。

2 飞机装配作业AR智能引导系统设计

基于上述关键技术进行系统设计,形成面向飞机装配作业的AR智能引导系统,本系统能够以可视化方式定制AR装配指令,将AR装配指令发布到AR眼镜,可以在生产现场通过识别现场场景智能给出作业过程中的操作引导信息,并能够判断装配结果是否正确,实现完整、连续的装配作业引导,并与其他信息系统进行集成,辅助飞机装配作业人员高效、优质完成现场装配作业任务。考虑到目前AR识别技术以特定场景识别为主且可视场角有限,本系统主要用于飞机中小型刚性部件的装配过程引导和装配结果检查。

系统主要模块包括AR指令管理模块、AR智能引导框架、AR智能引导模块,系统管理模块、任务管理模块、知识库管理模块,以及相应的集成接口(图3)。其主要功能包括接收产品数模、编制AR指令、加载AR指令、操作过程引导、装配结果

检查等。从逻辑设计结构上来看,按功能职责不同,系统可分为数据存储层、数据访问层、业务处理层、界面交互层和系统集成层(图4)。系统数据存储在服务端,由文件仓库(指令文件包、作业记录文件)和数据库(安全数据、任务数据、配置数据)组成,在AR眼镜/智能手机端由指令文件和作业记录文件组成。系统集成关系包含与三维环境的集成、与产品数模的集成、与硬件的集成等几个方面。

本系统基于Unity、C#进行开发,能够兼容国内主流AR眼镜,可以支持CATIA、NX等数模。AR眼镜要求800像素摄像头、双目显示、视场角30°以上,但是需要拆除无线模块,如果是分体式的话,使用效果更好。

实践应用

成飞联合西北工业大学智能制造研究所对飞机装配作业AR智能引导技术进行了上述探索、系统设计

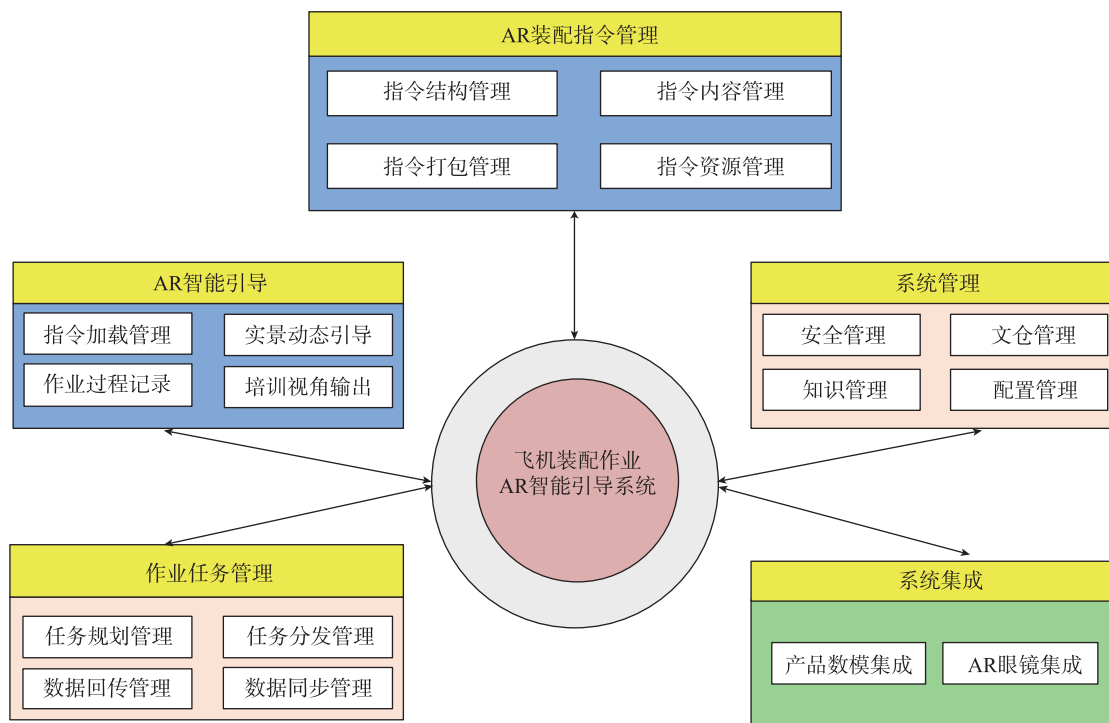


图3 飞机装配作业AR智能引导系统模块

Fig.3 Module of AR intelligent pilot for aircraft assembly operation

和实现,构建了飞机装配作业 AR 智能引导系统(Aircraft Assembly AR Intelligent Pilot System, A³-IPS)(图 5),并选择液压导管部件装配过程进行了应用实践,其基本工作流程如下:(1)准备液压导管部件及其工装

的数模和需要进行识别的装配场景;(2)将工作过程编制为 AR 指令并配置好相应的动态引导资源;(3)将指令和资源导入 AR 眼镜;(4)在现场使用 AR 眼镜进行实时引导并对装配结果进行校验。实现了对液压

导管装配过程的实时引导和装配结果的智能检查(图 6~9)。

结论

本文设计的 AR 智能引导系统在飞机液压系统管路装配场景中进

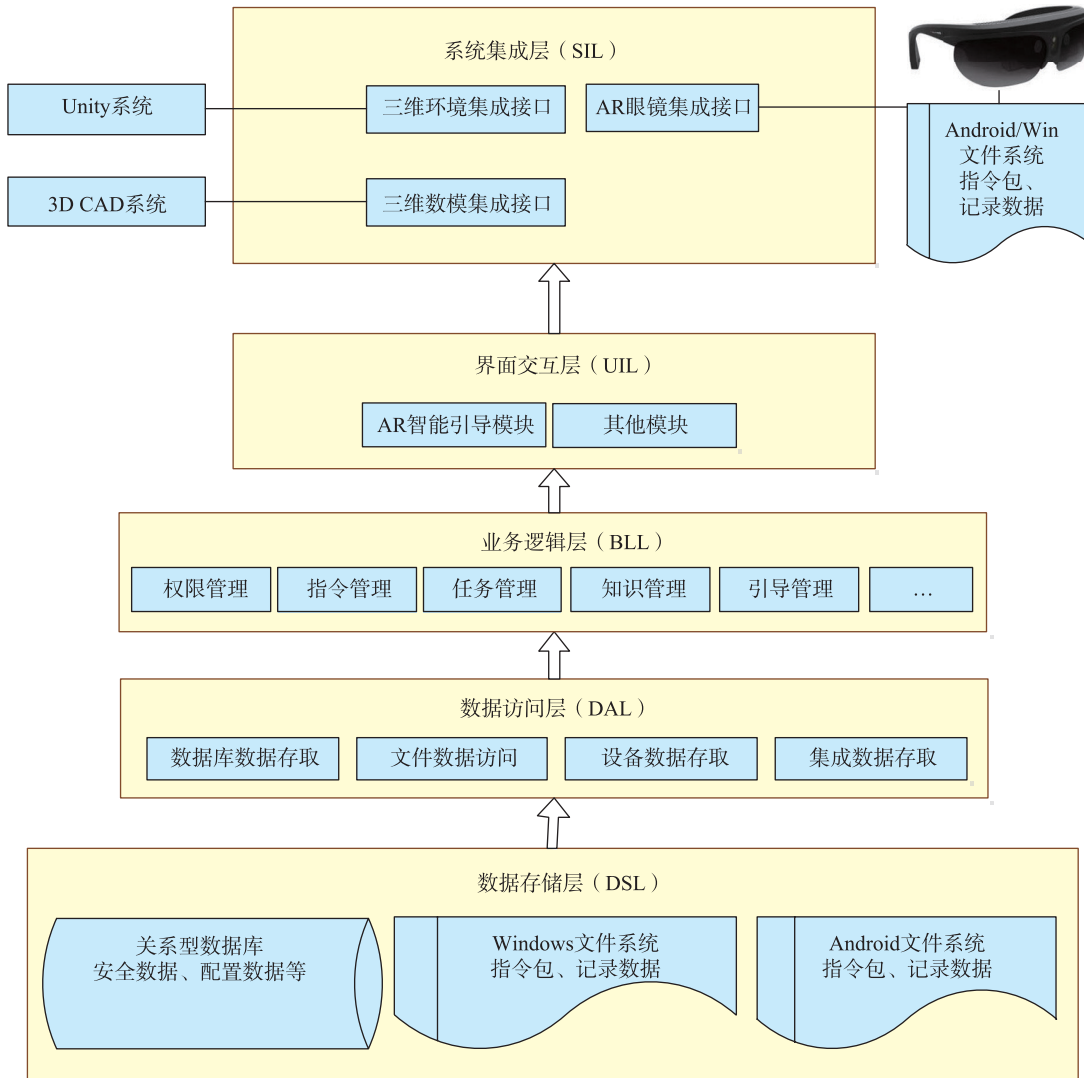


图4 飞机装配作业AR智能引导系统框架

Fig.4 Architecture of AR intelligent pilot for aircraft assembly operation

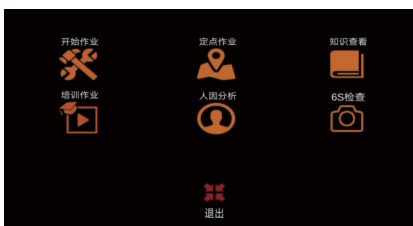


图5 A³-IPS主功能

Fig.5 Main function of A³-IPS

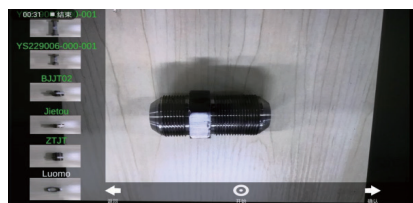


图6 待装零部件确认

Fig.6 Confirming the parts to be assembled



图7 零件上机前装配操作智能引导

Fig.7 Intelligent pilot for part before assembly operation



图8 零件机上装配操作智能引导
Fig.8 Intelligent pilot for part assembly operation



图9 装配结果智能检查
Fig.9 Intelligent inspection for assembly result of the part

行了验证,结果表明:该系统在AR飞机装配应用中能够实现通用化地描述动态装配指令,并实现一体化地连续作业操作引导。

随着AR技术的发展,A³-IPS将会逐步集成激光投影、动作捕捉、非接触式扫描与成像等技术,实现对显示的物理增强,并通过算法优

化实现更加精准和智能的识别与实时处理。

参考文献

- [1] 帅朝林,陈雪梅,邱世广. 虚拟现实技术在航空智能制造中的应用思考与展望[J]. 航空制造技术, 2016, 59(16): 26-33.
- [2] SHUAI Chaolin, CHEN Xuemei, QIU Shiguang. Thinking and prospect of virtual reality application in aerospace intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(16): 26-33.
- [3] REINHART G, PATRON C. Integrating augmented reality in the assembly domain—fundamentals, benefits and applications[J]. CIRP Annals, 2003, 52: 5-8.
- [4] WANG X, ONG S K, NEE A Y C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research[J]. Advances in Manufacturing, 2016, 4(1): 1-22.
- [5] ZHOU F, DUH H L, BILLINGHURST, M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: a review of ten years of ISMAR[C]//Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Cambridge, 2018.
- [6] TABRIZI A, SANGUINETTI P, KHOSROWPOUR M. Encyclopedia of information science and technology[M]. New

Orleans: Information Resources Management Association, 2018.

[6] 张秋月, 安鲁陵. 虚拟现实和增强现实技术在飞机装配中的应用[J]. 航空制造技术, 2017, 60(11): 40-45.

ZHANG Qiuyue, AN Luling. Application of virtual reality and augmented reality in aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(11): 40-45.

[7] HAN P F, ZHAO G. Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly[J]. The Visual Computer, 2017, 33(9): 1185-1196.

[8] 赵新灿, 左洪福, 徐兴民. 增强现实维修诱导系统关键技术研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(6): 678-682.

ZHAO Xincan, ZUO Hongfu, XU Xingmin. Research on key techniques of augmented reality maintenance guiding system[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(6): 678-682.

[9] LI S Q, PENG T, WANG J F. Mixed reality-based interactive technology for aircraft cabin assembly[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 3: 403-409.

通讯作者: 耿俊浩, 工学博士, 副教授, 研究方向为飞机数字化装配、数字化制造与智能制造、工艺创新方法与系统, E-mail: gengjunhao@nwpu.edu.cn.

Exploration and Practice of Aircraft Assembly AR Intelligent Pilot Technology

TANG Jianjun¹, YE Bo¹, GENG Junhao²

(1. AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China;

2. School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

[ABSTRACT] In order to solve the inadaptability of Augmented Reality (AR) application system in universality and integration, and meet the practical requirements of aircraft assembly, this paper presents a new Aircraft Assembly AR Intelligent Pilot System (A³-IPSAR). Firstly, two key technologies, universal AR assembly instructions based on dynamic operation description and integrated operation pilot based on continuous operation state, are studied. Secondly, an AR intelligent pilot system is constructed for aircraft assembly operation. Finally, the system is applied to pipeline assembly of aircraft hydraulic system in laboratory environment. It is preliminarily realized that the real-time pilot and intelligent inspection applied in the assembly process of hydraulic pipelines are feasible.

Keywords: Aircraft assembly; Augmented reality technology; Intelligent pilot system; Intelligent inspection; Hydraulic pipeline

(责编 海山)