

基于AR技术的某型初教飞机起落架设计及装配方法研究

李 帅,杨 浩,李学伟
(中国人民解放军空军航空大学93313部队,吉林 长春 130000)

摘 要: 针对传统起落架设计周期长、过程繁琐的问题,采用增强现实(AR)技术设计与装配飞机起落架。首先,提取某型初教飞机起落架参数,考虑到起落架尺寸误差,引入最小二乘定位算法优化误差,从而构建起落架设计模型;其次,根据建模参数构建飞机起落架虚拟装配场景,并完成装配与检修;最后,进行飞机起落架扭力臂仿真测试。在扭力臂加速曲线的比较中,与优化前相比,优化后的前扭力臂稳定性提升了28.65%。在扭力臂动能曲线的比较中,优化后上下扭力臂动能均明显降低,优化后的上扭力臂动能降低了5.65%。在中轴旋转副标记点受力分析中,优化后该点受力下降到-42.6 N,确保了飞机起落架的安全。所研究内容将为飞机起落架的研发与维护提供一定技术参考。

关键词: AR技术, 某型初教飞机, 起落架, 装配

中图分类号:TP393 文献标识码:A DOI:10.19769/j.zdhy.2024.14.061

Research on Landing Gear Design and Assembly Method for Elementary Education Aircraft Based on AR Technology
LI Shuai, YANG Hao, LI Xuewei
(Chinese People's Liberation Army Air Force Aviation University Unit 93313, Changchun, Jilin 130000, China)

Abstract: In response to the problems of long design cycles and cumbersome processes in traditional landing gear design, augmented reality (AR) technology is adopted to design and assemble aircraft landing gear. Firstly, extract the landing gear parameters of a certain type of novice aircraft, take into account the size error of the landing gear, introduce the least squares positioning algorithm to optimize the error, and thus construct a landing gear design model. Secondly, construct a virtual assembly scene for aircraft landing gear based on modeling parameters, and complete assembly and maintenance. Finally, conduct simulation testing of the aircraft landing gear torsion arm. In the comparison of torque arm acceleration curves, compared with before optimization, the stability of the optimized front torque arm has been improved by 28.65%. In the comparison of the kinetic energy curves of the torsion arms, the optimized kinetic energy of both the upper and lower torsion arms decreased significantly, with the optimized kinetic energy of the upper torsion arm reduced by 5.65%. In the force analysis of the central axis rotation pair marking point, the optimized force at this point decreased to -42.6 N, ensuring the safety of the aircraft landing gear. The research content will provide certain technical references for the development and maintenance of aircraft landing gear.

Key words: AR technology, elementary education aircraft, landing gear, assembly

0 引言

增强现实(Augmented Reality, AR)技术是一种将虚拟信息与真实世界相互融合的一种先进视觉技术。它基于计算机系统对真实环境进行感知、理解和跟踪,利用虚拟信息叠加到真实环境中,最终使得使用者能在感官上与真实的世界进行无缝衔接,并获得贴近真实的感官体验^[1-2]。AR技术目前被广泛应用于医疗、教育、娱乐、军事、工业设计等领域^[3]。传统的飞机起落架研发主要通过人工并辅助工业设计软件完成相关设计与装配工作,周期长且装配过程复杂,整个过程需要众多人共同参与^[4]。为解决上述问题,研究将AR技术应用于某型初教飞机起落架设计与装配过程。在研发过程中,通过AR技术,设计师可在虚拟环境中模拟飞机起落架的装配过程,提前发现并解决可能出现的问题,从而为飞机起落架的设计与后续的装配提供关键性的指导意见。研究的创新点主要包括2个方面:(1)利用AR技术实现飞机起落架的虚拟设计和模拟装配;(2)通过AR技术提供实时的装配指导,提高装配效率和质

计等领域^[3]。传统的飞机起落架研发主要通过人工并辅助工业设计软件完成相关设计与装配工作,周期长且装配过程复杂,整个过程需要众多人共同参与^[4]。为解决上述问题,研究将AR技术应用于某型初教飞机起落架设计与装配过程。在研发过程中,通过AR技术,设计师可在虚拟环境中模拟飞机起落架的装配过程,提前发现并解决可能出现的问题,从而为飞机起落架的设计与后续的装配提供关键性的指导意见。研究的创新点主要包括2个方面:(1)利用AR技术实现飞机起落架的虚拟设计和模拟装配;(2)通过AR技术提供实时的装配指导,提高装配效率和质

作者简介: 李帅,男,1991年生,助理工程师,研究方向为飞机、发动机及其维修。

量。该研究的贡献包括2点:(1)研究内容为飞机起落架的设计和装配提供了一种新的方法和工具,可大大提高设计和装配的效率和质量;(2)研究内容也可以为AR在飞机制造领域的应用提供新的实践案例,有利于推动AR技术在更多领域的应用和发展。

1 基于增强现实的某型初教飞机起落架设计与装配

1.1 某型初教飞机起落架设计建模

飞机起落架是一个飞机安全平稳起飞并着地的关键性部件,其在设计之初,需考虑飞机起飞及降落所受到的一切作用力,其中,包括飞机本身的质量及飞机运动过程的各种阻力。在实际设计过程中,飞机起落架需考虑飞机的功能用途、飞机运行高度以及自然环境等条件因素^[5]。因此,采用虚拟增强技术对某型初教飞机起落架设计建模。其中,某型初教飞机起落架采用简单前三点式结构,因此,通过unity3D软件建模某型初教飞机,其结构三维建模如图1所示^[6]。

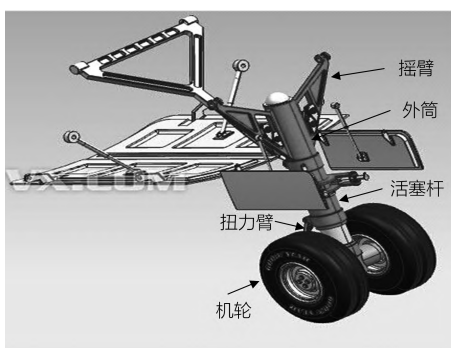


图1 某型初教飞机起落架结构建模

某型初教飞机起落架采用前三点式结构,其包含收放系统、刹车系统、缓冲系统、转弯系统。某型初教飞机的起落架前轮区域设置有专门的减振器,利用冷气系统来控制前轮的收放。在实际的建模工作中,需精准测量飞机起落架各部件尺寸。但在实际零件尺寸测量中难免会出现误差,给后续的飞机起落架的设计造成影响^[7]。因此,研究中引入最小二乘定位算法优化尺寸误差,利用最小二乘定位算法确定起落架各部件尺寸范围。首先,将现场测量的尺寸数据表示为向量值 d ,其中, d_i 表示第 i 个测量尺寸的值。为更有效地表示起落架尺寸的定位误差^[8]。假设估计的起落架尺寸为向量 x ,其中, x_i 表示第 i 个起落架尺寸的真实值, \tilde{x}_i 表示估计值。研究可将定位误差表示为向量 ε ,其中, ε_i 表示第 i 个起落架尺寸的定位误差,则定位误差表达式为:

$$\varepsilon_i = x_i - \tilde{x}_i \quad (1)$$

为确定起落架尺寸的定位误差范围,研究需要最小化定位误差的平方和。其中,最小二乘定位法的目标是找到一个使得平方和最小的估计值向量 \tilde{x} ,其描述公式为:

$$\min_{\tilde{x}} \|A\tilde{x} - d\|_2^2 \quad (2)$$

式中: A 为一个转移矩阵,描述了起落架尺寸和测量值之间的关系。该问题可通过正规方程来进行最优求解,其公式为:

$$A^T A \tilde{x} = A^T d \quad (3)$$

求解正规方程的最优解,可得:

$$\tilde{x} = (A^T A)^{-1} A^T d \quad (4)$$

通过式(1)一式(4)便可估计值向量 \tilde{x} ,从而确定起落架尺寸的定位误差范围。其中,误差范围可利用估计值向量 \tilde{x} 与真实值向量 x 比较得到。为进一步分析起落架尺寸的定位误差范围,该研究可计算估计值向量 \tilde{x} 的协方差矩阵^[9]。协方差矩阵表示估计值向量中各起落架尺寸估计值之间的相关性。协方差矩阵表达式为:

$$C = (A^T A)^{-1} \quad (5)$$

协方差矩阵中的对角线元素表示各起落架尺寸估计值的方差,而非对角线元素表示不同起落架尺寸估计值之间的相关性。对于第 i 个起落架尺寸,其定位误差范围可表示为一个置信区间,即 $\tilde{x}_i \pm k\sigma_i$,其中, σ_i 表示第 i 个起落架尺寸估计值的标准差, k 表示置信水平。该研究可根据估计值向量 \tilde{x} 和协方差矩阵 C ,计算起落架尺寸的定位误差范围,最后将更精准的数据通过unity3D软件导入到3DMAX进行VR场景构建^[10]。在实际三维模型构建中,利用Polygon Cruncher软件可优化系统数据,解决三维建模迟缓问题。此外,为更真实模拟实际场景,避免画面出现失重现象,模型构建中建立了Terrain,以优化第一人称观感。最终飞机起落架设计建模流程如图2所示。

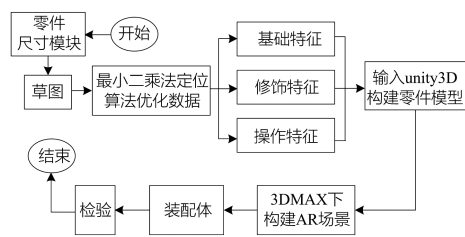


图2 飞机起落架设计建模流程

1.2 某型初教飞机起落架装配建模

在飞机起落架设计建模的基础上,通过3DMAX进一步构建及渲染虚拟装配场景。为确保飞机起落架装配能准确有效地模拟真实场景,将精准配置设计建模的数据,并同时开展实时渲染。通过渲染实时调整AR交互场景,确保画面与真实场景一致,再通过AR建模场景工具添加飞机起落架关键零部件,通过系统下的布尔、倒角等指令完成对飞机起落架装配的精细化加工^[11]。

整个AR建模场景采用的3DMAX平台可实现模型构建,在实际的虚拟装配场景中,单一的3DMAX渲染并不能完全满足于用户的真实装配场景,在实际的渲染中,还增加了V-ray软件进行辅助渲染,以更逼真地还原某型初

教飞机起落架装配场景。在装配或维修飞机起落架零件时,利用最小二乘定位算法可获得每个零件装配的误差范围。若在实际的装配过程中,起落架机轮与轴承间的连接并不满足定位误差范围,则可以利用对齐、布尔、倒角等指令工具来加工场景。完成飞机起落架各零部件的组装以后,便可通过渲染得到飞机起落架的真实渲染装配建模。飞机起落架 AR 装配流程图如图 3 所示。

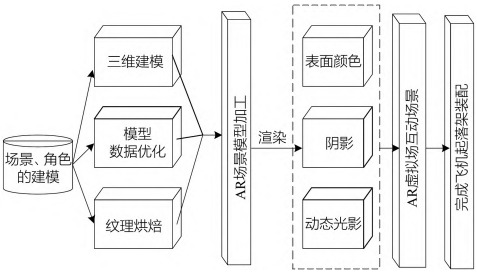


图 3 飞机起落架 AR 装配流程图

完成某型初教飞机起落架的 AR 场景建模后,还需要对装配的某型初教起落架进行故障排查,检验起落架装配是否合理。通过模拟某型初教飞机的起步、着落、转向等操作,便可以判断起落架装配是否合理,某个部分是否存在故障。具体故障排查步骤是在 AR 系统场景下,用户根据飞机起落架故障诊断手册流程按下手柄键来模拟排查具体部位故障^[12]。其中,系统会演示故障部位的零件组装、工具指令调用、参数指令修正等拆装过程。用户能清楚地了解该部位零件构成、组装参数以及调用的指令,通过故障手册检测流程准确地判断出故障问题。

AR 场景模拟飞机起落架的具体故障部位后,需在故障手册指导下维修故障部位。首先,用户需在 AR 场景下利用手柄选择故障零件以及对应的维修工具,被选中的指令会以高亮显示。然后,扣动手柄按键使得选中区域跟随手柄指令移动,通过手柄调用指令,用户可完成零件螺丝的拆装。在维护过程中,起落架一旦某个拆装过程出现错误,AR 系统内会弹出错误文本框,用户需再次返回上一个维护过程,直至拆装过程正确为止。AR 场景下零件的维护如图 4 所示。

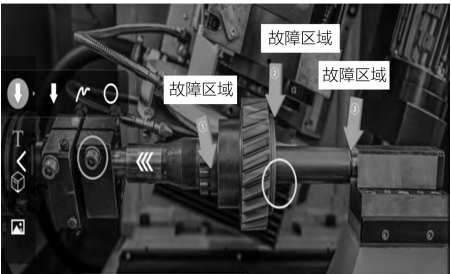


图 4 AR 零件拆装场景

完成对起落架的全面故障排查与检修后,再对整个组装建模进行故障模拟检测,若系统不再出现报错故障,则表明某型初教飞机起落架的装配工作完成。

2 某型初教飞机起落架扭力臂优化仿真实验

完成对某型初教飞机起落架的设计、组装以及检修测试后,还需要确保飞机起落架具备足够的支撑性能。而其中起落架扭力臂是飞机稳定、安全着陆的关键,扭力臂将承担飞机着陆缓冲与减震的作用,直接影响飞机的驾驶安全。在对某型初教飞机安装过程中,采用了最小二乘定位算法优化起落架的安装定位误差,同时通过 AR 故障模拟再次优化起落架扭力臂装配误差。为检验优化后的起落架扭力臂是否满足某型初教飞机安全使用需求,采用 ADAMS 软件对起落架扭力臂进行力学仿真分析。将优化前后的飞机起落架扭力臂模型输入到 ADAMS 软件平台,保留格式为 X-T。仿真测试前先进行自由度检测,随后配置缺省仿真形式,实验中选择自由形式。按飞机故障手册要求,扭力臂上下变化角度在 60~120° 区间。实验具体配置参数如表 1 所列。

表 1 仿真实验配置参数

指标	参数
系统	WINDOWS 7 64
处理器	Intel I9 32 核
显卡	英伟达 RTX4080
仿真时间	0.16 s
仿真步长	5 000
仿真类型	交互式仿真

仿真测试前,需添加各种运动副、对应驱动以及扭矩参数,构建扭力臂三维模型,然后测试扭力臂受力、移动等变化情况。上下扭力臂加速曲线比较结果如图 5 所示。

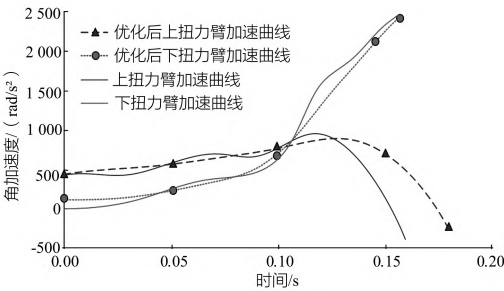


图 5 上下扭力臂加速曲线比较结果

由图 5 可知,扭力臂优化前后的臂缓冲支柱轴向加速度变化方向并无较大区别,但在加速曲线变化上存在明显的区分。例如,优化前的上扭力臂加速曲线在 0.00~0.10 s 时段存在一定曲线波动,而优化后的上扭力臂加速曲线在该曲线则更平顺,并保持着稳定的变化趋势。同时,优化后上扭力臂加速曲线变化提前,在第 0.15 s 时出现了突变,而优化前的上扭力臂则在 0.12 s 发生突变。突变的原因主要是扭力臂施加了转向指令,转角发生了变化,而优化后的上扭力臂加速曲线会不断调整,保障飞机起落架安全再进行优化调整,与优化前相比,其稳定性提升 28.65%。同

时,观察下扭力臂加速曲线变化,优化前后两者变化方向基本一致,但优化前下扭力臂加速曲线波动范围明显更广,两者均在0.10 s时出现了转向指令而引起的突变,但优化后的下扭力臂加速曲线稳定性更好,与优化前相比提升18.65%。扭力臂平移、动能以及中轴旋转副标记点受力情况如图6所示。

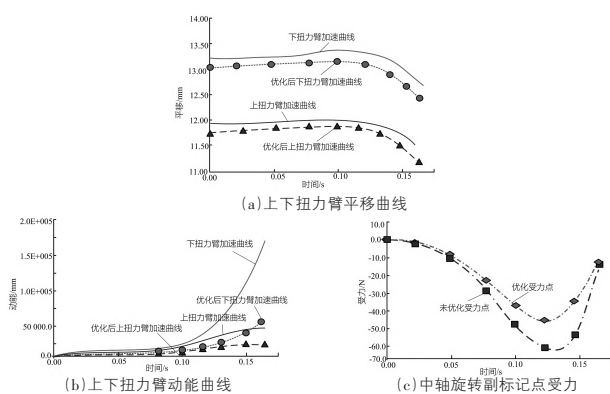


图6 扭力臂平移、动能以及中轴旋转副标记点受力情况

在扭力臂平移曲线比较中,上扭力臂与下扭力臂在优化前与优化后其平移的规律均未发生变化,平移变化方向保持一致,但优化前后扭力臂平移数值存在明显区别。由图6(a)可知,优化前的下扭力臂最大平移位移为13.45 mm,优化后的最大平移位移为13.05 mm。优化后平移量减少的主要原因是扭力臂的体积减小,质量减轻。同时,优化后的上扭力臂平移位移同样减少,优化前的最大平移位移为12.05 mm,优化后最大平移位移为11.83 mm。由图6(b)可知,参考扭力臂位移情况,与优化前相比,上下扭力臂优化后的扭力臂动能位移明显降低。例如,与未优化前相比,优化后的上扭力臂动能降低5.65%,下扭力臂降低18.54%。动能降低进一步提升了扭力臂操纵稳定性,确保了飞机起飞或着陆的安全性。图6(c)中,旋转副中轴受力作用易出现损坏,这将对飞机起落架安全性造成直接影响。因此,选取中轴旋转副某一点进行受力分析。由图6(c)可知,在0~0.125 s区间该点受力不断扩大,并在0.125 s后出现反向作用力,该点受力逐步降低。优化前,该点最大受力点出现在0.125 s,最大受力值为-65.5 N,优化后最大受力值为-42.6 N。由此可见,优化后该点受力显著降低,有效避免了中轴旋转副区域出现受力破坏,且使力能够更均匀分布到其他构件,提高了飞机起落架的安全性。

3 结语

飞机起落架是飞机稳定起飞与着落的关键部分之一,但传统起落架设计与装配面临效率与难度问题。因此,基于AR技术来设计与装配某型初教飞机起落架。首先,分析某型初教飞机起落架结构,获得零件组装数据;其次,引

入最小二乘定位算法来优化零件装配误差,再进行设计建模;然后,通过3D MAX构建AR装配场景;最后,进行装配效果维护。选取某型初教飞机起落架扭力臂进行仿真实验,在扭力臂加速曲线分析中,优化后的下扭力臂加速曲线稳定性更好,与优化前相比提升18.65%。在扭力臂平移位移分析中,优化前的下扭力臂最大平移位移为13.45 mm,优化后的最大平移位移为13.05 mm。进一步分析扭力臂动能曲线,与优化前相比,上下扭力臂优化后的扭力臂其动能位移有了明显降低,其中,下扭力臂优化后降低18.54%。最后,比较中轴旋转副标记点受力情况,优化前,该点最大受力点出现在0.125 s,最大受力值为-65.5 N,优化后的最大受力值为-42.6 N。由此可见,通过装配误差优化与AR装配检测,能有效提升某型初教飞机起落架的设计与装配效果,加快飞机起落架研发与制造。未来,需充分考虑零件在疲劳、断裂等方面的关注,以提高飞机起落架的制造水平。

参考文献

- [1] 伍峰,谢超,印正锋.某型飞机起落架收放系统故障分析与设计改进[J].液压气动与密封,2021,41(4):91-93.
- [2] 王小锋,孟辉,汪赵宏.飞机起落架柔性装配车顶升机构仿真与分析[J].机械设计,2021,38(1):154-158.
- [3] 张佳.多电飞机起落架收放控制系统设计[J].自动化与仪表,2023,38(2):39-42.
- [4] 伍峰,谢超,印正锋.某型飞机起落架收放系统转换活门故障分析与改进设计[J].液压气动与密封,2022,42(2):50-52.
- [5] Silva H L, Resende G J, Neto R M C, et al. A multidisciplinary design optimization for conceptual design of hybrid-electric aircraft[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2021, 64(6): 3505-3526.
- [6] 张沈瞳.基于虚拟样机技术的飞机起落架着陆载荷分析[J].工程设计学报,2021,28(6):758-763.
- [7] Hu X, Arista R, Zheng X, et al. Ontology-based system to support industrial system design for aircraft assembly[J]. IFAC-PapersOnLine, 2022, 55(2): 175-180.
- [8] 李荣强,文爱兵,花斌,等.航空装备虚拟维修训练仿真模型快速开发技术[J].系统仿真学报,2021,33(5):1167-1176.
- [9] 张强,杜坤鹏,李辉,等.基于虚拟中心数据源的飞机装配数据集成[J].浙江大学学报:工学版,2023,57(8):1667-1679.
- [10] 李浩铭,付战平,王志乐,等.基于UE4引擎的虚拟训练系统的设计与实现[J].信息技术,2022,46(1):84-89.
- [11] 熊小峰,王鸿砾,马睿,等.虚拟DPU技术在机场桥载设备控制中的应用[J].计算机测量与控制,2021,29(10):88-92.
- [12] 樊虎,谈宝林,刘家豪,等.数据驱动的智能飞机装配工艺设计技术[J].航空精密制造技术,2021,57(6):34-37.

(责任编辑:黄霞)