

卓张志, 任俊, 肖鹏, 等. 基于机械臂应用技术的自动三维扫描系统[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(4): 121–124. DOI: 10.20169/j. issn. 2095–2163. 250416

基于机械臂应用技术的自动三维扫描系统

卓张志^{1,2}, 任俊², 肖鹏², 张峰¹

(1 国营芜湖机械厂, 安徽 芜湖 241007; 2 上海航翼高新技术发展研究院有限公司, 上海 200082)

摘要: 针对某型飞机平尾舵机逆向建模需求, 设计并实现一种基于机械臂应用技术的自动化三维扫描系统, 描述了系统的总体设计、硬件设计和软件设计。以某型飞机平尾舵机为扫描对象, 使用该系统采集了三维点云数据, 并使用逆向工程软件 Geomagic Design X 进行了建模。

关键词: 逆向工程; 航空维修; 三维扫描

中图分类号: TP181

文献标志码: A

文章编号: 2095–2163(2025)04–0121–04

Automatic 3D scanning system based on mechanical arm application technology

ZHUO Zhangzhi^{1,2}, REN Jun², XIAO Peng², ZHANG Feng¹

(1 Wuhu State-Operated Mechanical Factory, Wuhu 241007, Anhui, China;

2 Shanghai Hangyi High-tech Development Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: In order to meet the reverse modeling requirements of a certain type of aircraft's tail steering rudder, the article designs and implements an automated 3D scanning system based on mechanical arm application technology. The overall design, hardware design, and software design of the system are described. Using a certain type of aircraft's steering rudder as the scanning object, 3D point cloud data is collected using this system, and reverse modeling is performed using a reverse-engineering software Geomagic Design X.

Key words: reverse-engineering; aviation maintenance; 3D scanning

0 引言

产品的数字模型是数字化工程中不可缺少的一项技术参数, 航修工程中诸多数字化改造的工程均需要产品的数字模型来做支撑。而实际在航修工程中, 存在一些产品图纸缺失或无数字模型的情况, 还有一些产品在长期服役过程中可能发生变形和损坏, 导致其实际尺寸和理论数据存在差异, 这些都难以以为自动化作业、数字化仿真等提供有效的输入。陈国峰等学者^[1]总结了逆向工程技术在飞机修理中的应用, 其中包括逆向建模在航空保障装备设计制造中的应用, 通过逆向建模, 可以为飞机修理作业奠定基础, 同时支撑数字化工程建设。白宇翔^[2]基于 Geomagic Design X 完成了航空活塞发动机机匣的逆向建模。逆向工程采集数据多使用扫描仪设备, 在一些场景中, 扫描仪设备在恶劣环境采集数据

受限或因人工操作水平的不同使扫描数据有差异, 陶京新等学者^[3]介绍了一种基于机器人的三维自动扫描测量方法及其在壳体产品测量中的应用, 表明使用机器人代替人工执行三维自动扫描的测量可有效提高测量效率和质量可靠性。

本文以某型飞机平尾舵机为研究对象, 结合自动三维扫描与逆向建模的需求, 提出了一种基于机械臂应用技术的自动三维扫描系统, 来实现自动化扫描工作, 并基于逆向工程专业软件工具 Geomagic Design X 完成舵机产品的逆向建模。

1 系统总体设计

本文基于三维扫描技术与机械臂应用技术, 结合飞机平尾舵机的体积大小、建模精度要求, 并考虑设备间的通讯问题等搭载硬件设备系统^[4], 将扫描仪固定在机械臂末端, 使用 TCP/IP 协议实现设备

基金项目: 2022 年度上海市产业协同创新(科技)项目(XTCX-KJ-2022-44)。

作者简介: 卓张志(1989—), 男, 中级工程师, 主要研究方向: 航空维修, 数字化转型。Email: zhuozhangzhi@163.com。

收稿日期: 2023–10–23

通讯,由机械臂运动带动扫描仪执行自动扫描工作。使用机械臂离线编程与仿真软件、点云数据处理软件,确保自动三维扫描的可行性、准确性和高效性。通过试验来验证系统的可集成性、功能及稳定性,实现飞机平尾舵机的自动化三维扫描。最终将系统采集到的点云数据导入 Geomagic Design X 软件,完成逆向建模工作,总体设计思路如图 1 所示。

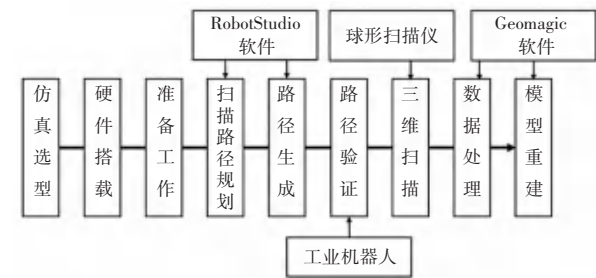


图 1 总体设计思路
Fig. 1 Overall design concept

2 系统硬件集成

2.1 硬件选型

利用三维设计软件对真实场景进行仿真和预演,是减少试错成本的有效途径。本文在估算目标扫描件的极限尺寸、测量扫描现场的空间大小后,使用三维仿真软件 RobotStudio 对实际扫描场景进行了仿真模拟(见图 2)。

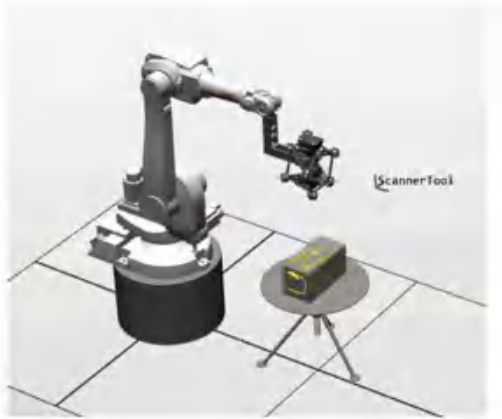


图 2 仿真模拟图
Fig. 2 Simulation diagram

三维扫描仪是自动三维扫描系统的执行机构,可按照扫描区域、扫描精度、定位精度和扫描功能进行区分。经过调研了解与仿真模拟,本项目最终选择了精度更高、扫描区域更大的球形扫描仪(品牌型号为“武汉中观 HyperScan DX”),并将球形扫描仪的数模导入到三维仿真软件中,装配到工业机器人上再对工业机器人进行选型(关于装配时使用的

法兰转接盘,本文进行了特殊设计,见 2.2 节)。
根据三维球扫的重量,选择负载、臂展合适的工业机器人型号,对扫描空间进行初步规划。通过运动分析设计法兰转接盘几何尺寸,并确定三维扫描仪的装夹方式,在固定机器人、转接盘、三维扫描仪后,即分析出系统运动部分的理论可达区域,从而完成系统仿真环境的配置。本文最终选择的机器人型号为“ABB IRB1600-10/145”。

2.2 法兰转接盘设计

在机械臂运动扫描过程中,需保持三维扫描仪的扫描法矢与被扫描平面保持垂直,使发出的激光尽可能垂直照射在被扫描面上,以提高扫描精度。一般的法兰转接盘轴线与机械臂第六轴轴线重合,会损失一部分机械臂的工作空间,降低扫描覆盖率,同时也可能产生运动干涉的问题。为了解决该问题,本文提出一种 L 形的法兰转接盘(见图 3),具有相互垂直的 2 个支架,避免了机械臂第六轴轴线和扫描法矢重合的问题。

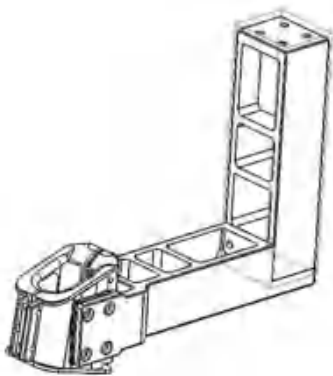


图 3 L 形法兰转接盘
Fig. 3 L-shaped flange adapter plate

3 软件实现

3.1 设备通讯

本文使用机器人作为控制的服务器,三维扫描仪作为被控制的客户端,其间通信采用 TCP/IP 协议^[5]。系统执行逻辑(见图 4)如下:

- (1)启动机器人程序,机器人开启监听端口,准备接收连接。
- (2)三维扫描仪程序启动,建立与机器人控制器的连接。
- (3)机器人接收到“连接”信号,停止端口监听,提示用户选择执行程序。
- (4)用户选择程序后,机器人向扫描仪连接发送“打开扫描”的命令,执行选择的轨迹扫描程序。

- (5) 扫描仪接收到“打开扫描”命令,启动扫描功能。
- (6) 机器人轨迹扫描程序执行完毕,发送“停止扫描”命令到三维扫描仪。
- (7) 扫描仪接收到“停止扫描”的命令,关闭扫描仪设备。

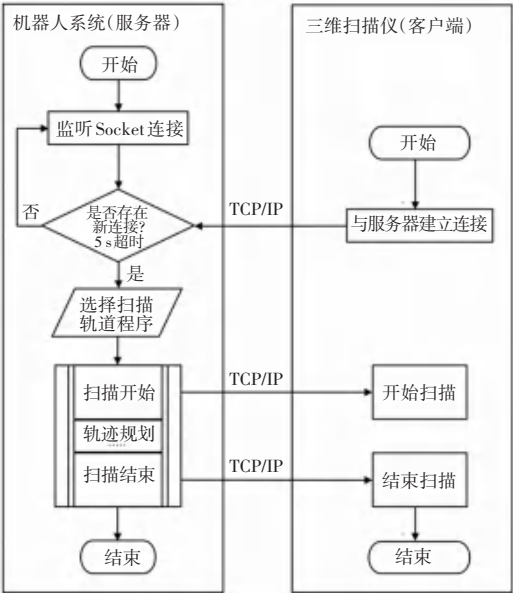


图 4 系统执行逻辑图

Fig. 4 Logic diagram of system execution

3.2 机械臂控制程序

本文扫描路径规划使用 ABB RobotStudio 软件^[6](如图 5 所示)。RobotStudio 是 ABB 公司研发的,可针对 ABB 机器人进行仿真编程模拟和直接产生加工程序代码的一款离线编程软件,可实现在更具竞争力的软件包成本情况下来执行更快速编程的功能。使用模拟件在软件中进行仿真与工业机器人扫描路径的规划,以三维扫描仪最佳扫描距离中心设置为机器人的 TCP 点,并在假定的工件模型上添加轨迹路径,实现机器人对工件的扫描。

待仿真规划结束后,在软件的后置处理模块中生成工业机器人的运动路径,并转化为工业机器人可识别的路径文件,该路径文件为符合工业机器人编程语法的程序文件,其中包含有速度定义、运动指令和逻辑指令等一系列指令。

将最终生成的路径文件导入到工业机器人控制器中,空跑运行,观察对应路径点上机器人的姿态与 RobotStudio 软件中工业机器人仿真姿态的一致性;空跑验证通过后,将表面复杂程度不同的样件放置在待扫描位置,运行同一条经离线编程软件规划的路径,在工业机器人运行过程中,目视观察扫描参数是否设置合理、扫描结果是否清晰完整。反复调整轨迹点的位姿,最终确定最优扫描路径。

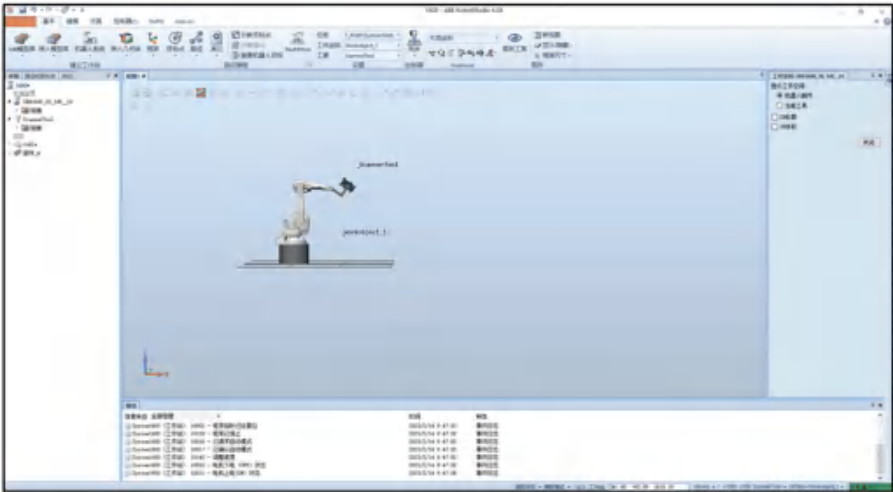


图 5 仿真验证图

Fig. 5 Simulation verification diagram

4 逆向建模

4.1 点云数据采集及处理

本文使用球形扫描仪厂家自带的软件 Hyper

Scan 进行数据采集,该软件具备点云数据采集、处理以及格式转换等功能。将某型飞机平尾舵机放置在转台上的固定位置,开启系统自动扫描模式,待扫描结束后,在 Hyper Scan 中对点云数据进行优化处

理,手动删除产品之外的噪声点、孤点等,这样做有助于提高后续建模工作的计算效率^[2],然后将所得的产品外形点云数据保存为“.stp”格式的文件。

4.2 逆向建模

在 Geomagic Design X 中打开所保存的某型飞机平尾舵机点云数据文件,为了使逆向实体构建操作更方便,一般先进行坐标对齐,使被扫描对象比较规则的面与某一坐标系平齐。使用软件中平面、线、点的构造,草绘拉伸、回转、放样等功能构造实体,一般先绘制 2D 草图,然后利用拉伸、旋转等操作构成 3D 实体,最后导出实体模型,即完成了逆向建模工作。复杂程度不同的产品,逆向建模所要花费的时间不同,且逆向建模的精度除受产品复杂程度、设备精度、软件性能影响外,还与操作人员的水平、经验有关。

5 结束语

本文从重建飞机平尾舵机的数字模型出发,基于激光三维扫描技术与机械臂应用技术,实现了一套自动三维扫描系统,系统按设置好的指令精准完成扫描动作、采集扫描数据,避免了人工操作带来的精度差、效率低、差异性大的问题,最终在 Geomagic Design X 软件中实现飞机平尾舵机的逆向建模,输

出的数字模型可用于数字化制造与维修、数字孪生、舵机变形程度检测等。

参考文献

[1] 陈国峰,曹宏翼,齐祥,等. 逆向工程技术在飞机修理中的应用[J]. 航空维修与工程,2019(4):50-51.

[2] 白宇翔. 基于 Geomagic Design X 的航空活塞发动机机匣逆向建模[J]. 机械工程师,2021(9):11-16.

[3] 陶京新,刘大亮,胡文刚,等. 机器人激光三维扫描技术在壳体自动测量中的应用[J]. 制造业自动化,2017,39(1):76-79.

[4] 李剑峰,朱建华,汤青,等. 机器人-三维扫描系统联合扫描及其工业应用[J]. 光电工程,2007,34(2):15-21.

[5] 刘华,程莉,颜国正,等. 机器人控制与被控制机器人的通讯方法研究[J]. 机器人技术与应用,2002(4):34-37.

[6] 杨怡婷,梅灿华,于世楠. 基于 RobotStudio 仿真软件的 ABB 工业机器人运动轨迹程序的设计[J]. 数字技术与应用,2021,39(7):123-125.

[7] GAMBETTA M, KÜHHORN A, BEIROW B ,et al. Stator blades manufacturing geometrical variability in axial compressors and impact on the aeroelastic excitation forces [J]. Journal of Turbomachinery, 2022, 144(4) :1-10.

[8] BRITO O G A, FREIRE J R C S, CONTE M V L A, et al. A hybrid ANN-multiaxial fatigue nonlocal model to estimate fretting fatigue life for aeronautical Al alloys[J]. International Journal of Fatigue, 2022, 162:107011-107019.

[9] ZHANG Hongyao, LI Lun, ZHAO Jibin, et al. Theoretical investigation and implementation of nonlinear material removal depth strategy for robot automatic grinding aviation blade [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 74(2) :441-455.