

飞机零部件连接孔在机视觉检测系统开发*

勾江洋¹, 陈雪梅², 叶南¹, 张丽艳¹

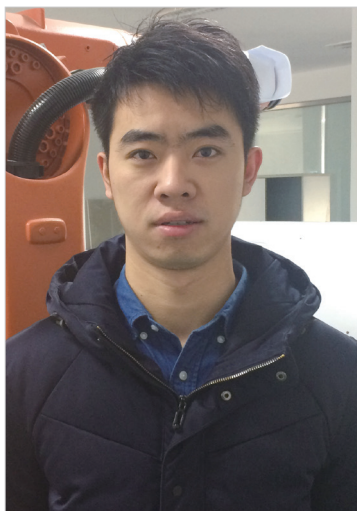
(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016;

2. 航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司产品研制部, 成都 610091)

[摘要] 针对五轴数控加工的飞机蒙皮、骨架等零部件上的装配连接孔快速、精确检测需求, 设计并开发了一套在机视觉检测系统。通过在五轴数控机床上集成自主研发的连接孔专用视觉检测传感器, 根据离线规划的程序控制机床带动视觉传感器到达每个预定位置和角度, 对各个连接孔拍摄图像; 在机检测软件通过并行处理机制对连接孔图像精确提取与定位, 完成连接孔的非接触快速检测。阐述了系统的工作流程和软、硬件结构, 并对其中的系统参数标定、检测数控代码生成和连接孔加工质量评价等关键技术作了详细讨论。对实际航空零部件的现场实测结果表明, 研发的在机视觉检测系统测量效率达到 5s/孔, 重复测量精度达到 0.01mm, 能够满足分布于复杂自由曲面上的大量小尺寸连接孔的高效率、高精度检测需求。

关键词: 连接孔; 在机检测; 视觉检测; 图像采集; 误差分析

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.05.037



勾江洋

硕士研究生, 主要研究方向为三维数字化测量。

在传统的飞机制造工艺中, 蒙皮、骨架上的装配连接孔大多采用钻模板钻孔、划线钻孔等手工制孔方式, 存在生产准备周期长、劳动强度大、效率低、孔位精度不高等缺点, 特别是现代飞机中大量采用复合材料, 手工制孔还容易造成复材分层、孔缘出现毛刺豁口、圆孔不圆等诸多问题, 严重影响装配质量。手工制孔工艺下的连接孔检测也主要是采用孔径规等通用量具或专用明胶板等人工比对方式。

随着对飞机装配质量要求的不断提高, 蒙皮、骨架上的大量连接孔不再使用传统工艺在装配现场制孔, 而是采用高精度数控机床在零件制造过程中进行独立制孔。然而, 对于数控加工的高精度要求连接孔, 已有的人工比对式检测方式已不再适用。由于飞机零部件上的连接孔尺寸小、数量多, 一般为 $\Phi 2\sim 8\text{mm}$ 的浅

圆柱通孔, 单个零件上就可能有上千个之多, 且一般分布于复杂自由曲面薄壁结构上, 三坐标测量机、激光跟踪仪、结构光扫描仪等目前通用的数字化检测手段已不能满足如此大量小尺寸连接孔的高效率、高精度检测要求。其中, 三坐标测量机对五坐标机床加工的小尺寸连接孔常常不具有可达性和孔壁的法向接近性, 而且当连接孔数目较多时, 三坐标测量机检测效率明显低于数控制孔效率, 形成效率瓶颈^[1]; 激光跟踪仪不便测量孔的直径, 且逐一接触式的测量方式也不适合用于大量连接孔的快速检测; 结构光扫描仪^[2-3] 主要适用于表面轮廓外形的测量, 特别是对复杂自由曲面有较好的测量效果, 但是对孔边缘的测量精度难以保证, 后续根据扫描数据提取孔的检测信息效率也较低, 同样无法应用于大量小尺寸连接孔的快速检测。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51605222); 江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK20160799); 南京航空航天大学基本科研业务费项目(NS2015053)。

视觉检测是利用工业级摄像机获取目标的图像信号,然后经过图像处理分析来获得目标外形几何数据的一类检测技术。视觉检测方法通常具有测量精度稳定可靠、测量效率高、非接触、制造现场适应性好等优点,近年来得到了国际学术界和工程界的高度重视,被认为是最有生命力和发展前景的几何量检测方法之一。

本文针对五轴数控加工的飞机蒙皮、骨架等零部件上的装配连接孔快速、精确检测需求,设计并开发了一套在机视觉检测系统。该视觉检测系统可以很好地适应连接孔的外形特征(浅圆柱通孔)和尺度大小($\Phi 2\sim 8\text{mm}$),满足大量连接孔的检测需求。

系统原理和工作流程

1 系统总体方案

本连接孔在机视觉检测系统分为硬件和软件两部分,系统硬件构成如图1所示。

五轴机床主轴刀柄上安装本文自研的连接孔视觉检测传感器,传感器的控制线与在机检测系统软件所在的电脑相连,在机检测系统软件所在电脑与机床控制电脑之间通过网线连接。

系统工作流程如图2所示,分为离线检测路径规划和在线检测两部分。检测路径规划部分主要功能是利用待测零件的三维数模生成在机检测路径规划文件。检测路径规划文件中包含了待测连接孔的理论信息(孔位、孔向和孔径)及检测顺序信息。

在线检测部分,首先执行系统参数标定操作,确定视觉传感器中相机的成像参数及相机相对机床主轴末端的位姿参数;之后为保证视觉传感器能采集到每个待测连接孔图像数据,利用检测路径规划文件和系统标定参数,解算出视觉传感器每个拍摄位姿对应的机床数控信息;然后

执行图像自动采集操作,采集所有被测连接孔的图像;最后通过对采集到的图像进行处理和分析,获得连接孔加工质量评价结果。

2 视觉检测成像硬件装置

连接孔视觉检测传感器由 CCD 相机、镜头、光源和相机支架等组成,如图3所示。相机支架将相机、镜头和光源结合为一体,相机支架末端设计成可与机床加工刀具互换的机械支架。相机、镜头、光源集成安装在机械支架上,机械支架可以固定在刀

柄上。实际检测时,在零件加工结束后,换上视觉检测传感器即可开始检测,不需要占用专门的数控运动机构(数控机床),可节约检测成本,在零件的一次装夹下完成加工和检测,避免了重复装夹产生的误差。

3 图像自动采集和传输

图4为图像自动采集模块的系统通信示意图。本模块设计的目的是利用数控代码控制机床带动视觉传感器到达预定位姿自动采集图像,具体通讯步骤为:

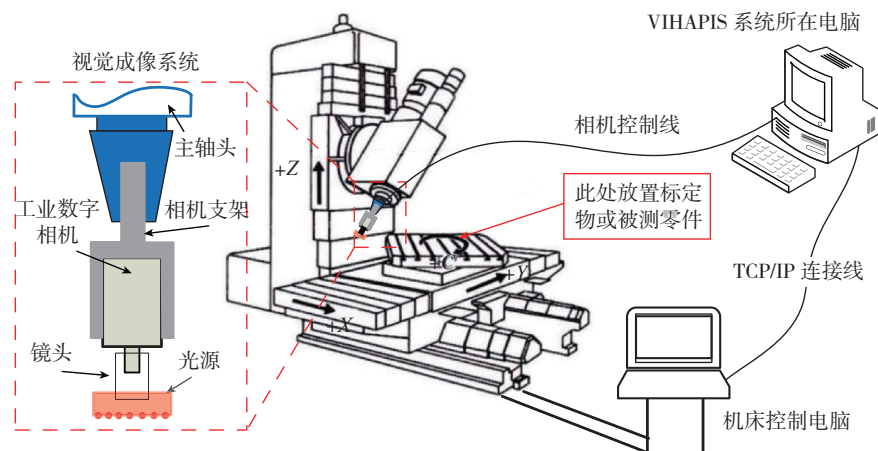


图1 系统硬件结构图

Fig.1 System hardware structure

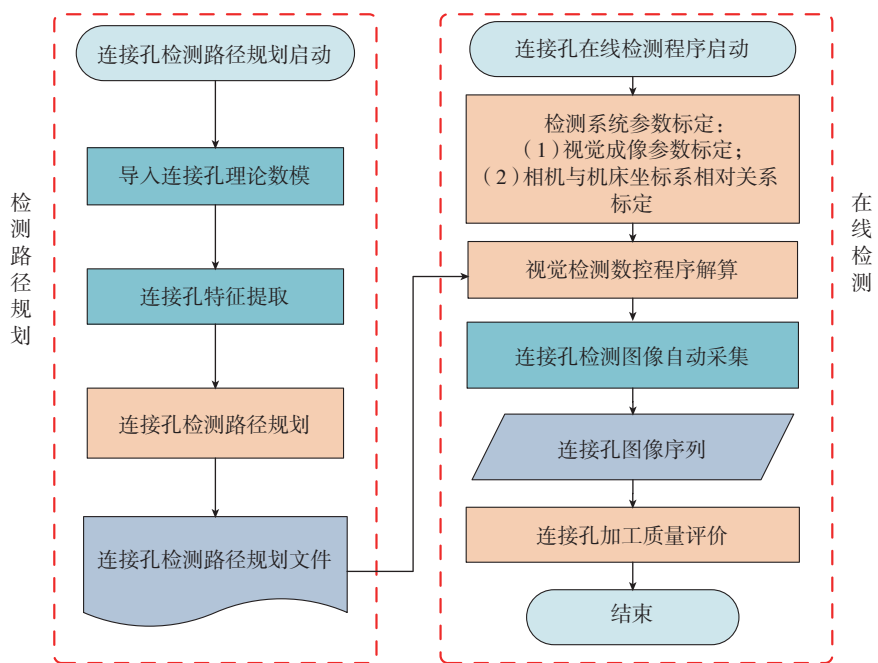


图2 系统工作流程图

Fig.2 System workflow

(1) 以在机检测系统软件所在电脑为服务器端、以机床控制电脑作为客户端建立 TCP/IP 通讯连接;

(2) 数控机床执行数控代码到达指定位置后,客户端电脑发送到达命令字给服务器端,同时机床会执行延时操作数秒;

(3) 机床延时期间,服务器端电脑收到命令字后控制相机对当前被测连接孔拍照,拍照结束后服务器端电脑向客户端电脑返回拍摄结束命令字;

(4) 机床延时结束后执行后续代码,到达下一个位置,重复步骤(2)、(3)操作,直到程序结束,所有检测图像采集完成。

系统关键技术

1 系统标定

本文系统中坐标系关系如图 5 (a) 所示,其中 C_m 是机床主轴坐标系, C_c 表示相机坐标系, C_p 是标定物坐标系, T_{c-p} 是相机坐标系到标定物坐标系的刚体变换矩阵(4×4 齐次矩阵,后同), T_{p-m} 是标定物坐标系到机床主轴坐标系的刚体变换矩阵, T_{c-m} 是相机坐标系到机床主轴坐标系的变换矩阵。

系统标定的目的是: 获得相机成像系统参数(内参数),以实现实际尺度下的孔位、孔径检测; 获得相机坐标系和机床主轴坐标系之间的变换关系,以保证相机按规划位姿拍摄被测连接孔的图像。

1.1 相机成像参数标定

相机参数标定算法采用张氏经典平面标定法^[4],因为标定物需要在机床上装夹找正,本系统专门设计了如图 5 (b) 所示的标定物,标定物表面经过特殊处理以方便在机床上装夹找正,而阵列圆孔则用于相机成像参数标定。

标定物圆孔与待检测圆孔特征类似,属于表面边缘特征,而非由光照对比度差异形成的边缘特征,因此

常规的标定板图像处理无法适应本系统的标定图像。为此,本文提出了一种带有鲁棒估计的局部环带边缘提取算法,如图 6 所示。此算法流程如下:

(1) 将高斯滤波后的源图像进行二值化处理,分析二值化图像中的

圆孔信息获得标定孔的预定位结果;

(2) 利用标定孔预定位信息在源图像数据上建立连接孔边缘的环形感兴趣区域(ROI),利用 Canny 算子^[5]对 ROI 内的图像进行边缘提取操作,获得初始边缘;

(3) 将初始边缘轮廓点进行鲁

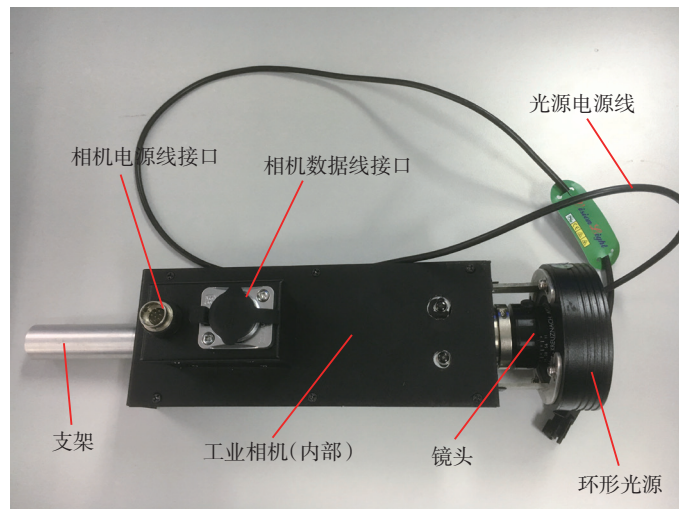


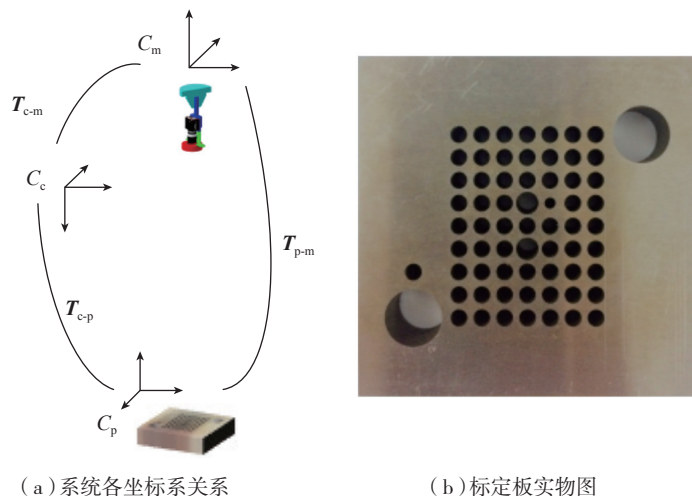
图3 连接孔视觉检测传感器硬件装置

Fig.3 System hardware device used for vision inspection



图4 系统通信连接示意图

Fig.4 System communication connection diagram



(a) 系统各坐标系关系

(b) 标定板实物图

图5 系统各坐标系关系及标定板实物图

Fig.5 Calibration board and the relationship of the system coordinates

棒估计筛选,然后将筛选点经亚像素定位处理,获得轮廓点最终位置;

(4)将最终的轮廓点进行椭圆拟合,完成椭圆中心的定位。

1.2 相机与机床主轴关系标定

图5(a)中相机坐标系与机床主轴坐标系间的变换关系也称手眼关系^[6]。为了保证相机能采集到被检测孔的图像,需要控制机床主轴带动相机运动到预定位置,而机床运动信息的计算依赖于精确的手眼关系。

相机成像参数标定算法中每张标定图像会获得相应的 T_{c-p} 信息,而标定物事先已经在机床找正,依据拍摄每张标定图像时的机床读数可获得 T_{p-m} 的准确信息,需要求解的手眼关系 T_{c-m} 可以依据公式(1)计算出。

$$T_{c-m} = T_{p-m} \cdot T_{c-p} \quad (1)$$

理论上—张图像就可获得手眼关系,但为抑制可能的手眼关系计算偏差,本文对所有图像产生的手眼关系进行鲁棒估计,剔除存在较大误差的手眼关系矩阵,然后取平均值。

2 在机检测数控代码生成

视觉检测传感器可以看作是—把刀具安装到机床刀柄上,但由于相机轴线无法像刀具轴线—样与机床主轴坐标系Z轴形成同轴关系,因此本文的检测系统无法直接使用连接孔加工时的数控代码,而需要重新计算在机检测数控代码。

在相机光轴和待测孔的法矢量对齐的情况下,相机拍摄的待测孔图像成像效果最好,也最有利于图像处理,本文称之为被测孔的正位图像。为保证清晰成像,相机需要和待测孔保持固定距离 d ,该值由相机标定步骤得到。

记待测孔孔轴矢量齐次坐标为 $V_h = [i \ j \ k \ 0]^T$,待测孔孔轴矢量在相机坐标系下的齐次坐标为 $V_c = [0 \ 0 \ -1 \ 0]^T$,待测孔在零件设计坐标系下的孔心位置齐次坐标为 $P_h = [X_h \ Y_h \ Z_h \ 1]^T$,待

测孔孔位坐标在相机坐标系下的齐次坐标为 $P_c = [0 \ 0 \ d \ 1]^T$ 。记机床主轴坐标系到零件设计坐标系的转换为 T_{m-h} ,整个坐标转换数学表达形式为:

$$V_h = T_{m-h} \cdot T_{c-m} \cdot V_c \quad (2)$$

$$P_h = T_{m-h} \cdot T_{c-m} \cdot P_c \quad (3)$$

T_{m-h} 矩阵是需要求解的变换矩阵,而不同机床构型导致求解的运动分量不同^[7-11]。本文已经开发了针对AC双摆头机床、A摆头C转台机床和斜45°B摆头C转台机床的解算程序。以A摆头C转台机床为例,需要求解的机床数控分量为 (X, Y, Z, C, A) ,则 T_{m-h} 可表示为:

$$T_{m-h} = T_{XYZ} \cdot T_{Rc} \cdot T_{Ra} \quad (4)$$

式中, T_{Ra} 为绕A轴的旋转变换矩阵, T_{Rc} 为绕C轴的旋转变换矩阵, T_{XYZ} 为平移变换矩阵。

结合公式(2)和(4),首先求解出数控分量 (C, A) ,然后利用公式(3)和(4)求解出数控分量 (X, Y, Z) ,获得相机拍摄每个连接孔时机床数控机构运动信息。运动信息以数控代码的形式给出,如图7所示。

3 连接孔加工质量评价

连接孔加工质量评价是为了得

到待测孔的孔位、孔径检测结果。对于采集的检测图像,利用已经获得的系统中各个坐标系之间的准确变换关系,求解出每个待测孔的理论成像信息,利用该信息在图像上划分感兴趣区域(ROI),可减少图像处理工作量、提高处理速度。

对于每个孔的检测图像,其处理流程与标定板圆孔处理流程类似,但考虑到连接孔实际检测环境,检测图像处理中使用Deriche算子^[12]替代Canny算子进行边缘提取。Deriche算子能有效地削减零件的表面纹理对边缘提取的干扰,保证边缘提取稳定性和准确性。

图像处理结束获得的被测孔椭圆信息是在图像二维平面上,而连接孔加工质量评价目标是得到零件设计坐标系下的加工质量评价结果,故本文建立了如图8所示的评价模型。利用二维图像信息评价连接孔加工质量误差:被测连接孔是曲面法向孔,被测孔的孔径较小可以看作是位于小平面内的平面孔,同时相机是正位拍摄待测孔,因此连接孔边缘所在小平面与图像平面是平行关系,利用拍摄距离这一固定参数,得到连接孔在相机坐标系下的实际孔位和孔径

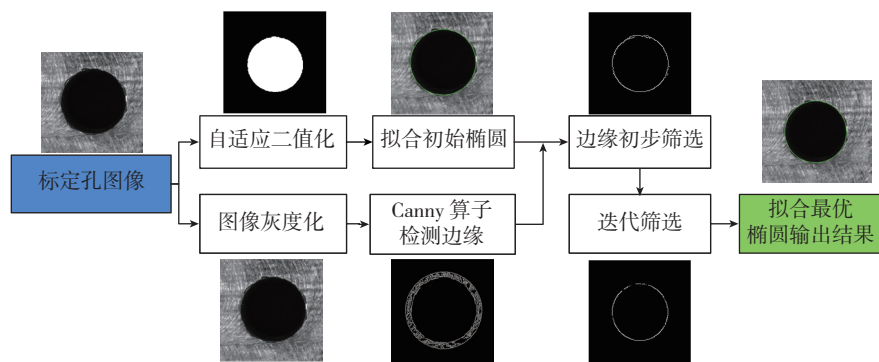


图6 标定板圆孔图像处理流程
Fig.6 Process of the calibration image

```

N20 X262.001 Y-213.780 Z149.288 C-151.203 A-67.144 连接孔检测点位
N21 (100##N20@@) 图像采集命令
N22 G04 H5 机床延时操作
    
```

图7 检测数控代码示例
Fig.7 Sample of inspection NC code

参数; 数控代码计算步骤中, 拍摄每个待测孔时相机坐标系与零件坐标系的变换关系是确定和已知的, 利用该变换关系将被测孔在相机坐标系下的孔位、孔径参数转换到零件坐标系下, 对比被测孔理论孔位和孔径参数, 就可以获得被测孔的加工质量评价结果。加工质量评价要素包括: 孔位中心偏差、 X 向偏差、 Y 向偏差、 Z 向偏差、孔径值、椭圆度。

系统软件开发

1 软件功能模块简介

本系统基于 Visual Studio 2013 平台, 以组件模块化思路开发, 图 9 为系统软件模块分解图, 分为离线路径规划(图 10 (a) 为离线规划软件检测路径预览界面)和在线检测(图 10 (b) 为在线检测启动界面)两部分。为方便系统软件的开发、维护和更新, 将系统按模块功能不同开发为独立的程序。系统模块与模块之间通过系统参数文件和自定义格式的数据文件实现信息交流和数据传递。

系统检测时以工程化思路管理每次检测操作的数据, 即每次检测对应一个检测工程目录来保存所有与此次检测相关的文件数据。

2 系统快速标定方法

为方便操作者快速简便地完成标定操作, 系统参数标定程序(见图 10 (c))利用图像自动采集机制, 结合图像处理模块和系统参数计算模块实现了一种快速标定方法:

- (1) 采集标定图像前先编制好采集标定图像所用的标定数控代码;
- (2) 利用标定代码执行图像自动采集操作, 采集所有标定图像;
- (3) 开启相机参数标定线程, 自动完成系统所有参数标定。

3 并行处理图像机制

系统检测时, 图像自动采集程序作为独立程序会在后台保持运行, 采集图像数据并保存到检测图像文件夹中。在线图像处理程序有一单独

的线程负责实时监控检测图像文件夹中图像数量变化情况, 一旦检测到有新的图像输入就开启子线程对图像进行处理分析, 处理结束的加工质量评价结果会在主界面线程中实时更新。图 10 (d) 为在线图像处理程序的工作界面, 程序展示了源图像和图像处理结果, 检测结果列表中同步更新了所有的检测结果。

检测结果与讨论

为了验证 VIHAPIS 系统的检测精度, 对图 11 所示的飞机骨架零件进行了重复精度验证, 并与三坐标测量机(CMM)的检测结果进行了对

比。试验零件上加工有 118 个连接孔, 该试验采用 Basler A102fc 工业数字相机、Fidia 五轴数控机床, 在常温常湿的环境下进行。

1 重复精度验证

用 VIHAPIS 系统在相同的测量环境下(同台机床、相同温度等环境)对零件进行 3 次独立的检测, 分别从孔位偏差、 X 方向和 Y 方向偏差 3 个方面进行评价。其中孔位偏差定义为: 连接孔法平面上孔心测量值到理论值的空间距离; X 方向偏差是指孔位偏差在零件坐标系 X 方向分量值; Y 方向偏差是指孔位偏差在零件坐标系 Y 方向分量值。孔位偏差分

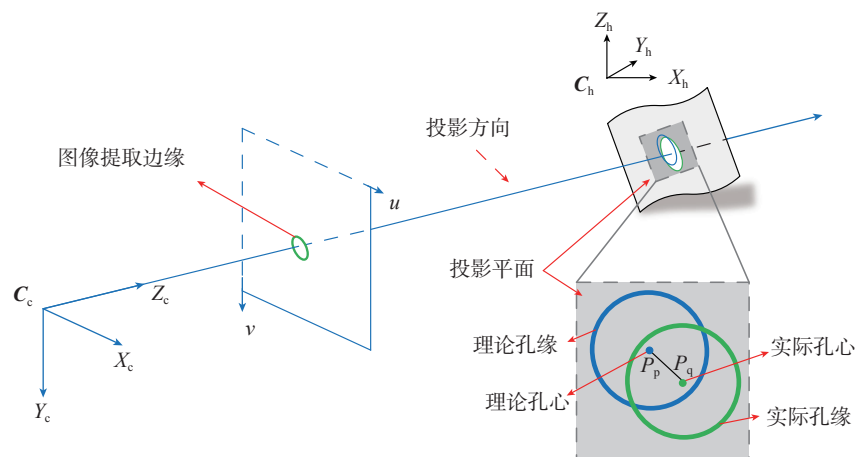


图8 连接孔加工质量评价模型

Fig.8 Evaluation model of machining quality for connection hole

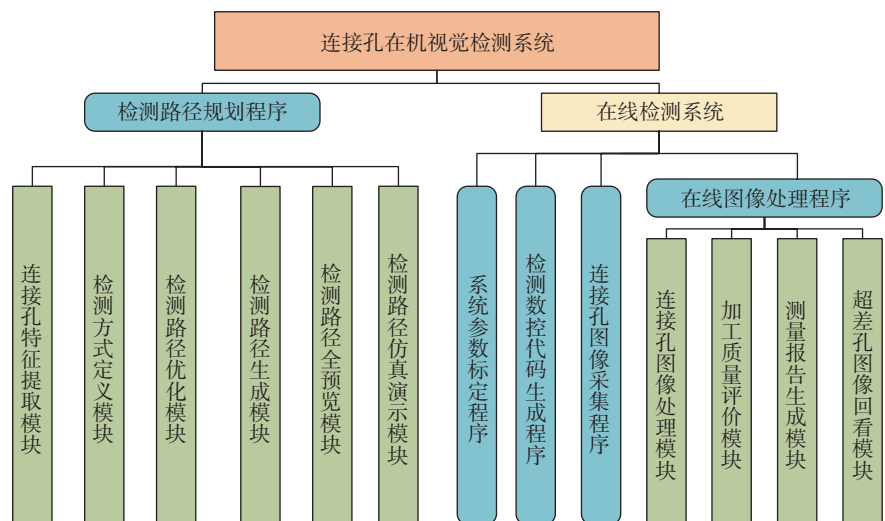


图9 连接孔检测系统功能模块分解

Fig.9 Module decomposition of the system software

布如图 12 所示。重复测量偏差的统计结果如表 1 所示。

从表 1 中可见, VIHAPIS 系统对连接孔的重复性测量标准差小于 0.01mm, 表明该系统具有良好的测量稳定性和较高的测量精确度。

2 与三坐标测量机测量结果对比验证

对图 11 所示的带有 118 个连接孔的航空零件分别使用 VIHAPIS 系统和三坐标测量机进行测量, 对各自的偏差平均值和标准差进行统计(三坐标测量机检测的平均值和标准值分别为 0.0745mm 和 0.0299mm, VIHAPIS 系统检测的平均值和标准值分别为 0.0421mm 和 0.0223mm), 并对两种方法的孔位偏差值进行分布对比, 结果如图 13 所示。

通过分析系统的重复测量精度, 并对比三坐标测量机测量结果, 可以看出本文研发的连接孔在机检测系统 VIHAPIS 具有较高的精确度(重复性测量偏差不大于 0.01mm), 而与三坐标测量机测量结果相比偏差均小于 0.1mm。由于本文检测方法为在机原位检测, 无须搬运和重新装夹找正, 因此在测量的现场性、稳定性和测量效率(每孔的检测时间小于 5s)等方面较三坐标测量方法具有综合优势。

需要指出的是, 在机检测方法精度取决于机床自身运动精度和检测系统标定精度。机床自身运动精度会定期校验, 而本文研发的视觉检测系统体积小、重量轻, 且在每次检测之前都执行现场快速标定, 因此只要机床空程运动精度没有下降, 即可以获得良好的检测结果。

结论

针对飞机零部件上的大量装配连接孔检测问题, 本文开发了一套在机视觉检测系统 VIHAPIS。本文详细讨论了系统中的检测路径规划、系统参数标定、检测数控代码生成和连

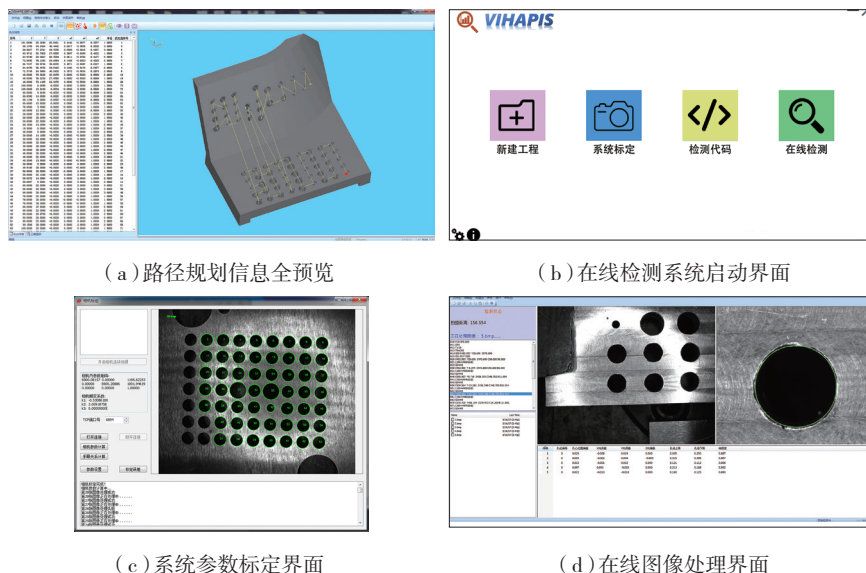


图10 软件主要功能主要界面

Fig.10 Display of system software interface

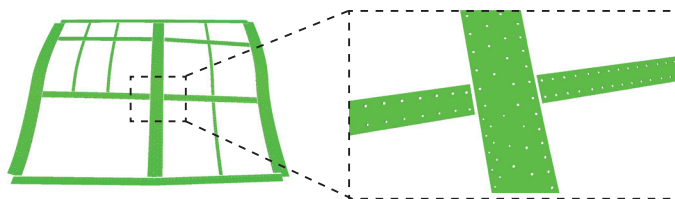


图11 实测零件模型图(经过轻量化处理)

Fig.11 CAD model of an actual aircraft part

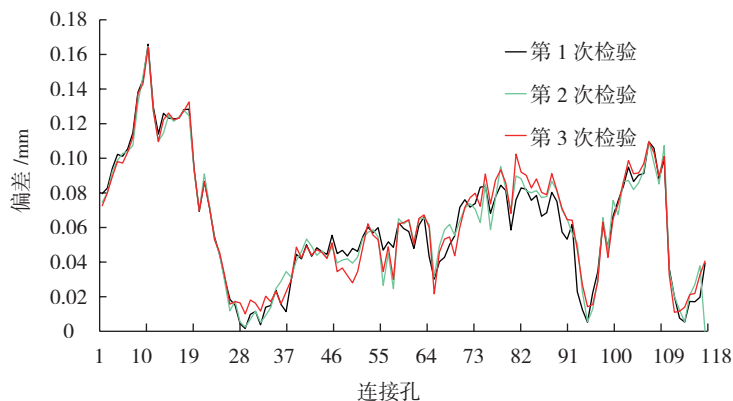


图12 重复测量偏差分布

Fig.12 Deviation distribution of repeated measurement

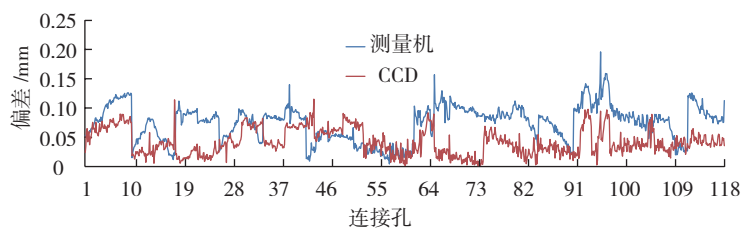


图13 CMM与VIHAPIS测量的孔位偏差对比

Fig.13 Comparison of hole center deviations output by CMM and VIHAPIS

表1 重复性测量偏差统计 mm

统计项	X向偏差	Y向偏差	孔位偏差
平均值	0.0051	0.0096	0.0054
标准差	0.0044	0.0029	0.0042

接孔加工质量评价等关键技术。在系统实现中,图像自动采集和传输以及图像并行处理机制的设计,使得整个系统能够实现自动化检测,同时以组件模块化的架构开发了软件系统,便于后期维护。针对在机检测需求,设计了一种快速有效的标定方法。

航空零部件的现场检测试验结果表明,VIHAPIS在机视觉检测系统在检测精度、检测效率方面相较三坐标测量机测孔具有综合比较优势,能够满足飞机零部件上大量小尺寸连接孔快速数字化检测的需求。

参考文献

- [1] 唐君萍,张丽艳,刘胜兰,等.飞机复杂零件上大量小尺寸导孔的快速视觉检测[J].中国机械工程,2015,26(18):2456-2465.
- TANG Junping, ZHANG Liyan, LIU Shenglan, et al. Quick vision inspection for large number of small size guide holes on complex aircraft parts[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(18): 2456-2465.
- [2] 邵铁乾.计算机视觉检测技术应用研究[J].信息与电脑,2016(17):62-63.
- SHAO Tieqian. Application research of computer vision detection technology[J]. China Computer and Communication, 2016(17): 62-63.
- [3] 薛峰,郭萍.计算机视觉检测技术的发展及应用研究[J].通信电源技术,2016,33(6):133-134.
- XUE Feng, GUO Ping. The development and application of computer vision inspection technology[J]. Telecom Power Technologies, 2016, 33(6): 133-134.
- [4] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [5] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [6] 唐君萍,夷宏明,张丽艳.一种相机与数控运动机构间位姿关系的标定技术[J].机械制造与自动化,2016(5):44-47,68.
- TANG Junping, YI Hongming, ZHANG Liyan. Calibration method for pose relationship between camera and multi-axis CNC equipment[J]. Machine Building and Automation, 2016(5): 44-47,68.
- [7] 王旭.五轴数控机床后置处理算法研究[J].航空制造技术,2014,57(22):56-59.
- WANG Xu. Research on five-axis CNC machine post processing algorithm[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(22): 56-59.
- [8] 唐清春,马仲亮,刘谦,等.(A-C)式双摆头五轴机床旋转角的选择及优化[J].组合机床与自动化加工技术,2015(1):16-18.
- TANG Qingchun, MA Zhongliang, LIU Qian, et al. The selection of (A-C) double swing
- five-axis machine angle of rotation[J]. Modular Machine Tool and Automatic Manufacturing Technique, 2015(1): 16-18.
- [9] 郑颺默,林浒,卜霄菲,等.五轴机床通用运动学模型的设计[J].小型微型计算机系统,2010,31(10):1965-1969.
- ZHENG Liaomo, LIN Hu, PU Xiaofei, et al. Design of the generic kinematics model of five-axis machine tools[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2010, 31(10): 1965-1969.
- [10] 田荣鑫,任军学,孟晓贤,等.斜摆头五坐标数控加工机床的后置处理算法研究[J].机械设计与制造,2007(12):117-118.
- TIAN Rongxin, REN Junxue, MENG Xiaoxian, et al. Research of five-axis post processor for numerical control machine with tilt head[J]. Machinery Design and Manufacture, 2007(12): 117-118.
- [11] 唐清春,张健,马仲亮,等.国产双摆头五轴机床后置处理的研究[J].组合机床与自动化加工技术,2014(4):35-37.
- TANG Qingchun, ZHANG Jian, MA Zhongliang, et al. Study on the post processing of the domestic double swing head of five-axis machines[J]. Modular Machine Tool and Automatic Manufacturing Technique, 2014(4): 35-37.
- [12] DERICHE R. Using Canny's criteria to derive a recursively implemented optimal edge detector[J]. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(2): 167-187.

通讯作者:张丽艳,教授、博士生导师,研究方向为三维数字化测量,E-mail:zhangly@nuaa.edu.cn.

Development of on-Machine Vision Inspection System for Connection Holes on Aircraft Parts

GOU Jiangyang¹, CHEN Xuemei², YE Nan¹, ZHANG Liyan¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Manufacturing Technology & Project Control Department, AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

[ABSTRACT] For the needs of quick and accurate inspection of assembly connection holes on skin, skeleton and other aircraft parts, an on-machine vision inspection system was designed and developed. A specifically developed vision sensor is installed on the moving end of the five-axis CNC machine tool. According to the inspection path programed offline, the

(下转第50页)

Research on Application Framework of Measurement Planning Based on Model Definition and Quality Evaluation

DU Fuzhou, GUO Ruizhen

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

[ABSTRACT] The technology of three-dimensional inspection planning for parts is studied. An inspection planning and quality assessment framework based on multi-geometric characteristics is proposed. Then it is introduced through measurement requirements expression based on MBD, inspection planning, measurement execution and data preprocessing, and quality assessment. Finally, the prototype system was developed in the CATIA secondary development platform and the preliminary verification was carried out. The research provides technical support and methodological guidance for engineering and comprehensive evaluation of model-based measurement planning technology.

Keywords: Measurement plan; Quality assessment; CATIA; MBD; Digital test

(责编 逸飞)

(上接第36页)

CHEN Songlin^{1,2}, XIA Renbo¹, ZHAO Jibin¹, ZHANG Hongyao^{1,2}, HU Maobang^{1,2}

(1. Equipment Manufacturing Technology Department, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

[ABSTRACT] Aiming at dealing with the problem of digital detection of flush and gap between aircraft skins, the measurement technology of detection method is studied based on the grating projection technology. Firstly, the dense point cloud data of surface to be measured is obtained using the technology of grating projection; Then, the seam area is positioned from the image, and the point cloud data of the seam area is obtained according to the correspondence between the point cloud and the image; After that, the point cloud data is analyzed and the joint on both sides of a straight line segment is determined. And based on them, the flush and gap are calculated. Compared to the structure line technology, the proposed method can obtain more data. Besides, we can analyze all seams during one measurement and thus, the detection efficiency is very high. The experimental results show that the mean error of the proposed method is less than 0.03mm and the maximum error is less than 0.05mm, which can meet the requirements of aircraft skin seam testing.

Keywords: Aircraft skin; Grating projection measurement; Seam; Flush; Gap

(责编 李丹)

(上接第43页)

machine tool carried the vision sensor to each pre-determined position to grab image of each connection hole. The system software extracted and located the actual information of the connection holes from the image in a parallel processing way. An error evaluation procedure was developed in the software to finally complete the non-contact rapid connection hole inspection. The work flow, software and hardware architecture of the system were introduced. The key techniques such as the calibration of system parameters, the generation of NC inspection codes and the error evaluation method were discussed in detail. The inspection results of actual aircraft parts demonstrate that the efficiency of the developed on-machine vision inspection system is as high as 5s/hole, and the precision is about 0.01mm. It well satisfies the inspection requirements of large quantity of small size connection holes distributed on complex surfaces.

Keywords: Connection hole; On-machine inspection; Vision inspection; Image acquisition; Error evaluation

(责编 逸飞)