

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.03.03

基于点云三维重构的配合面装配间隙分析方法研究

赵海洋¹, 张洋¹, 兰志广¹, 李汝鹏², 刘巍¹, 邢宏文², 肖睿恒², 贾振元¹

(1. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024; 2. 国家商用飞机制造工程研究中心, 上海 200127)

摘要: 在大型航空复合材料零部件装配过程中难免出现装配对接间隙, 由于间隙较小, 当构件固定之后内部间隙不可达, 难以测量。因此, 为了克服这一难题, 完成装配体小间隙的测量, 本文提出了利用逆向重建和虚拟装配的方式进行装配间隙测量的方案。本文基于大型航空复合材料零部件测量的背景, 结合双目视觉测量原理, 采用视觉与激光相结合的测量方式, 研究从点云获取至装配仿真模型的逆向重建技术, 在 CATIA 的虚拟环境下完成装配间隙的测量。

关键词: 双目视觉测量; 逆向重建; 虚拟装配

中图分类号: TB853.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)03-0020-04

Research on Fitting Clearance Analysis Method Based on 3D Reconstruction of Point Cloud

ZHAO Haiyang¹, ZHANG Yang¹, LAN Zhiguang¹, LI Rupeng², LIU Wei¹,
XING Hongwen², XIAO Ruiheng², JIA Zhenyuan¹

(1. College of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Commercial Aircraft Corporation of China Ltd, Shanghai 200127, China)

Abstract: In the process of assembly of large aviation composite parts, assembly clearance is inevitable, because the gap is small, and when the component is fixed, the internal gap can not be accessed, so it is difficult to measure. Therefore, in order to overcome this problem and to complete the measurement of small gap in assembly, this paper proposes a method of assembly clearance measurement using reverse reconstruction and virtual assembly. Based on the background of the large aircraft composite parts measurement, combined with the principle of binocular vision measurement, this paper combines the measurement of vision and laser, studies the technology from point cloud obtained to the reconstruction of assembly simulation model, and measures the assembly gap by CATIA.

Key words: binocular vision measurement; reverse reconstruction; virtual assembly

0 引言

随着航空制造业数字技术的不断发展, 行业竞争将越来越激烈, 对飞机产品质量的要求也越来越高^[1]。近年来, 波音等飞机制造公司发现, 近代的逆向工程技术可应用到零件制造、流体动力学模型精度计算以及产品质量保证等领域^[2]。逆向工程是通过相应的数据采集软件, 将实物产品转化为精确的数字模型, 这与先有数字模型后有实物产品的过程正好相反。这是航空航天零件制造的一个新领域。

航空航天零件进行装配的过程中, 在翼身对接处、蒙皮与蒙皮之间等部位难免会出现间隙^[3]。传统的装配间隙测量方法主要有塞尺检测和人工观测检测等。但这些方法测量效率低、准确度差、人工影响大, 当装配间隙较小, 内部间隙不可达时, 无法利用传统方法进行检测。因此需要一种全新的数字化测量方式精确的测量并分析装配间隙。现有的数字化测量方法主要有三坐标测量法、室内 GPS 法、激光跟踪仪法、激光雷达法和机器视觉法。国内外诸多学者开展了结合数字化测量的零件逆向重建虚拟装配技术的研究, 如激光跟踪仪在线测量法、iGPS 在线测量法、数字照相机在线测量法等^[4], 但目前这些方法操作复杂, 对使用者要求较高, 测量时间较长。本文针对航空零件快速在线测量的要求, 提出了一种三维点云重构的配合面装配间隙分析方法。该方法通过双目相机结合激光

收稿日期: 2017-03-01

基金项目: 国家重点研究发展计划(973 计划)(2014CB046504); 优秀青年科学基金(51622501); 中国商飞创新基金专项(WBS-F-SFKT-0507); 国家自然科学基金(51227004, 51375075)

作者简介: 赵海洋(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大视场测量技术、三维数据的特征提取。

扫描技术获得三维数据点云, 提出边界拟合法和等距截线分块拟合法实现三维形面的重建, 结合基于 CATIA 的虚拟装配技术, 达到零件间隙测量分析的目的。总体流程图如图 1 所示。

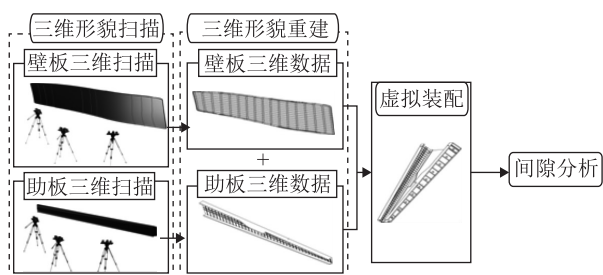


图 1 总体方案流程图

1 基于点云三维重建的配合面逆向重建技术

本文采用的是 CATIA 软件进行航空平板类零件的逆向重建与虚拟装配, CATIA 的逆向设计功能主要是在数字化曲面设计和快速曲面重建两个模块中实现的。通过 CATIA 的逆向设计功能对测量数据进行编辑、修补、平顺等处理, 能够保证重建曲面的准确度要求, 测量数据的处理和曲面的重新构造是逆向重建技术的两个关键步骤^[5]。

1.1 测量数据处理

测量数据处理主要是在数字化曲面设计版块中进行, 该版块主要用于点云数据的前期处理, 具有将测量的点云数据导入导出、删除杂点、点云过滤以及质量检查等功能, 其处理结果将直接影响零件的重建准确度。

在进行测量数据处理时, 应遵循两个原则: 一是点云轮廓的规则性。利用双目采集系统获取零件点云数据的过程中, 测量的边界处经常会有一些额外的点被测量在内, 使得点云数据的轮廓形状不规则, 影响重建结果。因此, 本文采用人工剔除杂点的方式, 根据拉伊达准则^[6], 设置 1 mm 阈值, 将偏离点云面此阈值范围的点定为杂点, 在 CATIA 环境下框选杂点进行删除, 使点云数据的轮廓与被测零件相符。二是点云数据的均匀性。通过视觉测量获得的点云数据一般数量过多、密度过大, 影响点云数据处理的速度; 点云分布不均匀, 会影响曲面重构等点云数据的后期处理。因此, 需要对点云数据进行过滤处理, 减少点云密度, 使点云图像均匀分布。

1.2 测量零件的曲面重构

对点云数据的前期处理完成之后, 就可以进入航天平板类零件逆向重建技术的曲面重新构造阶段。这

一阶段是逆向重建技术的后期处理, 是在“快速曲面重建工作台”中完成的, 主要具有曲面的编辑和重建等功能。在这一界面可以通过处理过的点云、网格面以及曲线, 使用拟合曲面的功能, 拟合成与现有的点云轮廓形状基本一致的曲面。对于边界明显、结构简单的零件可以采取边界拟合的方式, 即构造点云图像的封闭边界曲线, 通过拾取边界曲线作为曲面的外轮廓完成曲面重构。当被测物零件边界不规则, 表面结构复杂时, 可以采用等距截线分块拟合的方式重构曲面。这种方式是使用等间距截面截取点云图像, 并获得若干等距的截线, 将每两条截线拟合成小曲面, 最后拼接成完整曲面。间距按照激光光条的扫描频率即点云数据的间距进行设定。

2 重建模型的虚拟装配

虚拟装配从装配建模开始, 到装配仿真结束, 主要流程有: 装配建模、装配规划、干涉碰撞检查、可装配性研究和装配仿真。通过这一流程能够将实际的装配情况, 在虚拟环境中完整的模拟出来, 便于测量装配体中不可达的装配间隙^[7]。

通过将测量的点云数据逆向重建后得到的模型为零件模型, 而在进行零部件装配的过程中, 一方面要获得正确的装配位置, 另一方面要确定相互的约束关系, 按照一定的约束关系可以将零部件组装成相应的产品。在虚拟装配的过程中, 需要根据装配的实际情况选择相应的约束关系, 在 CATIA 中常用到的约束有如下几种:

①相约束, 适用于点、线、平面、曲面和轴系等几何元素, 通过相约束可以实现同心、同轴、共面等约束条件; ②接触约束, 适用于平面、圆柱面、球面、圆锥面的约束工具, 主要通过平面、曲面之间的相互接触获得约束; ③偏移约束, 用于对点、线、面等两个元素之间进行偏移一段距离的约束方式; ④角度约束, 是对线、面、轴线等两个元素之间的角度进行约束; ⑤固约束, 是选取活动的若干零部件, 按照现有的相对位置固定连接在一起的约束方式, 只要移动其中一个零部件, 整组零部件都会随之移动。

3 实验与分析

本次实验通过激光结合双目视觉的测量方式, 选取韩国 Vieworks 公司生产的 VC-12MC-M/C 65 型号工业相机和 Coherent 公司生产的 Lasiris PowerLine 激光发射器(测量误差在 0.47 mm 以内^[8], 由于装配要求测量误差在 0.8 mm 以内, 因此满足测量要求)。选取两

个等比例缩小的航空平板类零件作为实验对象,并在 CATIA 软件中完成其从点云获取至虚拟装配仿真模型的逆向重建,并分析其装配间隙。

3.1 三维形貌扫描

安装实验设备,完成双目视觉系统左右摄像机的标定。打开基于 LabVIEW 的数据采集系统,在信息采集系统界面,设置好相关参数后,打开辅助激光发射器并照射被测物,在开始采集之后,移动辅助激光光源,使激光扫描被测物。由于本文重点分析零件的装配关系,因此在测量过程中主要提取壁板类零件和肋板类零件装配部分的特征信息。拍摄过程如图 2、图 3 所示。

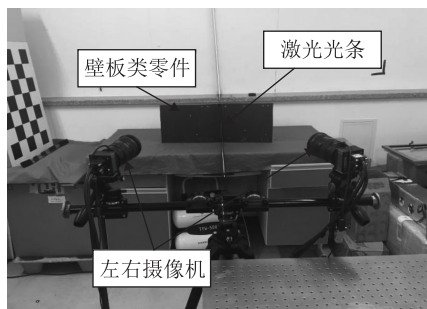


图 2 拍摄壁板类零件

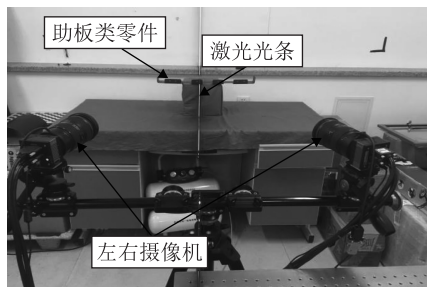


图 3 拍摄肋板类零件

通过信息采集系统采集到辅助激光光条图像之后,利用灰度重心法对激光光条的中心线进行提取,获取图片的二维像素信息。再根据前面的标定结果,获取整个待装配零件的三维点云数据。

3.2 三维形貌重建

3.2.1 壁板类缩比零件的逆向重建

1) 点云处理

点云加载完成后,需要对点云图像进行下一步的处理,使点云能够符合接下来的工作要求。编辑点云的操作主要包括删除点云、过滤点云、点云合并等。由于测量误差的原因,会发现在加载的点云图像里由部分点云不符合设计需要,因此需要进行人工删除。由于当点云密度太大时,会影响后期操作的速度,因此为了提高后期点云处理的速度,删除点云之后需要

进行一定的过滤点云操作。

2) 点云网格化

通过将点云网格化可以在点云上建立网格,使点云的几何形状更加明显,方便点云轮廓的建立以及曲线、曲面的创建。由于创建的网格面不平滑且破孔较多,因此使用网格面平顺功能可以使网格面更加平顺,使用网格面修补功能可以修补网格面的破孔使网格面更加完整。

3) 曲面重构

本文采用边界拟合法拟合曲面,因此在曲面重构之前需要进行基准曲线的创建,便于后面拟合曲面的相关操作。本文主要使用创建 3D 曲线的方式创建基准曲线,使其作为拟合曲面的边界线。之后,快速曲面重建界面使用强制拟合曲面的功能,在图像区域选取图待拟合的点云,并选取 4 条边界线,完成点云的拟合曲面操作。图 4 中深色为网格面颜色,浅色为拟合面颜色,由于拟合时会自动调整曲面轮廓,导致网格面与拟合面不重合。

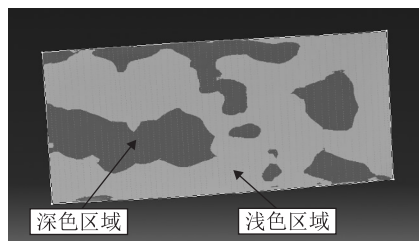


图 4 创建拟合曲面

4) 实体化

将曲面实体化的方式有填充材料、增加厚度等。本文使用的方式就是增加曲面厚度。在零件设计工作台使用“厚曲面”功能,使零件一的拟合曲面拉伸 3mm 的厚度,将点云图像和重建的曲面进行隐藏,并打孔处理后,得到实体模型,如图 5 所示。



图 5 壁板类缩比零件的实体模型

3.2.2 肋板类缩比零件的逆向重建

对肋板类缩比零件的测量数据处理操作步骤基本

与壁板类缩比零件相同,但是由于肋板类缩比零件的点云数据是测量装配部分得到的,并不是零件完整轮廓的点云信息,在得到拟合曲面后还需要对其进行修补与完善,最后重建的肋板类缩比零件的实体模型如图6所示。



图6 肋板类缩比零件的实体模型

3.3 虚拟装配

本次实验的主要研究内容是航天平板类零件的逆向重建,因此选取的装配零件为简易零件,同时装配过程也主要是为了验证重建模型是否与实体相吻合。

装配零部件的管理要在CATIA的装配设计工作台内进行,由于加载的两个零部件相对距离较远,而且装配面不在正当位置,因此需要将两个零件进行平移、旋转操作,移动到合适位置,使它们便于装配。本次装配采取的约束方式是相约束(以两个零件上孔的轴心进行相合),实现同轴,完成两个零件的约束。最后将两个零件进行装配贴合如图7、图8所示。

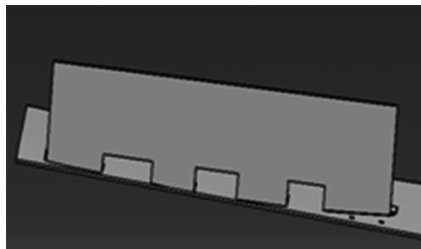


图7 虚拟装配体



图8 实际装配体

3.4 装配分析

当完成产品装配之后,需要对建立的装配模型进行分析,在CATIA工具栏的“分析”下拉菜单中选择“碰撞”选项,对模型进行碰撞与干涉分析。发现建立

的装配模型无干涉、碰撞。但由于是刚性装配,需要对装配模型的零件间的间隙进行分析。间隙分析主要是对两个零件的孔距进行分析。得到的结果如表1。

表1 装配间隙测量结果 mm

间隙测量	所用方法的 重建间隙	传统方法的 测量间隙	偏差值
间距一	3.25	3.91	0.66
间距二	1.254	1.84	0.586
间距三	2.411	1.96	0.451
间距四	7.092	7.52	0.468
间距五	9.984	10.57	0.586

由表1可知,两个零件除贴合面之外的最大孔距为9.984 mm,最小孔距为1.254 mm,与实际测量情况基本相符。

4 结束语

本文采用双目视觉结合激光扫描方式基于视觉测量系统的原理,通过基于LabVIEW的数据采集系统和MATLAB软件将待装配零件的二维图像信息,以3D点云的形式记录在计算机中,利用得到的点云数据在CATIA软件中完成航空平板类零件的重建、装配与分析的工作。从点云获取至可装配的虚拟装配仿真模型的逆向重建技术,具有操作简单、实时获取、方便分析等特点,对实现装配间隙测量具有实际意义,比较适用于大型航空构件装配下的应用。

参考文献

- [1] 阳波,陈金平,赖丽珍,等.基于样板实现飞机零件逆向建模[J].机械工程师,2016(01):86-88.
- [2] 陈文.逆向工程在航空上的应用[J].航空维修与工程,2005(02):30-32.
- [3] 沈昌力.飞机装配阶差与间隙视觉测量技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [4] 王巍,俞鸿均,安宏喜,等.大型飞机数字化装配在线测量技术研究[J].航空制造技术,2015(07):48-52.
- [5] 詹熙达.CATIA V5-6R2014机械设计教程[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [6] 刘宗宝,高世桥,杜井庆.测量数据剔除粗大误差与平滑处理的一种算法[C]//第三十一届中国控制会议论文集,2012.
- [7] 杨骥.飞机构件虚拟装配技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [8] Wei Liu. A Measurement Method for Large Parts Combining with Feature Compression Extraction and Directed Edge - Point Criterion [J]. Sensors, 2016.