

测量驱动的飞机部件数字化 对接系统实现技术研究

Research on Implementation Technology of Measurement Driven Aircraft Sub-Assembly Digital Joining System

北京航空航天大学机械工程与自动化学院 杜福洲 陈哲涵



杜福洲

博士,主要研究方向为质量管理信息化、质量工程、数字化测量技术及应用。

飞机产品外形复杂、尺寸大、零部件数量多,装配过程中采用大量成套装配型架,导致装配周期长、效率低。飞机部件对接主要包括部件的定位与连接,对接的质量是决定飞机整体质量的关键因素之一^[1-4]。随着航空制造业的竞争日趋激烈,传统测量手段已无法满足高效率、高精度的要求^[5-6],为了提高部件对接的效率和质量,国外从20世纪80年代开始

本文将飞机部件数字化对接系统分为硬件设备和软件系统两部分,通过分析测量驱动的部件数字化对接装配过程,研究数字化对接实现的关键技术,提出并开发了部件数字化对接支持系统,基于三维模型进行测量方案规划,并基于测量数据进行部件状态的监控和分析,进而实现部件的快速、精确、自动对接。

研究数字化测量驱动的部件对接技术,通过大尺寸数字化测量系统(如表1所示)的快速、精确测量,引导自动定位系统对部件进行定位,实现部件的对接。

在数字化测量系统应用方面,Bath 大学与英国国家物理实验室^[7]建立 iGPS 系统发射器的数学模型,采用蒙特卡洛仿真法对其角度测量不确定度进行分析。New River Kinematics 公司对激光跟踪仪多站测量不确定度进行研究,在 SA 软

件中建立 USMN (Unified Spatial Metrology Network),以实现多台激光跟踪仪测量数据的融合与不确定度的评价。在部件自动定位技术方面,AIT 公司针对自动定位系统所包含的组件研究了一套标准设计方法,只需对标准化的系统组件进行少量更改,即可快速形成一套针对具体装配任务的自动定位系统。

本文首先对测量驱动的飞机部件数字化对接技术的原理与系统构成进行了分析,给出了数字化对接支

表1 在部件对接装配中应用的大尺寸测量系统

| 测量系统 | 供应商 | 应用案例 |
|-----------|-------------------|--|
| 激光跟踪仪 | Leica/Faro/API | 波音公司波音 787 总装与机身对接、波音 747 FAIT 自动对接、波音 737 的翼身对接;空客 A380 机翼测量与分析 |
| iGPS 测量系统 | Metris/Arc Second | Lockheed Martin 公司的 JSF 总装测量和机身前后段对接; Boeing 公司的自动钻孔机器人定位 |

持系统的总体设计方案,研究了系统实现的关键技术并开发了相应的原型系统,最后以示例验证了该系统的可行性。

测量驱动的部件数字化对接系统原理及组成

飞机部件数字化对接系统分为硬件设备和软件系统。硬件设备由机械定位器、控制系统和数字化测量系统组成。其中,机械定位器由带反馈的伺服电机控制的三轴运动机构构成;控制系统接收调姿程序指令驱动机械定位器进行调姿;数字化测量系统用于构建大尺寸空间测量场,替代传统型架对部件进行定位并监控超差情况,如图1(a)所示。

软件系统即部件数字化对接支持系统,以用户交互的形式提供测量方案规划、测量数据采集与分析、测量过程仿真等功能,为测量驱动的部件数字化自动对接装配提供支持,系统功能结构如图1(b)所示。

在飞机部件数字化对接过程中,首先基于部件三维模型进行测量方案规划,确定测量系统配置形式和光学目标点的布局;然后基于产品数模提取光学目标点理论值,生成测量指令,驱动测量系统进行自动测量,获取部件的实际状态;最后,通过对测量数据处理与分析,生成对部件姿态进行调整的控制指令,驱动定位器运动完成部件自动对接。上述过程如图2所示。

部件数字化对接支持系统关键技术

1 光路干涉检测与分析技术

光路通畅是实现激光跟踪仪测量的前提,也是实现测量系统配置与光学目标点布局优化的关键,光路干涉检测与分析又可称作可测性分析或物理可达性分析。由于激光跟踪仪具有不同的工作模式,其不同工作模式下的激光光束实体模型也有

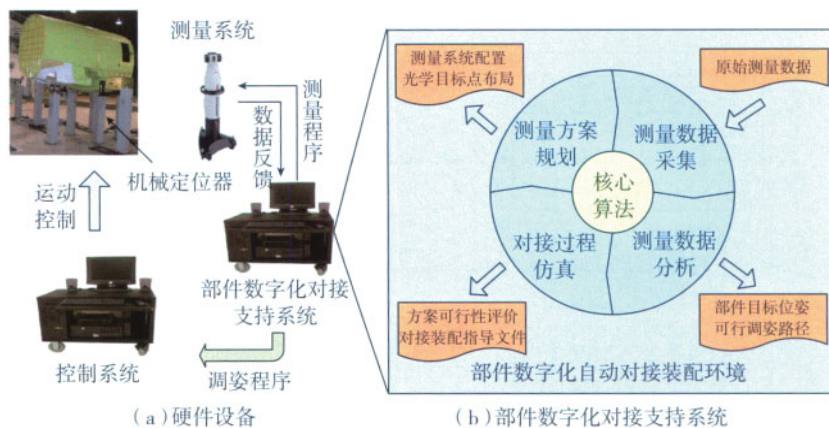


图1 部件数字化对接系统原理与组成

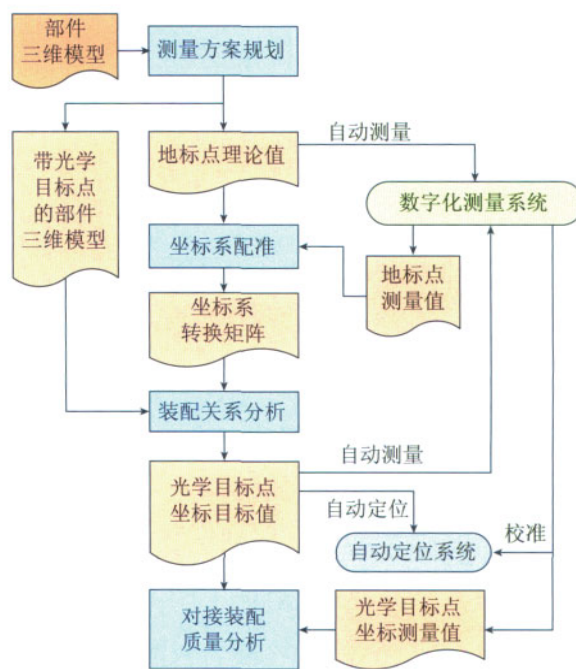


图2 测量驱动的数字化对接流程

所差别。在跟踪测量模式下,激光光束始终在激光跟踪仪光源和反射镜之间,只是其空间位置随反射镜的移动而改变。在自动寻点测量模式下,激光光束在已知空间点附近的有限区域内进行扫描搜索,只要求该区域内不存在挡光。因此,干涉检测算法的核心内容是激光光束几何实体模型和装配空间中所有待检测对象的求交。干涉检测算法的实现流程如图3所示。

通过对测量方案进行光路干涉分析,在虚拟环境下标识出发生干涉

的部位,从而辅助测量方案规划人员对相关的光学目标点位置和测量系统站位进行调整,减少在实际测量过程中出现问题的概率,降低测量成本。

2 基于数模的激光跟踪仪自动测量技术

飞机部件尺寸和体积大,部件对接过程中需要测量的光学目标点数量多,且分布范围广,目前采用手动方式进行测量,不仅工作量大,检测周期长,而且容易出错。基于激光跟踪仪控制系统的API可以与测量系

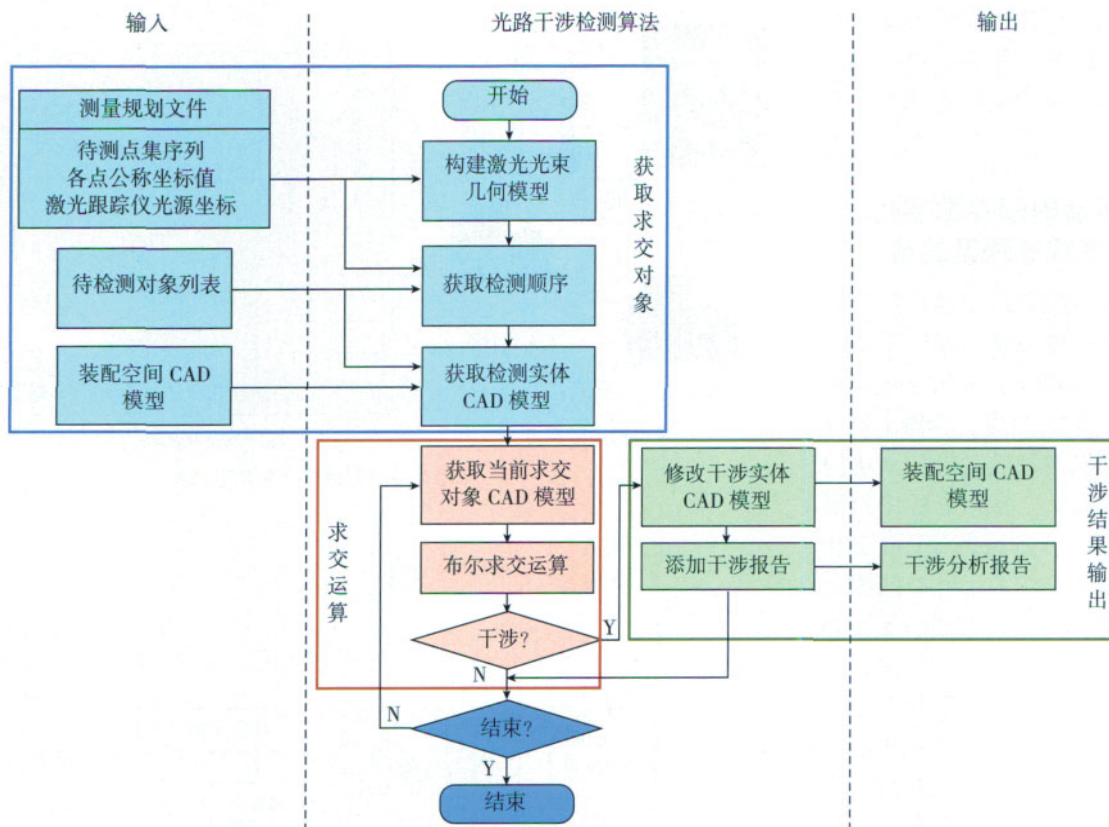


图3 干涉检测算法流程

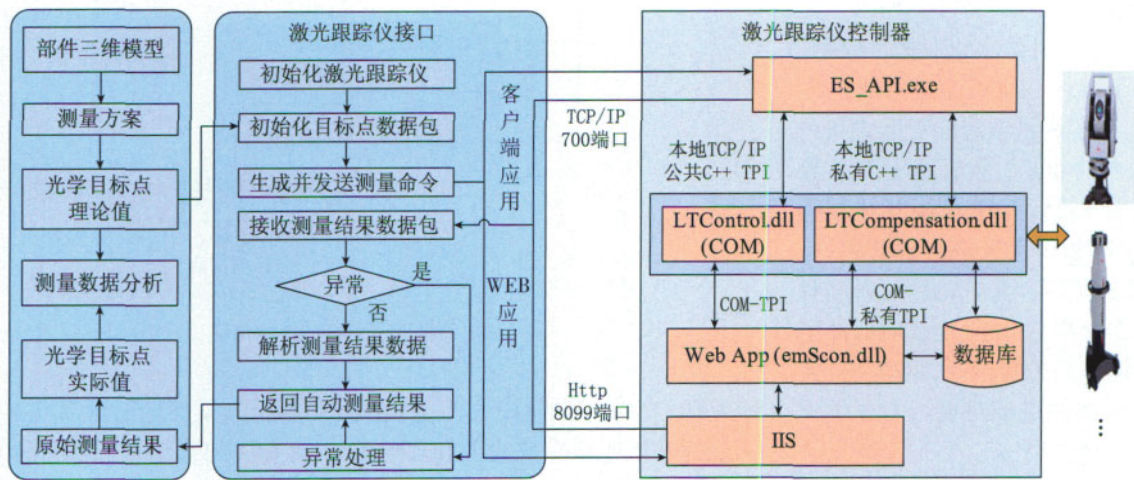


图4 基于emScon API的自动测量流程

统进行通信,进而实现基于数模的激光跟踪仪自动测量技术,从而可以根据待测的光学目标点集理论数据,生成控制指令,驱动激光跟踪仪进行自动测量,提高测量效率。以 Leica 激光跟踪仪为例,基于 emScon API 实现其自动测量的流程如图 4 所示。

emScon 是 Leica 提供的跟踪仪应用编程接口(Leica Tracker

Application Programming Interface, Leica Tracker API),为了与其他编程语言的 API 相区别,Leica 将其简称为 TPI,即 Tracker Programming Interface。TPI 使用客户端-服务器架构,客户端由用户编程实现,包括桌面程序和网页程序两种形式,服务器端即激光跟踪仪控制器,连接到激光跟踪仪对其进行控制。数据自动

采集模块使用激光跟踪仪接口向服务器端发送命令,控制器接收命令后进行相应处理,如自动寻点、静态测量、动态测量等,执行完成后,将结果返回给激光跟踪仪接口,由数据自动采集模块对原始数据进行解析。

3 测量数据处理与分析技术

飞机部件数字化对接过程中的数据处理与分析主要包括以下 4 个

方面:

(1) 装配基准构建。

在飞机部件数字化对接装配中,通常使用厂房地面的地标点作为对接装配的基准,首先测量各个地标点的坐标实际值,得到实际点集数据,然后从三维模型中获得相应的理论点点集数据,通过实际点集与理论点集的数据,通过实际点集与理论点集的坐标系配准,构建三维模型数据与装配现场实际数据间的坐标系转换矩阵,进而得到部件对接过程中各个光学目标点的实际测量值与其在三维模型上的理论值间的映射关系,从而为后续工作的进行提供基准。

(2) 伺服定位系统初始位置标定。

伺服系统的定位精度是影响最终对接装配质量的关键因素。部件数字化对接之前,需要对伺服系统的初始位置进行标定:通过测量定位器上的光学目标点,拟合出定位器支撑点的实际坐标,从而调整伺服系统以确保其支撑点的初始位置在定位器自身坐标系的原点。部件对接过程中的定位精度则由伺服定位系统本身的精度保证。

(3) 部件装配关系分析。

部件对接装配关系包括部件的位姿关系和部件连接面的配合关系两部分,对接装配的最终目的是为了

保证部件装配关系满足设计要求。基于三维模型对部件装配关系进行分析,建立部件位姿数据传递的数学表达式,从而能够基于现场测量数据对部件的实际位姿关系进行分析,快速确定待调姿部件的目标位姿,并对其进行调姿路径规划,进而支持伺服定位系统实现自动对接。

(4) 对接装配质量评价。

飞机部件对接后,需要检测其相对位置的正确性,判断是否符合产品图样和技术条件的要求,传统方法采用水准仪、光学经纬仪等测量设备测量飞机表面的关键点^[8],首先通过计算这些点在机身坐标轴方向上的偏差来调整飞机的水平状态,然后通过比较两个部件上对应点的相对位置,检验对接装配的质量。对接装配质量评价基于部件装配关系模型对部件最终状态的测量数据进行分析,能够快速、准确地给出量化的装配质量评价数据,为质量的改进提供依据。

4 对接过程仿真技术

在部件数字化对接支持系统中导入部件、测量系统以及定位系统的

三维模型,对部件对接全过程进行仿真,一方面,对测量方案和调姿方案进行检验,能够及时发现问题,减少损失;另一方面能够生成部件对接过程的指导文件,如对接过程动画等,为装配现场的操作人员提供指导。

应用示例

部件数字化对接支持系统基于CAA二次开发架构在CATIA软件基础上实现用户操作界面(如图5所示),基于VC++实现业务逻辑,基于Matlab引擎实现核心算法编程和调用。在测量方案规划阶段,首先导入部件三维模型(图5(a)),然后以用户交互的形式进行测量系统配置和光学目标点布局(图5(b)),最后对测量方案进行光路干涉检测与分析(图5(c));系统获取光学目标点的测量数据后,通过装配关系分析,给出可行的部件调姿方案,并基于三维模型对部件对接过程进行仿真(图5(d)),为实际装配过程提供指导。

结束语

飞机部件对接装配的数字化和自动化能够减少装配工作量,节省劳动力,并提高对接装配的精度和效率,是飞机部件对接装配技术的发展趋势。本文将飞机部件数字化对接系统分为硬件设备和软件系统两部分,通过分析测量驱动的部件数字化对接装配过程,研究实现数字化对接的关键技术,提出并开发了部件数字化对接支持系统,基于三维模型进行测量方案规划,并基于测量数据进行部件状态的监控和分析,进而实现部件的快速、精确、自动对接。最后通过机身前后段对接的示例对系统的可行性进行了验证。

本文共有参考文献8篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 泰山)

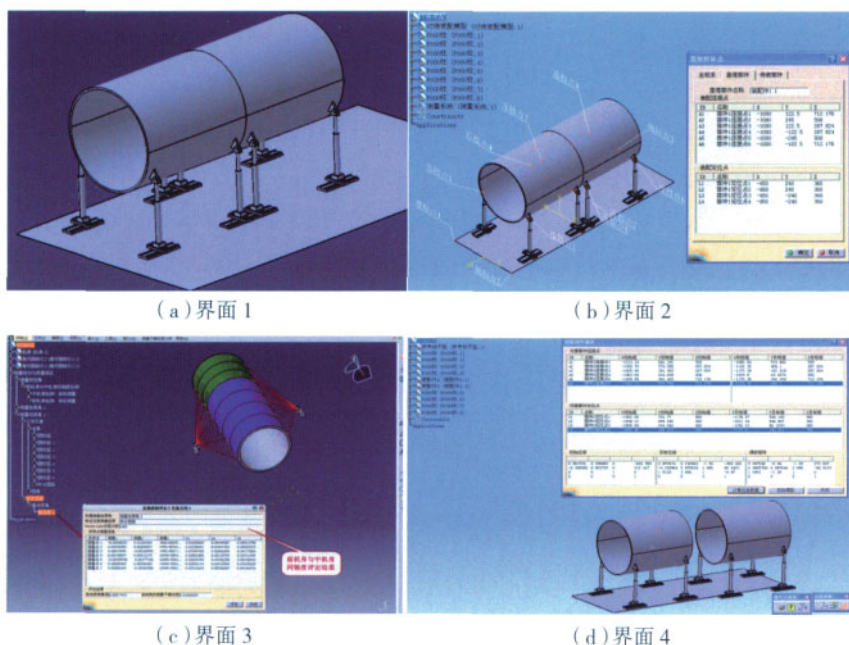


图5 部件数字化对接支持系统界面