

飞机数字化柔性装配测量系统及集成技术研究

Research on Aircraft Digital Flexible Assembly Measurement System and Integration Technology

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 杨 鹏 梅中义
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 涂晓君 龚会民 崔 勇



杨 鹏
硕士研究生,主要从事飞机数字化装配、激光跟踪测量等方面的研究。

要实现数字化柔性装配系统,必须实现数字化柔性装配测量系统与柔性工装控制系统的集成,通过实时准确的数据传输与精确的驱动控制来实现数字化柔性装配过程,因此,柔性装配系统集成技术的研究对于数字化柔性装配系统有着重要意义。

段需要有一套完整的数字化柔性装配系统作为柔性装配技术平台支撑。数字化柔性装配测量系统作为数字化柔性装配系统的重要组成部分,在飞机柔性装配过程中起到了重要的辅助作用。

要实现数字化柔性装配系统,必须实现数字化柔性装配测量系统与柔性工装控制系统的集成,通过实时准确的数据传输与精确的驱动控制来实现数字化柔性装配过程,因此,柔性装配系统集成技术的研究对于数字化柔性装配系统有着重要意义。

柔性装配测量系统概述

在飞机装配过程中,由于飞机自身零件数量多、精度要求高,因此装配难度大、过程复杂。而传统飞机装配过程中采用了大量的专用装配工

装,这些工装的设计周期长、存储占地面积大,这都不利于提高装配质量与装配效率。因此,为适应现代飞机制造与装配的要求,需要采用数字化柔性装配系统。

针对某航空企业实际需要,研制了一套用于飞机部件的数字化柔性装配系统,文章主要针对其中的数字化柔性装配测量系统及系统集成技术进行了研究与开发。飞机数字化柔性装配测量系统是飞机数字化柔性装配系统中的重要组成部分,其工作原理^[1]为:把装配部件在柔性工装上装夹好,并将光学靶镜安装到待装配件基准点上,通过飞机数字化柔性装配测量系统控制激光跟踪仪测量装配件上的光学目标点位置,获得定位基准点位置坐标,再将测得的坐标数据信息传递给信息处理系统,通

飞机数字化柔性装配技术是近年来兴起的飞机装配技术,开拓了以信息化技术为核心的新方向,在世界各国的航空企业中得到了广泛应用。我国数字化柔性装配技术还处于起步阶段,在飞机装配过程中,很多地方还是利用传统飞机装配方法进行装配,这一现状阻碍了我国飞机制造业的进一步发展,因此,现阶段

过与数字标工数据信息进行比较分析与解算,得到装配件装配位置的修正值。将修正值传递给运动控制系统,驱动多个柔性工装定位装置协调调整装配件的位姿,直到装配件的位姿达到公差要求,从而实现装配件间的精确定位,同时通过柔性装配虚拟仿真平台进行模拟仿真。系统结构图如图1所示。

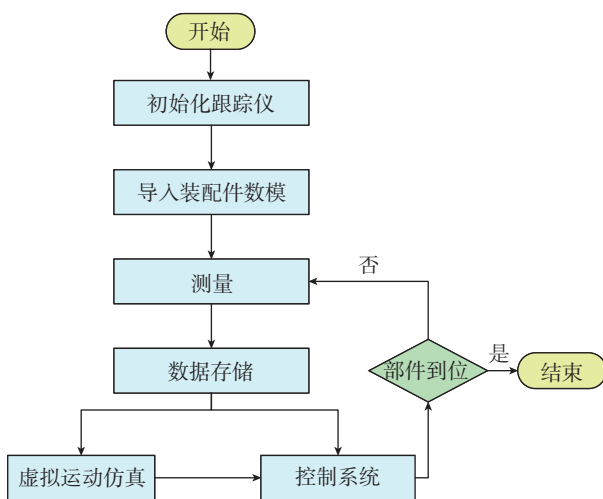


图1 数字化柔性装配测量系统结构

柔性装配测量关键技术

1 激光跟踪测量技术

近年来,在测量领域中,激光跟踪仪已经得到了广泛的应用,而激光跟踪测量技术也随着激光跟踪仪的应用迅速的发展起来。激光跟踪仪的种类很多,现阶段应用较多的有LEICA公司推出的AT401、AT901型激光跟踪仪,以及美国API公司推出的Tracker三代激光跟踪仪等。

激光跟踪仪的基本工作原理:首先,在待测目标点上放置一个反射靶镜,跟踪仪发射出的激光通过反射靶镜反射回跟踪仪,当反射靶镜移动时,反射光线会发生变化,并不断将变化反馈给跟踪仪,跟踪头通过调整光束方向来对准靶镜,同时,跟踪仪自身的检测系统通过检测返回光束的信息,测算得到目标点的空间位置,完成三维空间坐标信息的采集^[2]。

本测量系统中采用LEICA公司推出的激光跟踪仪,其优点是同时利用了ADM(绝对测距仪)和FM(激光干涉仪)技术,并且测量速度快、测量精度高、测量范围广,对飞机柔性装配系统的实现有着重要作用。

2 轮询测量技术

(1) 轮询调度算法。

轮询调度算法的原理是根据输入队列的自然顺序依次循环的调度数据负载输出,即第一次调度1号队列中的一个有效数据输出,第二次调度2号队列中的一个有效数据输出,依次类推,调度到N号队列后,再从1号队列开始^[3]。具体一个循环的实现主要需经过请求、响应、接受3步^[4]。

(2) 轮询端口法。

轮询端口法是通过周期性地读取缓冲区的信号来发现是否有事件发生并进行处理的方法。这种方法能够在足够频繁地轮询端口的情况下保证不会遗失任何数据或者事件。轮询的频率取决于缓存的大小、数据量和对快速响应的要求^[5]。

(3) 轮询测量算法。

在飞机柔性装配过程中,需要利用3台激光跟踪仪实时同步测量并传输数据信息,由于一台计算机在同一时刻只能与一台激光跟踪仪建立数据通信,因此我们需要利用轮询测量的思想来解决3台激光跟踪仪同步测量问题,即保证同一时刻只有一台激光跟踪仪占用数据传输线路,当一台激光跟踪仪进行测量时,其他激光跟踪仪为监听等待状态。

轮询测量算法如下:当装配部

件稳定后,一号激光跟踪仪测量目标点坐标,存储数据完成后,测量系统建立与第2台激光跟踪仪间的通信,控制二号激光跟踪仪测量并存储数据,完成后自动建立与三号激光跟踪仪间通信,直到三号激光跟踪仪存储数据完毕,停止测量,测量控制权交回一号激光跟踪仪。然后将3组测得数据传到柔性工装控制系统,通过控制系统解算,驱动工装定位器进行下一步移动,整个过程不需要操作人员干涉,自动进行。以下是实现3台激光跟踪仪同步测量的具体方法:

①从计算机向一号激光跟踪仪发出测量命令,控制一号跟踪仪进行测量,为了跟踪测量数据的状态,我们在测量系统中设置一个bool类型的测量标志位IsFinishedMea,初始值为false。

②一号跟踪仪对计算机给出的测量命令进行响应,当一号测量并存储完成后,令IsFinishedMea值为true,此时通过轮询端口法寻找二号激光跟踪仪(寻跟踪仪的IP地址),并连接二号激光跟踪仪,连接成功后,令IsFinishedMea值为false,之后进行测量并存储数据。

③当二号跟踪仪测量完成并存储数据后,令IsFinishedMea值为true,此时通过轮询端口法寻找三号激光跟踪仪,连接成功后,令IsFinishedMea值为false,之后计算机发出命令使三号跟踪仪进行测量并存储数据。当三号跟踪仪完成测量并存储数据结束时,计算机再重新寻找一号跟踪仪。

重复进行以上3步操作,最终实现3台激光跟踪仪轮询测量功能,功能原理如图2所示。

3 坐标转换算法

在实现虚拟装配仿真过程中,需要实现柔性工装及飞机壁板真实装配过程,因此需要通过坐标转换算法实现柔性工装运动及壁板姿态调整。这里我们采用的方法是利用数模上

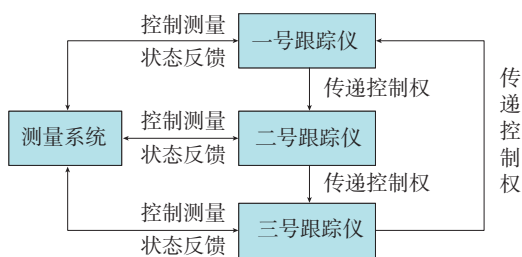


图2 轮询测量原理

的3点前一时刻与后一时刻的坐标值,再通过各自转换矩阵完成坐标转换。

对于空间任意一个非零向量 $\vec{x} = (x, y, z)^T$, 以单位向量 $\vec{ON} = [a, b, c]^T$ 为旋转轴方向向量, 旋转角度为 θ 的旋转变换的变换矩阵表达式^[6]如下:

$$M = \begin{bmatrix} a^2 + (1 - a^2) \cos \theta & ab(1 - \cos \theta) - c \sin \theta & ac(1 - \cos \theta) + b \sin \theta \\ ab(1 - \cos \theta) + c \sin \theta & b^2 + (1 - b^2) \cos \theta & bc(1 - \cos \theta) - a \sin \theta \\ ac(1 - \cos \theta) - b \sin \theta & bc(1 - \cos \theta) + a \sin \theta & c^2 + (1 - c^2) \cos \theta \end{bmatrix}$$

根据3台激光跟踪仪测得的坐标值,再通过利用各自的变换矩阵可得到装配坐标系下的坐标值,从而实现跟踪仪自身坐标系向装配坐标系的转换。

柔性装配测量系统

飞机数字化柔性装配测量系统的主要功能是完成激光跟踪仪与计算机之间的通信,控制激光跟踪仪进行测量,并且需要实现对装配过程进行可视化观察与控制。测量系统中,激光跟踪测量仪与计算机之间的通讯采用串口通信模式,根据飞机数字化柔性装配需要,通过 LEICA 公司提供的与激光跟踪仪配套的软件二次开发包进行系统开发,实现了激光跟踪仪的连接、初始化、回鸟巢、寻找靶镜、静态测量、稳定点测量等功能^[7]。

(1) 激光跟踪仪连接。

跟踪仪连接功能的实现主要利用了串口通讯协议,利用跟踪仪软件二次开发包来实现激光跟踪仪与计

算机间的通信。主要利用函数如下:

```
bool Create(); // 创建 TCP/IP 通信
```

```
bool Connect(LPCTSTR lpszHostAddress, UINT nHostPort); // 第一个参数为跟踪仪的地址,第二个参数为通信端口
```

```
int Send(const void* lpBuf, int nBufLen, int nFlags = 0); // 发送数据
```

```
int Receive(void* lpBuf, int nBufLen, int nFlags = 0); // 接收数据
```

(2) 激光跟踪仪初始化。

通过激光跟踪仪初始化操作,建立起计算机与激光跟踪仪之间的通信,同时对激光跟踪仪当前状态进行检测,保证激光跟踪仪能够正常工

作。激光跟踪仪初始化功能主要通过 Initialize() 方法实现。

(3) 激光跟踪仪回鸟巢。

在飞机数字化柔性装配过程中,难免会出现由于人为或非人为的外部干扰而出现测量过程中光路中断的情况,而对于 IFM(干涉测量)方式来说,出现此状况的一般解决方法就是回鸟巢,因此,在激光跟踪测量系统中设计了回鸟巢功能。

激光跟踪仪回鸟巢功能可通过

提供的 API 函数 GoBirdBath() 来实现,将靶镜放回到激光跟踪仪鸟巢位置,测量系统中添加回鸟巢功能,通过 GoBirdBath() 方法,来控制激光跟踪仪进行回鸟巢,当回鸟巢成功,跟踪仪处于测量准备就绪状态。

(4) 激光跟踪仪寻找靶镜。

在实际测量中由于激光跟踪仪与靶镜之间存在遮挡或者靶镜移动过快等情况发生使跟踪仪与靶镜之间失去联系时,若使用的是 ADM(绝对距离测量)方式,则需要寻找靶镜操作,从而恢复激光跟踪仪与靶镜之间的联系,使测量可以继续。主要通过 FindReflector() 方法,来实现激光跟踪仪寻找靶镜位置。

(5) 静态单点测量。

由于在柔性装配过程中需要采集靶镜基准点初始坐标,所以测量系统中需要实现静态测量功能,主要通过调用软件二次开发包中的 StartMeasurement() 方法实现静态测量功能。

(6) 稳定点测量。

动态柔性装配原理是,利用3台激光跟踪仪,每一台测量待测部件上的一个基准点(3个基准点不能在同一条直线上),测量完毕后,将3台跟踪仪得到的数据传递给柔性工装控制系统,通过柔性工装控制系统进行处理,然后驱动定位器移动一个步长,当定位器停止并稳定以后,激光跟踪仪再自动进行一次测量,然后再

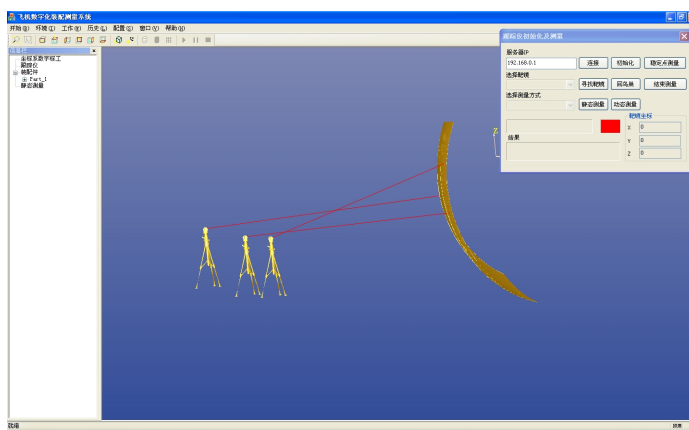


图3 数字化柔性装配测量系统

把数据传入柔性装配控制系统,经过控制系统的计算与处理再驱动定位器移动一个步长,如此反复进行,最终在误差范围内使实际测量的3个点坐标达到理论基准点坐标。

根据动态柔性装配的要求,测量系统需要实现稳定点测量功能,即当待测点坐标值稳定后测量一次,然后转入停止等待状态,直到待测点坐标稳定后开始下一次测量。由于二次开发包没有提供能够直接实现此功能的方法,因此,需要设计一套算法对功能进行实现,算法如下:

① 判断跟踪仪当前状态,如果跟踪仪当前准备就绪,测量一次。

② 再次判断跟踪仪状态以及上一次测量的坐标值。在这里我们设置一个坐标范围,若检测到的坐标值与上一次测量坐标值之差在此范围内,认为测量目标未移动,继续检测,当待测坐标值与上一次测量坐标值之差超过给定范围,我们认为测量目标已经移动,此时若跟踪仪状态为就绪,待测点已稳定,开始测量一次。

③ 继续等待并检测跟踪仪状态,状态稳定后返回执行步骤1。

稳定点测量方法可以在确定柔性工装定位器稳定后自动进行测量,减少了人工参与,减少人工操作出现的错误,能有效提高装配效率。

上述功能实现了测量系统与激光跟踪仪间的通信及跟踪仪测量功能,系统总界面如图3所示。

柔性装配系统集成

飞机数字化柔性装配系统由柔性装配测量系统、柔性工装控制系统、柔性工装机械结构部分等组成,系统原理如图4所示^[8]。

在实现飞机数字化柔性装配的过程中,柔性装配测量系统与柔性工装控制系统之间的数据传输是非常重要的,只有通过有效的数据传输,并保证传输过程中数据的完整性,测量系统才能将测得的数据信息实

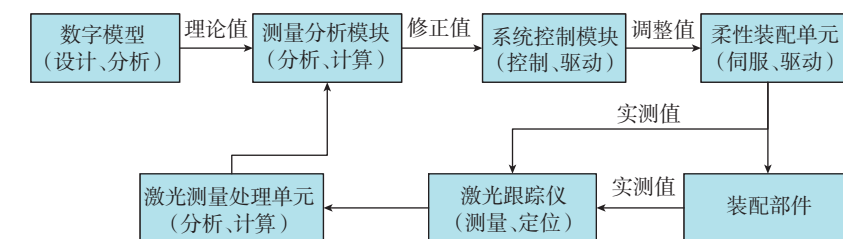


图4 飞机柔性装配系统

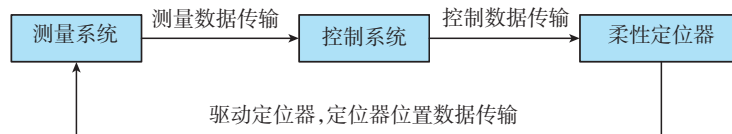


图5 测量系统与控制系统集成

时并准确无误地传递给工装控制系统,再通过工装控制系统驱动柔性工装定位器运动,实现柔性装配过程。因此,必须实现测量系统与柔性工装控制系统之间的集成。

本文中主要介绍的集成方法是在控制系统开发过程中建立起数据接收接口,并建立动态链接库,测量系统通过调用动态链接库中的接口函数与柔性工装控制系统进行数据传输,从而实现测量系统与柔性工装控制系统的集成。实现流程如图5所示。

通过实现柔性装配测量系统与柔性工装控制系统的集成,最终实现一套较完整的数字化柔性装配系统,系统集成结构如图6所示。

通过集成系统实现了飞机部件柔性装配工作,实现了装配过程中定位、调整、夹紧等工作的数字化控制^[9],有效的提高了装配效率以及装配质量。

结束语

通过数字化柔性装配技术,可以有效提高装配效率与装配质量,从长远意义上来讲节约了成本,提高了

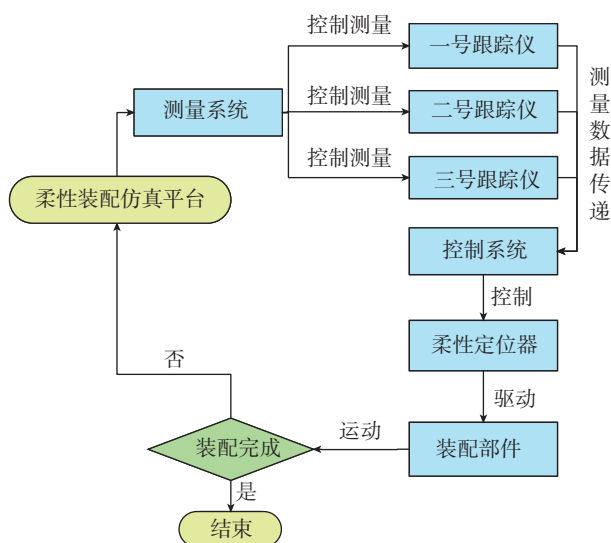


图6 数字化柔性装配系统集成

经济效益,并且能够适应激烈的市场竞争和不同的用户需求,提高市场竞争力,逐步缩短我国与国际先进水平的差距。飞机数字化柔性装配是飞机制造业未来发展的必然之路,飞机数字化柔性装配测量系统在整个飞机柔性装配系统中有着重要的辅助作用,研究并开发出一套完整的柔性装配测量系统并实现其与工装控制系统的集成是实现飞机数字化柔性装配系统的关键,对未来飞机制造业的发展具有非常重要的意义。

本文共有参考文献9篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 深蓝)