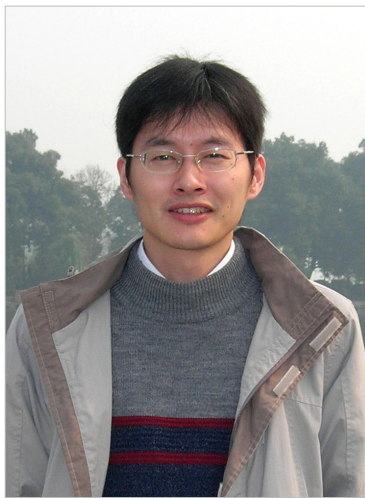


面向大型飞机装配的组合式 大尺寸测量系统*

Combined Large-Scale Measurement System for Large Aircraft Assembly

南京航空航天大学机电学院 丁力平 陈文亮
上海飞机制造有限公司 卢 鹤



丁力平

博士,南京航空航天大学机电学院航空宇航制造工程系讲师。主要从事飞机自动化装配技术、数字化设计制造等方向的研究。

现代先进飞机装配技术追求的是快速自动化装配对接,其主要特征是数字量协调取代模拟量协调,数字化定义模型、三维数字化测量设备和自动化装配设备(如工业机器人、定

本文针对大型飞机装配测量的应用特点,围绕组合式大尺寸测量系统进行研究,论述了各类测量系统的工作原理,并给出关键技术的实现方案,为面向大型飞机的大尺寸测量技术的研究与应用提供技术参考和方法指导。

位器)的集成应用实现装配过程的自动化。其中,数字化测量技术是大型飞机数字化制造的核心组成技术,为飞机装配过程中检测和保证机体结构的制造符合性、定位精确性和装配协调的准确性提供了辅助技术手段^[1]。

目前,国内飞机制造业对于大尺寸测量系统的应用方式局限于电子经纬仪、激光跟踪仪、激光雷达等单类型、单台测量仪器的使用^[2-3],对于多仪器组合式测量系统的关键技术尚未完全掌握,仍需进一步深入研究。为此,本文开展面向大型飞机的组合式大尺寸测量系统的工作原理及关键技术研究,以拓展大尺寸测量技术在飞机装配中的深化应用,提升国内飞机制造领域的测量水平。

飞机装配大尺寸测量特点

现代大型飞机具有整体尺寸大、结构外形复杂、装配精度要求高等特点,因此面向飞机装配的数字化测量技术必须以飞机装配需求为核心,解决大尺寸空间的精确测量问题。飞机装配过程中的大尺寸空间测量主要有以下几个特点。

1 大量程下的精密测量

飞机装配测量通常是对几米至几十米大量程范围内物体的尺寸、形面、空间轨迹等的几何测量。同时,反映飞机关键特性的测量点在空间坐标的绝对测量精度一般为0.1~1mm。因此,以有效测量量程100m为例,测量系统的相对测量精度应介于1~10ppm,其测量不确定度

* 中央高校基本科研业务费专项资金(NS2012106),国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金(SAMC12-JS-15-016)资助。

(2σ) 小于 $20\mu\text{m}/\text{m}$ 。由此可见,飞机装配检测对测量系统提出了极高的相对精度要求,尤其在大尺寸远距离检测时,单个测量设备基本难以满足精度要求。

2 多样化的检测特征

飞机装配检测任务可能包含多个被测对象,根据测量目的的不同可涉及关键控制点、密集点云、形貌边缘等多样化类型的检测特征,各检测特征的检测部位和测量数据要求不同,需要选择相应的测量系统进行测量。此外,被测对象的尺寸、材料、表面物理特性等也决定了选用接触式或非接触式测量模式。因此,独立使用单一测量系统无法胜任复杂装配检测任务。

3 多尺度的现场测量

面向飞机装配的测量系统主要集中应用在技装、部装、总装装配现场,包含工装的校准定位、部件装配与型面测量以及大部件对接等环节,是局部中、小尺寸与全局总体大尺寸的多尺度测量。由于局部测量空间复杂,容易造成测量盲区、测量误差累积等问题,而且测量系统必须在大空间装配现场进行组建、校准和量值传递,因此,必须综合运用各种测量系统,形成局部精确测量与全局准确传递的现场检测控制体系。

组合式大尺寸测量技术

为解决大型飞机装配测量过程中存在的各类矛盾和问题,将多种测量系统相互结合使用的组合式大尺寸测量技术已成为飞机数字化测量的发展趋势。组合式大尺寸测量以多个远距离测量设备为基础构建全局测量网络,控制和约束整体空间的测量精度,再根据被测对象的几何特征设置近距离终端测量设备,完成多样化检测特征的直接测量,其功能原理如图1所示。

组合式大尺寸测量系统可依据被测对象的大小及飞机装配现场空

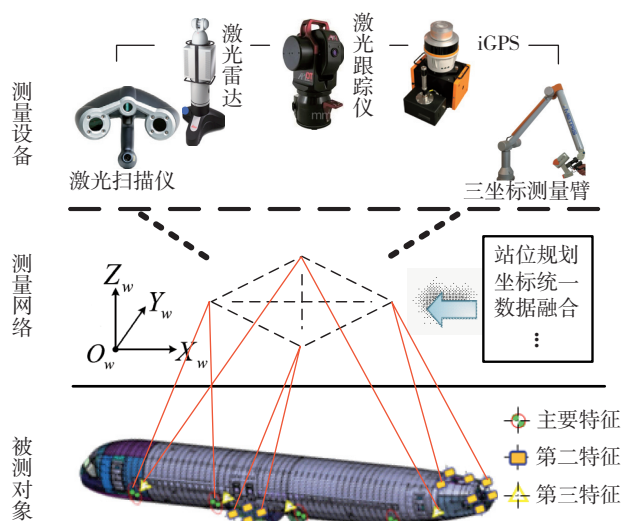


图1 组合式大尺寸测量

间条件,对多个站位的测量设备进行灵活配置,可全方位覆盖几十至几百米的测量空间,并完成多个测量任务。同时,全局测量网络内大尺寸全局测量控制设备和小尺寸局部特征测量设备协同工作,通过各系统误差传递控制,可兼顾大测量范围和高测量精度,极大地提高飞机装配的质量和效率。

组合式测量平台及关键技术

1 多站组合式测量平台

多站组合式测量平台根据距离交汇或角度交汇原理通过长度和角度的测量实现待测点的高精度空间坐标测量^[4],利用多台同类型的测量设备(如激光跟踪仪、全站仪、激光雷达、CCD相机)同时跟踪测量同一测量目标,以扩大测量范围,实现待测点的高精度空间坐标测量。

多站组合式测量系统在测量过程中需要2台及以上测量设备同时工作,因此测点的测量值受到单台设备独立瞄准精度、设备数量以及布站位置的影响。以多站式激光跟踪仪的长度测量为例,第*i*个测点坐标和系统布站位置可由式(1)确定。

$$\min E_i(P) = \sum_{j=1}^k d_{ij}^2(L, S, P), \quad (1)$$

$$\min E(S, P) = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m d_{ij}^2(L, S, P), \quad (2)$$

$$d_{ij}(L, S, P) = [(X_i - x_j)^2 + (Y_i - y_j)^2 + (Z_i - z_j)^2]^{1/2} - L_{ij}, \quad (3)$$

其中, E_i 为第*i*个测点的偏差, S 为反映设备独立瞄准精度的系统参数,可采用自校准技术并根据式(2)确定。 (x_j, y_j, z_j) 为第*j*台激光跟踪仪的布站位置坐标, (X_i, Y_i, Z_i) 为第*i*个校准测点的坐标值,所有测点用集合*P*表示, L_{ij} 为第*i*个测点在第*j*台仪器中的绝对测量距离。

2 协同组合式测量平台

协同组合式测量平台通过大尺寸远距离测量设备和小尺寸近端测量设备的合理配置并协同工作,发挥不同设备的性能优势以满足大型零部件不同检测特征的测量需求。协同组合式测量平台不仅可扩大测量范围,而且能解决测量任务中的测量盲区问题。如激光跟踪仪的测长单元与经纬仪、全站仪的测角单元组合,可提高全局测量精度。常用的组合方案有激光跟踪仪+关节臂、激光跟踪仪+激光扫描仪、iGPS+关节臂^[5-6]。采用不同类型测量设备构成的协同组合式测量系统可发挥各测量设备优势,实现柔性测量。

由于协同组合式测量平台中测量设备的性能和工作原理差异较大,因此如何实现测量设备与检测特征的优化配置,制定合理的测量策略是高效、准确完成测量任务的关键。如图2所示为基于检测特征的测量平台配置规划过程。该规划过程中以

理论模型的精度分析。

3 网络组合式测量平台

前述2种大尺寸组合测量平台在飞机装配过程中可提高测量精度、扩大量程范围,但多个测量设备只能同时测量同一个目标点,无法完全解决整个测量过程的多任务并行处理

站的几何结构,通过计算机数据信息处理获得被测点的方位信息。网络组合式测量平台可同时检测多个部件,实时性和并行性优异,有效协调了飞机装配测量中精度与量程的矛盾。目前,已见报导的网络组合式测量平台主要有室内GPS(iGPS)^[7]和移动空间坐标测量(MScMS)^[8]两类系统。

室内GPS系统主要由2个及以上发射基站、接收器(位置传感器)和中央处理器组成,其工作原理如图3所示。分布在测量空间不同位置的发射基站产生两束倾斜的扇形平面光信号和同步脉冲光信号两类信号,安置在待测点的接收器用于接收光信号,并将其转换成电信号后通过Zigbee无线网络传输给中央处理器,再由中央处理器基于各发射基站的相对位置和姿态关系解算出各接收器所在测量点的空间三维坐标。

iGPS可对测量目标进行全方位空间测量,其测量精度与发射基站的数量与空间布局,测量过程中接收器的移动,测量网络的校正以及测量环境因素有关^[9]。采用4台发射基站,当发射基站间距离在5-20m范围内时,其测量误差可控制在0.012-0.048mm^[10]。并且,随着发射基站数量的增加,测量范围可呈线性增加,而测量精度几乎不损失。

MScMS系统与iGPS系统的工

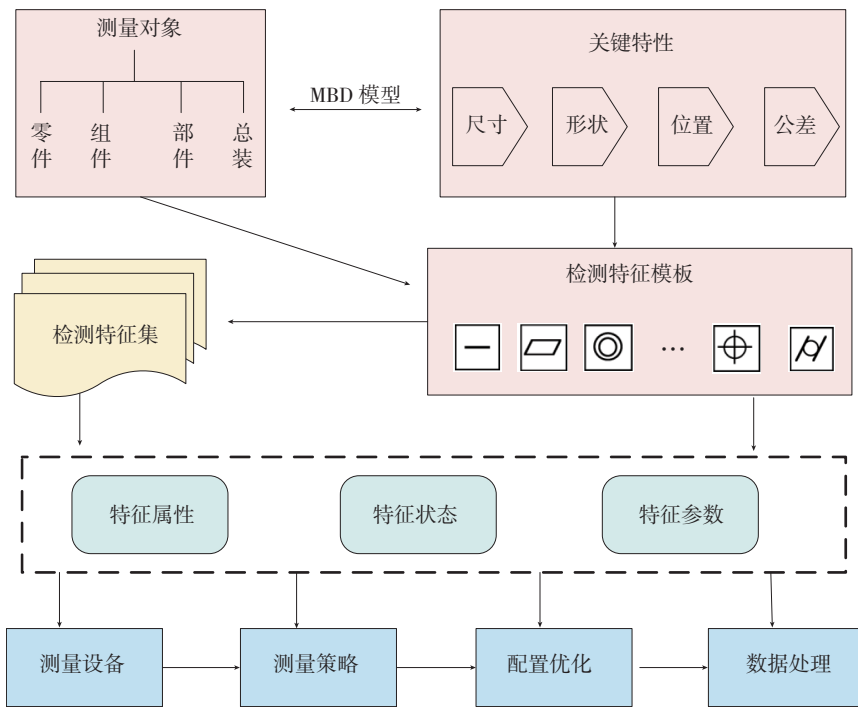


图2 基于检测特征的测量平台配置规划过程

MBD模型表达的零件结构和数据集为参照依据,通过制造树逐级映射分解,并按照制定的检测特征模板提取和归纳装配部门关注的各零部件关键尺寸、形状和位置等几何要素的公差要求,形成适应测量过程的检测特征集。其中,以特征属性、特征状态和特征参数为特征元素进行特征的定义和规范描述。在测量平台配置规划过程中,以检测特征和测量设备为约束,以测量精度、测量效率等为评价指标,并构建测量平台配置方案优化模型,对不同测量方法与检测特征的匹配程度进行定量评估,获得各检测特征测量的最优配置方案。最后,通过不同测量设备的接口协议进行数据融合与处理,完成检测数据与

和全局通视问题,测量效率难以大幅提高。网络组合式测量平台由多个测量基站、终端传感器和信号接收器构成测量网络,并利用测量网络中基

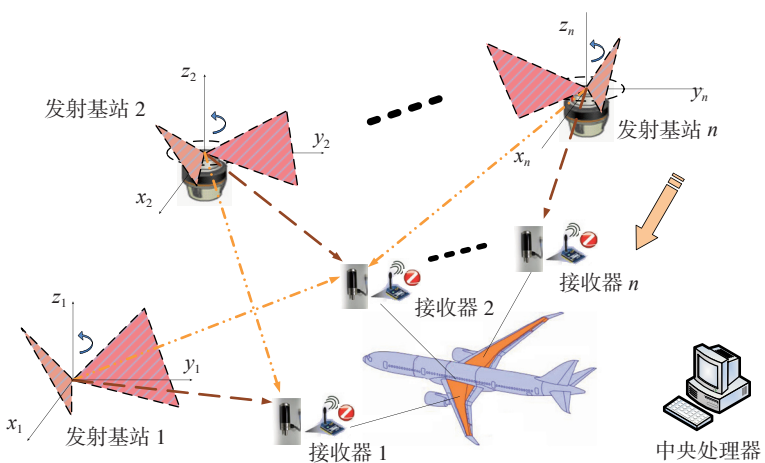


图3 iGPS测量系统工作原理

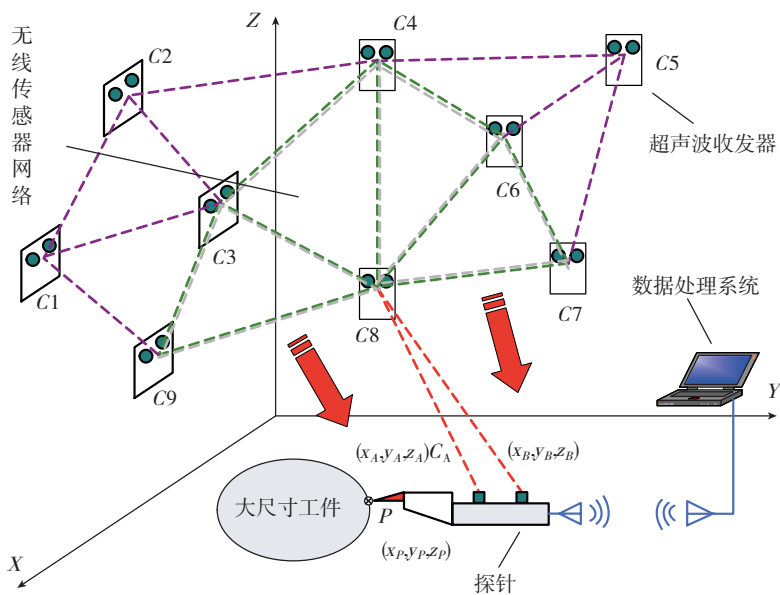


图4 MScMS测量系统工作原理

作原理十分相似,都是基于无线传感器网络主导的测量系统,主要区别在于MScMS运用超声波技术来计算空间距离。MScMS主要由超声波收发器、可移动的探针以及数据处理系统3个部分组成,其工作原理如图4所示。超声波收发器作为网络节点分布在空间的不同位置,可产生一定频率的无线射频信号波(RF)和超声波信号(US)。通讯域内的节点通过接受或发射RF和US来确定各自的网络位置。移动探针同时托管2个超声波收发器CA和CB,并接收最近超声波收发器的信号,这些信号数据最终通过Bluetooth无线模块传输给计算机数据处理系统。数据处理系统基于不同的信号传播速度和时间间隔解算出CA、CB的空间位置坐标,由此间接获得待测点P的空间坐标。

MScMS系统的测量范围通常在30~60m,可应用于中到大型零部件各类测量特征(如点、线、面)的三维空间静态或动态测量。而且该系统不需要很复杂的安装、启动和校验过程,操作过程相对简单。但是超声波的衍射和发射易受到外界因素的干扰,通常需在室内环境进行测量,测

量可靠性低于iGPS。

网络组合式测量平台由多个区域测量网构成,如何构建测量网络,通过合理布置各子网及全局控制网的资源,优化设计网络中各基站的布局,是提高测量系统整体性能的关键,其基本过程如图5所示。

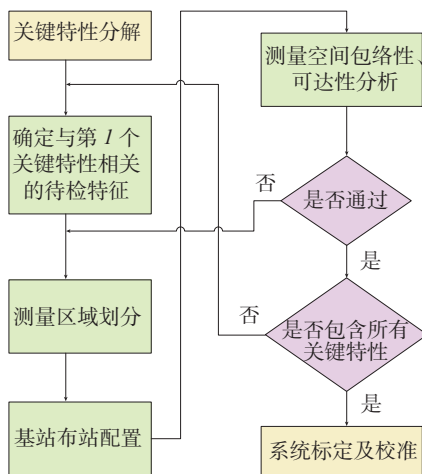


图5 测量网络构建过程

组合式大尺寸测量系统的应用

据GamBit公司提供资料,欧洲空中客车公司同时应用2台Leica激光跟踪仪,辅助完成了A380的翼身自动装配对接(见图6),解决了该

型客机翼身大尺寸构件的测量问题。在对接过程中,2台激光跟踪仪利用布设的5个公共点构建具有统一坐标系的组合式测量系统。其中,单台激光跟踪仪的测量精度为0.01mm/m,整个测量系统在6m范围内的绝对测量精度则可达 $\pm 0.06\text{mm}$ 。

网络组合式测量系统iGPS在大空间测量时无需转站就可实现多任务、多用户测量,并且测量精度较高,被广泛应用大型飞机装配制造的多个领域(见图7)。目前,iGPS系统已成功应用于波音787的41段、47/78段机身与43/44/46段的对接及机身检测,空客A380的总装对接,洛克·马丁公司JSF的全机水平测量。此外,iGPS系统还应用于自动钻铆、焊接等机器人运动的实时定位跟踪,装配车间自动牵引运输车(AGV)的路径导航,以保证大空间全局定位精度。

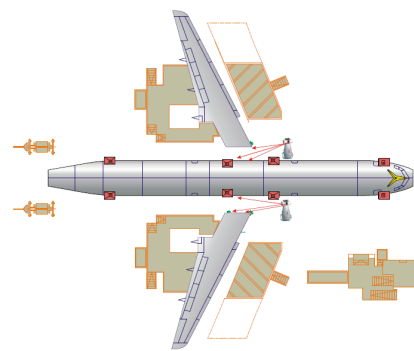


图6 A380翼身自动对接

结束语

在大型飞机的制造及装配过程中,实现大型零部件几何尺寸、形位误差和空间位置的高精度测量,已成为保证全机制造质量的关键。组合式大尺寸测量系统测量范围大、精度高,尤其能胜任复杂现场的多任务测量,是大型飞机数字化测量的发展趋势。本文针对大型飞机装配测量的应用特点,围绕组合式大尺寸测量系统进行研究,论述了各类测量系统的工作原理,并给出关键技术的实现方

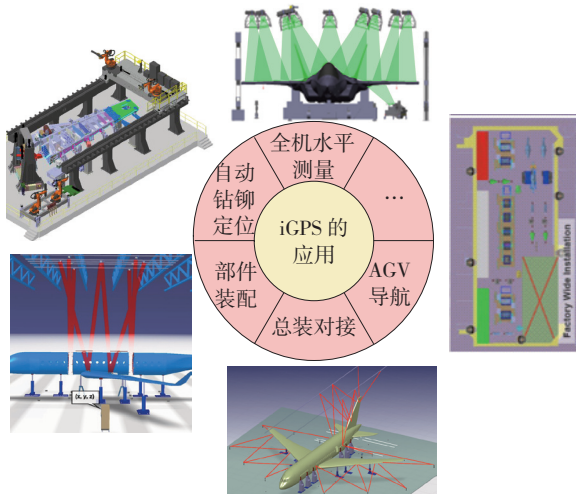


图7 iGPS在大型飞机装配测量中的应用

案,为面向大型飞机的大尺寸测量技术的研究与应用提供技术参考和方法指导。

参考文献

[1] Marguet B, Ribere B. Measurement-assisted assembly applications on Airbus final assembly lines. SAE Transactions,

2003,112(1):372-375.

[2] 吴晓峰, 赵祉江, 柳权. 大空间尺寸测量及大部件运输、跟踪、定位技术. 航空制造技术, 2009(24):38-41.

[3] 郭洪杰. 浅谈数字化测量技术在飞机装配中的应用. 航空制造技术, 2011(21):26-29.

[4] Greeff G P. A study for the development of a laser tracking system utilizing multilateration for high accuracy dimensional metrology[D].

Stellenbosch University, 2010.

[5] 全志民, 唐文彦, 刘建新, 等. 基于激光跟踪仪和坐标测量臂的工业测量系统. 计量技术, 2008(5):13-16.

[6] Nikon Metrology N V. Metrics iSpace prepares large castings for accurate milling in record time[EB/OL]. http://de.nikonmetrology.com/case_studies/inspace/castings/.

[7] Maisano D, Jamshidi J, Franceschini F, et al. Indoor GPS: System functionality and initial performance evaluation. International Journal of Manufacturing Research, 2008, 3(3):335-349.

[8] Franceschini F, Galetto M, Maisano D, et al. Mobile spatial coordinate measuring system (MScMS)- introduction to the system. International Journal of Production Research, 2009,47(14): 3867-3889.

[9] Franceschini F, Galetto M, Maisano D, et al. Distributed large-scale dimensional metrology: Indoor GPS. Springer London, 2011: 23-25.

[10] Muelaner J E, Wang Z, Martin O, et al. Verification of the indoor GPS system, by comparison with calibrated coordinates and by angular reference. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23(6):2323-2331.

(责编 小城)

- WSUT-P是五森研制新一代超声波专用探伤设备,设计先进,选材精良,精工细作的制造工艺。
- 用于航空航天、核电电力、石油石化等重要产品的管、棒材超声波检测。
- 高精度的主机检测系统,采用国际先进的电容耦合技术,旋转头、三辊定心驱动装置集成在同一升降检测平台上,保证探伤区域同心度及产品检测稳定可靠。
- WSUT-P配置计算机控制系统,提供人机交互界面、动画显示、数据存储、报表打印、通讯等功能。



A380

上海五森检测设备研制有限公司

地址: 上海市宝山区大康路325号A-4 邮箱: wusenjiance@163.com
 电话: 021-56484445 56484442 网站: www.wusenjiance.com

广告索引号 13-064