



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111272099 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 202010247834.8

(22)申请日 2020.03.31

(71)申请人 许斌

地址 610065 四川省成都市一环路南一段
24号四川大学机械学院测控系305室

(72)发明人 许斌 刘凯 胡子阳

(51)Int.Cl.

G01B 11/24(2006.01)

G01N 21/95(2006.01)

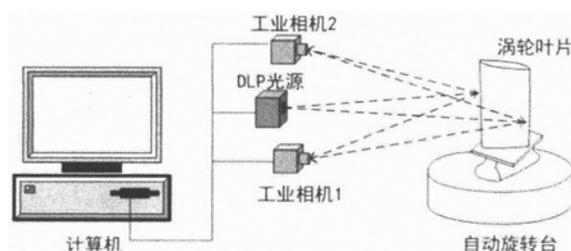
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统

(57)摘要

本发明公开了一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统,该系统通过利用两台摄像机同步接收航空发动机涡轮叶片反射的光栅图像,得到一系列点云数据,结合图像算法,对点云数据处理以后恢复航空发动机涡轮叶片的高精度三维模型,根据得到三维模型,对测量系统和重构的叶片模型进行评估分析,完成对航空发动机涡轮叶片型面几何质量的高速度、高精度和多参数无损检测。



1. 一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统,该系统通过利用两台摄像机同步接收航空发动机涡轮叶片反射的光栅图像,得到一系列点云数据,结合图像算法,对点云数据处理以后恢复航空发动机涡轮叶片的高精度三维模型,根据得到三维模型,对测量系统和重构的叶片模型进行评估分析,完成对航空发动机涡轮叶片型面几何质量的无损检测。

一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统,属于无损检测技术领域,主要针对航空发动机涡轮叶片难以高速度、高精度和多参数检测的技术需求,提供一种涡轮叶片几何面形质量的无损检测系统。

背景技术

[0002] 在航空发动机的制造过程中,叶片是其中较为重要的组件,其型面复杂且尺寸跨度较大,在运行的过程中会受到较为严重的外力,工作情况较为恶劣,航空发动机叶片的几何形状与其尺寸对于其工作性能有着重要的影响。如今的航空发动机发展对航空发动机叶片的几何面形质量的检测精度和效率也提出了更高的要求。由于航空发动机涡轮叶片制造工艺复杂且要求精度高,属于薄壁易变性材料,在制作过程中易出现电解损伤、锻造裂纹等现象,因此,高效、高精度的完成发动机涡轮叶片几何面形质量的测量是制造行业研究的重要课题之一。

[0003] 由于航空发动机叶片叶身型面是自由的空间曲面,其型面参数没有确定的规律,这使得叶片的测量极其不便,传统测量方法有样板法、三坐标测量机测量法以及激光扫描法,其效率、精度及成本对比见表1。

[0004] 表1 传统测量方式对比

	测量方法	效率	精度/mm	成本
[0005]	样板法	最高	0.1~0.5	低
	三坐标测量机	较低	0.001~0.003	最高
	激光扫描法	较高	0.01~0.03	高

[0006] 样板法、三坐标测量机测量法以及激光扫描法检测效率低、存在检测盲区、检测精度不高等问题。

发明内容

[0007] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供了一种面向航空发动机叶片表面三维形貌的面结构光精密检测系统,其技术方案是:

[0008] 1.检测系统组成

[0009] 系统主要由计算机(含软件)、工业相机1和工业相机2、自动旋转台以及DLP光源等组成,如图1所示。系统工作时,涡轮叶片只需放置于自动旋转台即可。

[0010] 2.软硬件设计及开发

[0011] (1)系统硬件设计及开发

[0012] 硬件优先选择分辨率较高且适用种类多、具备软件同步功能的黑白摄像机,并要

求摄像机的传感器为面阵CCD;镜头则考虑焦距大于8毫米、规格较大、畸变率小于1%且拥有可变光圈的镜头;面结构光光源选择DLP。

[0013] (2) 系统软件设计及开发

[0014] 底层算法语言选用C++,将所写的核心算法封装库函数,针对选择的硬件开发相应的上位机时用C#调用所封装的库函数,以此完成相关软件的设计与开发。

[0015] 3. 关键技术

[0016] (1) 摄像机标定及采集相位信息

[0017] 如图2所示,摄像机标定是准确测量被测涡轮叶片的必要过程,目的是确定双摄像机内外参数。摄像机的针孔模型是一种理想模型,它忽略了镜头畸变,故必须对镜头畸变进行校正。校正后的双摄像机需要进行参数关联以确定两个摄像机的位置和参数关系,如此才能将摄像机得到的图像进行匹配,关联后利用投影法评估关联误差,再对误差进行校正即完成摄像机标定。

[0018] 如图3所示,相位信息的采集是视觉系统中非常重要的环节,目的是获取涡轮叶片的形貌信息,其关键技术主要包括两个方面:

[0019] 第一,应该保证左右两个摄像机同步采集。首先在系统与摄像机之间建立可靠通讯,然后为每个摄像机完成初始化,随后即可开启摄像机的采集功能。

[0020] 第二,应该保证投影和采集过程的协调性。保证每投出一幅光栅都被有效采集并保存下来,只有在前幅光栅保存之后才会进行新的光栅投影。

[0021] (2) 标准四步相移解相位包裹

[0022] 相位计算主要分为主值相位求解和相位展开两部分,其最主要目的就是使每个像素点都有唯一相位值。DLP投射的数字光栅条纹因涡轮叶片的放置从A点调制至C点,由此产生相位差 $\Delta\phi$,相位主值包含被测涡轮叶片型面质量的三维信息,对于主值相位的求解,标准N步相移法对系统的随机噪声具有最佳的抑制作用,本项目利用标准四步相移法计算相位主值,获取所需的点云数据。

[0023] 如图4标准四步相移法测量原理所示,L点为CCD相机的光学中心且到地的距离为L,B为DLP,BC连线平行于参考平面且BC距离为D。可以看出,DLP投射的原本位于A点的光栅图像,由于物体高度的调制转移到了C点,其中AC的距离为S,D的高度为H,若投射的光栅周期为T,放上物体后与放物体前的相位差为 $\Delta\phi$ 。

[0024] 由三角形相似原理可知

$$[0025] \quad H = \frac{LT\Delta\phi}{2\pi D + T\Delta\phi} \quad (1)$$

[0026] 由于L、D可以通过实验测量,T是已知的,那么高度测量的关键就转化为对 $\Delta\phi$ 的计算。已知投射的均为正弦光栅,那么物体各点的光强为

$$[0027] \quad I(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos \varphi(x, y) \quad (2)$$

[0028] 式(2)中存在三个未知数,直接获取 $\varphi(x, y)$ 有一定难度,则采用四步相移法,引入相移量 $\pi/2$,那么正弦光栅可以表示为

$$[0029] \quad I_k(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos\left[(k-1)\frac{\pi}{2} + \varphi(x, y)\right] \quad (3)$$

[0030] 其中k为采样次数,k=1,2,3,4。代入k值,通过计算可得

$$[0031] \quad \varphi(x, y) = \arctan \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad (4)$$

[0032] 如此便可求解 $\Delta\varphi$, 带入式 (1) 即可求解高度值H。

[0033] (3) 真三维形貌重建及面形质量获取

[0034] 如图5所示, 面型质量的获取主要依靠点云数据和处理算法。点云数据经处理后可去除漂浮点等无效点, 获取有效数据后可对点云进行合并从而构建涡轮叶片的三维模型, 该三维模型可输出为所需的格式, 则其型面质量参数便可轻易获取。

[0035] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

[0036] (1) 测量速度快, 缩短整个测量过程所用的时间;

[0037] (2) 测量数据完整, 可三维重构及多几何参数检测;

[0038] (3) 非接触式测量, 测零件无损;

[0039] (4) 测量过程所需的成本低, 系统一旦搭建完成, 调试之后就能投入使用, 且后期无需进行繁琐的维护。

附图说明

[0040] 图1为系统组成示意图;

[0041] 图2为摄像机标定方法;

[0042] 图3为图像采集流程图;

[0043] 图4为相移法高度值求解模型;

[0044] 图5为获取型面质量流程图;

[0045] 图6为实施流程图。

具体实施方式

[0046] 下面结合附图对本发明进一步说明。

[0047] (1) 进行相机参数标定及双相机参数关联;

[0048] (2) 通过DLP投射数字编码光栅, 同时相机进行光栅相位捕捉;

[0049] (3) 利用四步相移法求解三维点云数据后进行点云数据的合并与拼接;

[0050] (4) 进行几何面形质量的获取, 实施流程见图6。

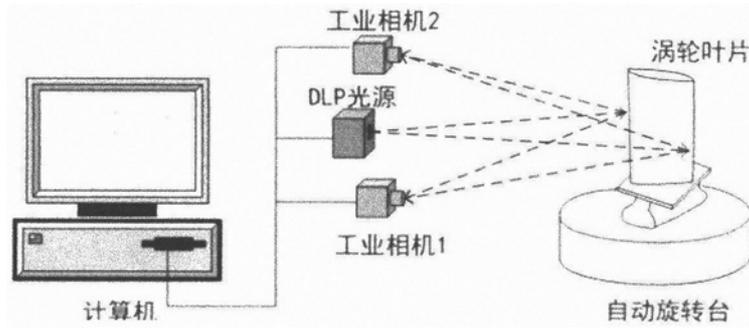


图1

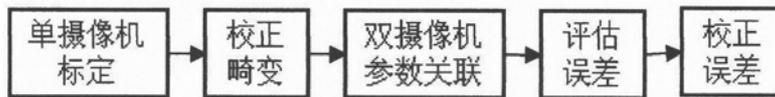


图2

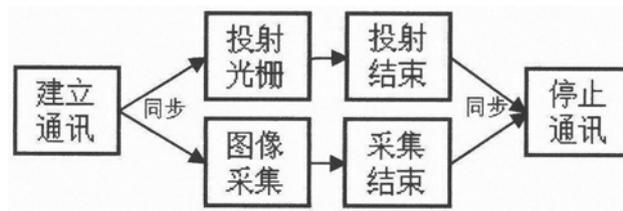


图3

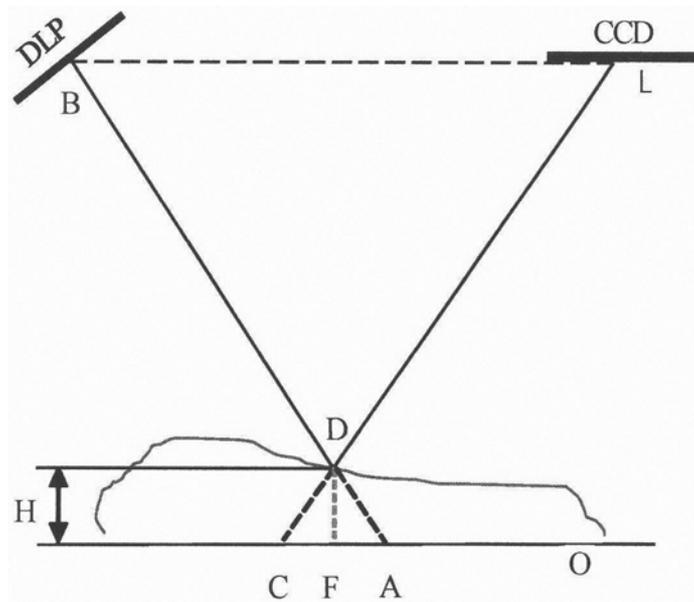


图4

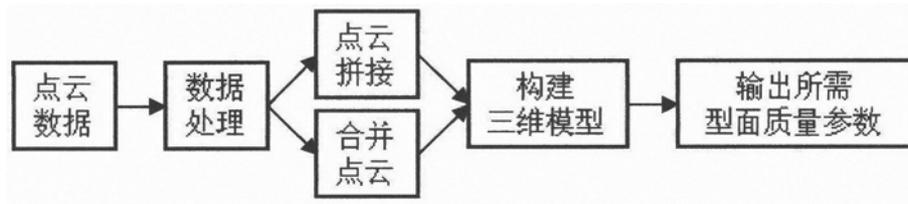


图5

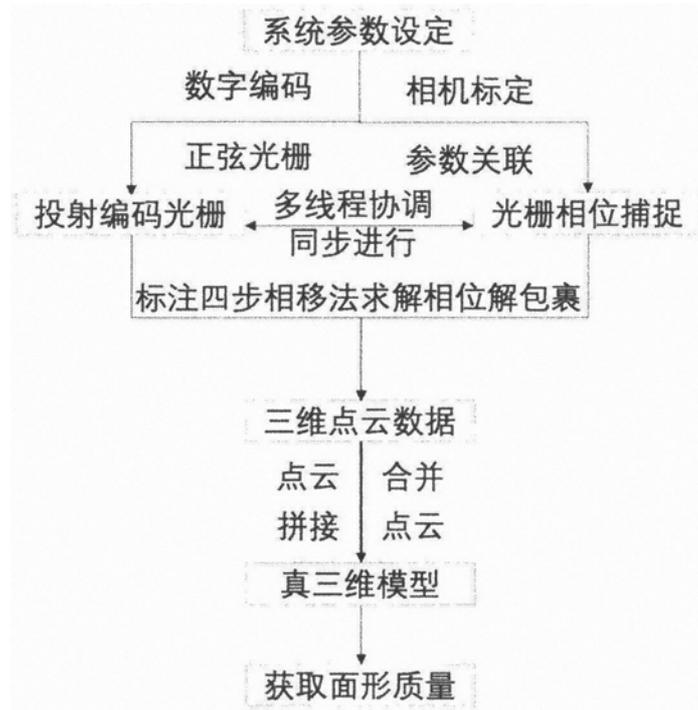


图6