



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113324491 A

(43) 申请公布日 2021.08.31

(21) 申请号 202110300854.1

(22) 申请日 2021.03.22

(71) 申请人 中国地质大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)工程技术学院19号楼122室

申请人 中国地质大学(北京)郑州研究院

(72) 发明人 唐云龙 李应朝 岳文 康嘉杰 朱丽娜 余丁顺

(51) Int. Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

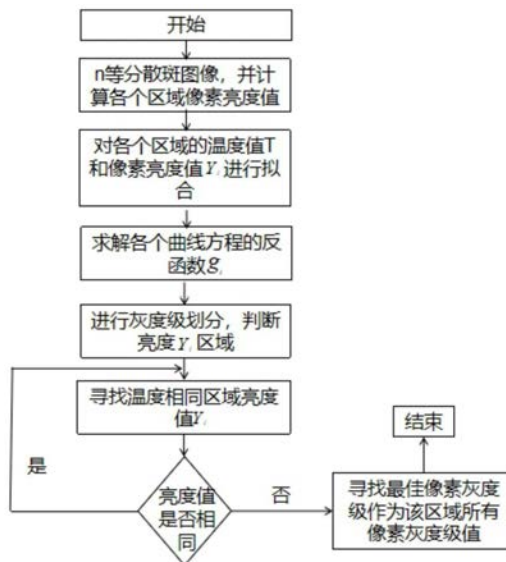
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置

(57) 摘要

本发明具体涉及一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置,属于高温下材料性能测量技术领域,该装置包括:智能处理模块、加热模块、传动模块、图像采集模块,本发明通过安装有多个滤波片的多光谱相机实现不同通道下图像的采集,并使用一种简化的亮度校正算法校正热辐射所引起的非线性亮度变化,然后采用一种基于机器学习的角点检测方法对散斑图像进行角点检测,最后通过对变形后图像中的角点进行匹配,进而求解出高温环境下散斑图像的变形场,整个测量过程由该装置智能化完成,有效的提高了变形场测量效率,并且本发明通过对热辐射引起的非线性亮度进行校正,有效的减小了热辐射对求解变形场所造成的影响,提高了变形场求解精度。



1. 一种基于多光谱相机的变形场测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:加热模块对被测样品进行高温加热,同时使用蓝色LED照明光源照射样品表面;

步骤二:图像采集模块对样品表面进行多通道图像采集,并传输至智能处理模块进行处理;

步骤三:智能处理模块根据相关辐射测温理论计算出光谱发射率 $\varepsilon(\lambda, T)$ 和真温 T ,进而求解出被测样品真实温度场;

步骤四:智能处理模块根据真实温度场分布对热辐射所引起的非线性亮度变化进行校正;

步骤五:智能处理模块对校正后的散斑图像进行角点检测及匹配;

步骤六:同时,智能处理模块通过计算全局图像子区中角点和匹配点的位置差来求得最终的散斑图像变形场。

2. 如权利要求1所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法,其特征在于:

设图像采集模块有 n 个通道,则第 i 个通道输出信号的电压值 V_i 可以表示为

$$V_i = A_{\lambda_i} \varepsilon(\lambda_i, T) C_1 \lambda_i^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda_i T}} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

A_{λ_i} 是只与波长有关的仪器常数,它与该波长下探测器的光谱响应率、光学元件透过率、几何尺寸及第一辐射常量有关, $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 是温度 T 时的目标光谱发射率, λ_i 是相应通道的波长, C_1 是第一辐射常数, C_2 是第二辐射常数。

3. 如权利要求1所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法,其特征在于:

根据辐射测温理论,假设发射率的对数与波长表现为下述关系,

$$\ln \varepsilon(\lambda_i, T) = a_0 + a_1 \lambda_i + a_2 \lambda_i^2 + \dots + a_n \lambda_i^{m+1} \quad (2)$$

在测量中取 n 个波长处的光谱强度进行测量就可以得到符合(1)式的 n 个方程,再使用回归算法可拟合出发射率函数和动态的温度,求解得到光谱发射率 $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 和真温 T 后,通过读取多光谱相机每一个单元的电流即可计算出每一个单元的真温,进而可以求解出真实温度场。

4. 如权利要求1所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法,其特征在于:一种简化的非线性亮度校正方法,智能处理模块通过获得修正的各个亮度区域的像素灰度级数,以此来校正热辐射所引起的亮度非线性变化,具体算法实现方法如下:

S1:智能处理模块将采集到的散斑图像进行 n 等分,并计算各个区域的像素亮度值 Y_i ;

S2:根据散斑图像温度场分布和每个区域的各个像素亮度值得到多个区间 $M_1(\Delta T_1, \Delta Y_1), M_2(\Delta T_2, \Delta Y_2), \dots, M_n(\Delta T_n, \Delta Y_n)$,对这各个区域的数值进行拟合,得到各个区域像素亮度值 Y_i 与温度 T 之间的关系 $Y_1 = f_1(T_1), Y_2 = f_2(T_2)$

, $\dots, Y_N = f_n(T_n)$, 为了使校正后误差更小, 对各个区间拟合时应使各个区域线性拟合的数学函数表达式相关系数最大;

S3: 分别求解各个曲线方程的反函数 g_i ;

S4: 灰度级划分: 根据所要显示灰度级数 m 将采集到的散斑图像的灰度区间 $[L_{\max}, L_{\min}]$ 等分 $m-1$ 份, 灰度级 K 对应的亮度为 Y_k , 判断亮度 Y_k 落在哪个区间 $M_n (1 \leq i \leq n)$, 将相应的灰度级 K 划分到该区间段, 然后根据步骤 S3 中的反函数计算各灰度级 K 对应的温度 T_k , $T_k = g_i(Y_k)$;

S5: 统计同一温度内所有像素的亮度值, 取中间亮度值 Y_{inter} , 比较两个温度值相等的像素值的亮度值大小, 当 $T_k = T_i$ 时, 如果 $Y_k \leq Y_i \leq Y_{inter}$ 及 $Y_k \geq Y_{inter} \geq Y_i$, 令 $Y_k = Y_i = Y_{inter}$, 即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_{inter} 所对应的灰度级 K_{inter} , 当 $Y_k \geq Y_i \geq Y_{inter}$ 时, Y_i 取该区域最大亮度值 Y_k , 即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_k 所对应的灰度级 K 。

5. 如权利要求 1 所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法, 其特征在于: 智能处理模块使用基于机器学习的角点检测方法对每一张散斑图像进行角点检测, 具体算法实现流程如下:

流程 1: 将经过校正后的散斑图像用于训练, 对每一张散斑图像均使用角点检测算法检测特征点;

流程 2: 对于每一个像素点 P , 保存环绕它的 16 个像素点为一个向量 P , 并对散斑图像中所有像素均重复步骤 A、B;

流程 3: 对于向量 P 中的每一个值, 都存在 3 种状态, 比像素 P 暗, 比像素 P 亮, 与像素 P 相似, 根据像素的状态, 将像素 P 划分到 3 个子集中: P_d 、 P_l 、 P_s ;

流程 4: 对每个向量定义一个对应的变量 K_p , 当 P 为特征点时, K_p 为 true, 当 P 不是特征点的时候, K_p 为 false;

流程 5: 使用决策树分类器查询每个子集, 并将变量 K_p 作为训练集的分类值;

流程 6: 对 P_d 、 P_l 、 P_s 三个子集递归地使用最小商法, 直到子集为 0 的时候停止。

6. 如权利要求 1 所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法, 其特征在于:

智能处理模块通过对变形后的图像进行特征点匹配, 得到角点的匹配点, 并计算散斑图像中所有子区角点和匹配点的位置之差, 取其平均值作为图像子区中心点的位移值, 进而得到散斑图像的变形场。

7. 如权利要求 7 所述的一种基于多光谱相机的变形场测量方法, 其特征在于:

以散斑图像中某一像素点 (X_0, Y_0) 为中心, 对变形前的散斑图像进行 $(2M+1) \times (2M+1)$ 像素大小的图像子区进行划分, 其中 M 表示子区一半的长度。

8. 一种基于多光谱相机的变形场测量装置, 其特征在于:

所述测量装置包括加热模块、图像采集模块、智能处理模块、传动模块;

所述加热模块、图像采集模块、传动模块信号输入端与智能处理模块信号输出端相连接;

所述图像采集模块包括红外测温传感器、温度传感器、蓝色LED照明光源、多光谱相机及液冷装置；

所述传动模块包括X方向传动丝杠、升降盘及Y方向传动丝杠。

9. 如权利要求8所述的一种基于多光谱相机的变形场测量装置,其特征在于:

所述加热模块对样品表面进行加热,同时红外测温传感器测量样品表面中心温度,并实时传输给智能化处理模块,工作人员通过智能处理模块远程控制加热模块的工作状态;

以该装置正视图来看,该装置正上方为实验进出口,所述传动模块包括X,Y,Z三个方向的进给运动,X方向传动过程是丝杠对升降盘的传送与退回,Y方向传动过程是夹具通过丝杠运动对样品的夹紧与松弛,Z方向传动是升降盘通过上下运动对样品进行送料与退料;

所述多光谱相机对样品进行图像采集,并实时传输到智能处理模块进行处理,蓝色LED照明光源对样品表面进行实时补光,温度传感器对多光谱相机周围环境温度进行测量,并将温度数据传送给智能处理模块进行报警提示,液冷装置对多光谱相机周围环境进行降温。

10. 如权利要求8所述的一种基于多光谱相机的变形场测量装置,其特征在于:

所述升降盘包括传送夹具,传送夹具由夹块以及弹簧组成。智能处理模块通过控制X方向传动丝杠及升降盘配合传动并将样品送至Y方向丝杠夹具的下方,同时通过控制Y方向丝杠的运动对样品进行夹持,完成测量工作后,智能处理模块通过控制Y方向丝杠反向传动进行松弛夹具,样品掉落在升降盘中,并由X方向传动丝杠及升降盘配合传动将样品送至测量装置出口处。

一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置

技术领域

[0001] 本发明具体涉及一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置,属于高温下材料性能测量技术领域。

背景技术

[0002] 高速飞行器在超音速飞行时会出现严重的气动加热现象,温度升高不仅会影响材料的物理性能和力学性能,例如高温会降低高速飞行器材料的强度极限和承载能力,而且会使高速飞行器构件的几何形状发生改变,高温下构件的几何形状的偏离会影响构件的原有工作状态,产生的变形可能会影响高速飞行器的气动布局,进而影响飞行安全,因此检测材料在高温环境下的物理性能和力学对于材料和结构的安全设计、可靠性评估及寿命预测都具有重要意义。

[0003] 现有的针对变形场测量的方法主要有接触时测量和非接触式测量,由于测量的环境处于高温状态下,环境较恶劣,接触式测量方法难以应用到高温环境下,相比之下,非接触式测量方法具有非接触、精度高和灵敏度高等优点,常用的方法是基于图像处理的光学测量,但是它是利用变形前后散斑图像的相关性进行变形测量,超过一定温度后,散斑图像相关性降低,测量精度无法保证,并且在测量中

存在温度的变化,进而会导致被测样品表面出现非线性亮度变化,最终会使变形场的求解精度变差。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置,该方法及装置通过对热辐射所引起的非线性亮度进行校正,并且使用基于机器学习的角点检测方法对变形场进行测量,有效的提高了变形场的测量精度和测量效率。

[0005] 一种基于多光谱相机的变形场测量方法,其通过以下步骤实现:

步骤一:加热模块对被测样品进行高温加热,同时使用蓝色LED照明光源照射样品表面。

[0006] 步骤二:图像采集模块对样品表面进行多通道图像采集,并传输至智能处理模块进行处理。

[0007] 步骤三:智能处理模块根据相关辐射测温理论计算出光谱发射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 和真温 T ,进而求解出被测样品真实温度场。

[0008] 步骤四:智能处理模块根据真实温度场分布对热辐射所引起的非线性亮度变化进行校正。

[0009] 步骤五:智能处理模块对校正后的散斑图像进行角点检测及匹配。

[0010] 步骤六:同时,智能处理模块通过计算全局图像子区中角点和匹配点的位置差来求得最终的散斑图像变形场。

[0011] 进一步地,设图像采集模块有 n 个通道,则第 i 个通道输出信号的电压值 V_i 可以表

示为

$$V_i = A_{\lambda_i} \varepsilon(\lambda_i, T) C_1 \lambda_i^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda_i T}} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

A_{λ_i} 是只与波长有关的仪器常数,它与该波长下探测器的光谱响应率、光学元件透过率、几何尺寸及第一辐射常量有关, $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 是温度T时,的目标光谱发射率, λ_i 是相应通道的波长, C_1 是第一辐射常数, C_2 是第二辐射常数。

[0012] 进一步地,根据辐射测温理论,假设发射率的对数与波长表现为下述关系,

$$\ln \varepsilon(\lambda_i, T) = a_0 + a_1 \lambda_i + a_2 \lambda_i^2 + \dots + a_n \lambda_i^{m+1} \quad (2)$$

在测量中取n个波长处的光谱强度进行测量就可以得到符合(1)式的n个方程,再使用回归算法可拟合出发射率函数和动态的温度,求解得到光谱发射率 $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 和真温T后,通过读取多光谱相机每一个单元的电流即可计算出每一个单元的真温,进而可以求解出真实温度场。

[0013] 进一步地,一种简化的非线性亮度校正方法,智能处理模块通过算法获得修正的各个亮度区域的像素灰度级数,以此来校正热辐射所引起的亮度非线性变化,具体算法实现方法如下:

S1:智能处理模块将采集到的散斑图像进行n等分,并计算各个区域的像素亮度值 Y_i 。

[0014] S2:根据散斑图像温度场分布和各个区域像素亮度值得到多个区间 $M_1(\Delta T_1, \Delta Y_1)$, $M_2(\Delta T_2, \Delta Y_2)$, \dots , $M_n(\Delta T_n, \Delta Y_n)$,对这各个区域的数值进行拟合,得到各个区域像素亮度值 Y_i 与温度 T 之间的关系 $Y_1 = f_1(T_1)$, $Y_2 = f_2(T_2)$, \dots , $Y_n = f_n(T_n)$,为了使校正后误差更小,对各个区间拟合时应使各个区域线性拟合的数学函数表达式相关系数最大。

[0015] S3:分别求解各个曲线方程的反函数 g_i 。

[0016] S4:灰度级划分:根据所要显示灰度级数m将采集到的散斑图像的灰度区间 $[L_{\max}, L_{\min}]$ 等分m-1份,灰度级K对应的亮度为 Y_k ,判断亮度 Y_k 落在哪个区间 $M_n(1 \leq i \leq n)$,将相应的灰度级K划分到该区间段,然后根据步骤S3中的反函数计算各灰度级K对应的温度 T_k , $T_k = g_i(Y_k)$ 。

[0017] S5:统计同一温度内所有像素的亮度值,取中间亮度值 Y_{inter} ,比较两个温度值相等的像素值的亮度值大小,当 $T_k = T_i$ 时,如果 $Y_k \leq Y_i \leq Y_{inter}$ 及 $Y_k \geq Y_{inter} \geq Y_i$,令 $Y_k = Y_i = Y_{inter}$,即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_{inter} 所对应的灰度级 K_{inter} ,当 $Y_k \geq Y_i \geq Y_{inter}$ 时, Y_i 取该区域最大亮度值 Y_k ,即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_k 所对应的灰度级K。

[0018] 进一步地,智能处理模块使用基于机器学习的角点检测方法对每一张散斑图像进行角点检测,具体算法实现流程如下:

流程1:将经过校正后的散斑图像用于训练,对每一张散斑图像均使用角点检测算法检测特征点。

[0019] 流程2:对于每一个像素点P,保存环绕它的16个像素点为一个向量P,并对散斑图像中所有像素均重复步骤A、B。

[0020] 流程3:对于向量P中的每一个值,都存在3种状态,比像素P暗,比像素P亮,与像素P相似,根据像素的状态,将像素P划分到3个子集中:Pd、Pl、Ps。

[0021] 流程4:对每个向量定义一个对应的变量Kp,当P为特征点时,Kp为true,当P不是特征点的时候,Kp为false。

[0022] 流程5:对Pd、Pl、Ps三个子集递归地使用最小商法,直到子集为0的时候停止。

[0023] 进一步地,智能处理模块通过对变形后的图像进行特征点匹配,得到角点的匹配点,并计算散斑图像中所有子区角点和匹配点的位置之差,取其平均值作为图像子区中心点的位移值,进而得到散斑图像的变形场。

[0024] 进一步地,以散斑图像中某一像素点 (X_0, Y_0) 为中心,对变形前的散斑图像进行 $(2M+1) \times (2M+1)$ 像素大小的图像子区进行划分,M表示子区一半的长度。

[0025] 进一步地,一种基于多光谱相机的变形场测量装置包括加热模块、图像采集模块、智能处理模块、传动模块。

[0026] 所述加热模块、图像采集模块、传动模块信号输入端与智能处理模块信号输出端相连接。

[0027] 所述图像采集模块包括红外测温传感器、温度传感器、蓝色LED照明光源、多光谱相机及液冷装置。

[0028] 所述传动模块包括X方向传动丝杠、升降盘及Y方向传动丝杠。

[0029] 进一步地,所述加热模块对样品表面进行加热,同时红外测温传感器测量样品表面中心温度,并实时传输给智能化处理模块,工作人员通过智能处理模块远程控制加热模块的工作状态。

[0030] 从该装置正视图来看,该装置正上方为实验进出口,所述传动模块包括X、Y、Z三个方向的进给运动X方向传动过程是丝杠对升降盘的传送与退回,Y方向传动过程是夹具通过丝杠运动对样品的夹紧与松弛,Z方向运动是升降盘通过上下运动对样品进行送料与退料。

[0031] 所述多光谱相机对样品进行图像采集,并实时传输到智能处理模块进行处理,蓝色LED照明光源实时对样品表面进行补光,温度传感器对多光谱相机周围环境温度进行测量,并将温度数据传送给智能处理模块进行报警提示,液冷装置对多光谱相机周围环境进行降温。

[0032] 进一步地,所述自动升降盘中包括传送夹具,传送夹具由夹块以及小型弹簧组成。智能处理模块通过控制X方向传动的丝杠及升降盘配合传动将样品送至Y方向丝杠夹具的下方,同时通过控制Y方向丝杠的运动对样品进行夹持,完成测量工作后,智能处理模块通过控制Y方向丝杠反向传动进行松弛夹具,样品掉落在升降盘中,并由X方向丝杠及升降盘配合传动将样品送至测量装置出口处。

[0033] 本发明采用以上技术方案,具有的优点是:

1、本发明使用了一种简化的非线性亮度校正算法,针对采集到的散斑图像中存在相同温度区域具有不同亮度问题,该校正算法将散斑图像划分为n个区域,并结合整散斑图像温度场分布对各个区域的亮度和温度进行拟合,进而确定各个区域温度与亮度的函数关系,通过对散斑图像全局灰度级进行划分,不同灰度级对应于不同亮度级,最后通过比较相同温度区域的亮度值来确定各个区域的灰度级,进而达到校正热辐射引起的非线性亮度目的,有效的提高了变形场测量的精度。

[0034] 2、本发明通过使用一种基于机器学习的角点检测方法检测散斑图像的角点,在快速检测时,如果圆圈中有一组相邻的n个像素(为16个像素中的n个)小于12个时,避免了过多的特征点被检测出来,并且该方法的准确性不依赖于特征点的位置和分布,能够选择出最佳特征点,有效提高了特征点的检测精度。

[0035] 3、本发明使用一种智能化变形场测量装置,实现样品测量过程中的自动进料域退料,避免了测量结束后封闭腔内高温环境对人体的伤害,有效的提高了变形场测量效率。

附图说明

[0036] 图1是一种简化的非线性亮度校正流程图。

[0037] 图2是角点检测原理图。

[0038] 图3是一种基于机器学习的角点检测流程图。

[0039] 图4是散斑图像测量区域图。

[0040] 图5是一种基于多光谱相机的变形场测量装置正视图。

[0041] 图6是一种基于多光谱相机的变形场测量装置俯视图。

[0042] 附图标记:1-加热模块,2-样品,3-图像采集模块,4-智能处理模块,5-升降盘,6-传送夹具,7-样品夹具,8-丝杠。

具体实施方式

[0043] 以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0044] 本实施例中的样品2为碳化硅材料,截面为矩形,散斑为人工均匀喷洒至被测样品2表面随机形成,一种基于多光谱相机的变形场测量方法及装置,具体实施步骤如下:

步骤一:

将样品2放置在升降盘的传送夹具6中,由智能处理模块4控制X方向丝杠和Z方向升降盘5运动,并送至Y方向丝杠处夹具7下方,Y方向丝杠运动带动夹具7运动,进而实现对材料的夹紧。

[0045] 步骤二:

在测量装置中使用氧乙炔作为加热模块1对被测样品2一侧进行持续高温加热,加热区间为100~1000℃,同时使用蓝色LED光源照射材料表面,同时红外线温度传感器及温度传感器对样品2表面温度和图像采集模块3温度进行测量,并实时传输至智能处理模块4。

[0046] 步骤三:

通过图像采集模块3对某一温度下样品2表面进行多通道图像采集,并传输至智能处理模块4进行处理。

[0047] 步骤四:

设图像采集模块3有n个通道,则第i个通道输出信号的电压值 V_i 可以表示为

$$V_i = A_{\lambda_i} \varepsilon(\lambda_i, T) C_1 \lambda_i^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda_i T}} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

A_{λ_i} 是只与波长有关的仪器常数,它与该波长下探测器的光谱响应率、光学元件透过率、几何尺寸及第一辐射常量有关, $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 是温度T时的目标光谱发射率, λ_i 是相应通道的波长, C_1 是第一辐射常数, C_2 是第二辐射常数。

[0048] 对(1)式两端分别取对数,得式(2)

$$\ln \varepsilon(\lambda_i, T) = \ln V_i + 5 \ln \lambda_i - \ln(A_{\lambda_i} C_1) + C_2 / \lambda_i T \quad (2)$$

令 $K = \ln V_i + 5 \ln \lambda_i - \ln(A_{\lambda_i} C_1)$,则式(2)变为

$$\ln \varepsilon(\lambda_i, T) = K + C_2 / \lambda_i T \quad (3)$$

根据辐射测温理论,假设发射率的对数与波长表现为下述关系,

$\ln \varepsilon(\lambda_i, T) = a_0 + a_1 \lambda_i + a_2 \lambda_i^2 + \dots + a_n \lambda_i^{m+1}$ 代入(3)并在两端乘以 λ_i ,得式(4)

$$K \lambda_i = -\frac{C_2}{T} + a_0 \lambda_i + a_1 \lambda_i^2 + \dots + a_m \lambda_i^{m+1} \quad (4)$$

在测量中取n个波长处的光谱强度进行测量就可以得到符合(1)式的n个方程,再使用回归算法可拟合出发射率函数和动态的温度,求解得到光谱发射率 $\varepsilon(\lambda_i, T)$ 和真温T后,通过读取图像采集模块3每一个单元的电流即可计算出每一个单元的真温,进而可以求解出真温温度场。

[0049] 步骤五:

如图1所示,一种简化的非线性亮度校正方法,智能处理模块4通过算法获得修正的各个区域的像素灰度级数,以此来校正热辐射所引起的亮度非线性变化,具体算法实现方法(S1-S5)如下:

S1:智能处理模块4将采集到的散斑图像进行n等分,并计算各个区域的像素亮度值 Y_i 。

[0050] S2:根据散斑图像温度场分布和每个区域的各个像素亮度值得到多个区间 $M_1(\Delta T_1, \Delta Y_1), M_2(\Delta T_2, \Delta Y_2), \dots, M_n(\Delta T_n, \Delta Y_n)$,对这各个区域的数值进行拟合,得到各个区域像素亮度值 T 与温度 Y_i 之间的关系 $Y_1 = f_1(T_1), Y_2 = f_2(T_2), \dots, Y_N = f_n(T_n)$,为了使校正后误差更小,对各个区间拟合时应使各个区域线性拟合的数学函数表达式相关系数最大。

[0051] S3:分别求解各个曲线方程的反函数 g_i 。

[0052] S4:灰度级划分:根据所要显示灰度级数m将采集到的散斑图像的灰度区间 $[L_{\max},$

L_{\min}]等分 $m-1$ 份,灰度级 K 对应的亮度为 Y_k ,判断亮度 Y_k 落在哪个区间 $M_n(1 \leq i \leq n)$,将相应的灰度级 K 划分到该区间段,然后根据步骤S3中的反函数计算各灰度级 K 对应的温度 T_K ,
 $T_K = g_i(Y_k)$ 。

[0053] S5:统计同一温度内所有像素的亮度值,取中间亮度值 Y_{inter} ,比较两个温度值相等的像素值的亮度值大小,当 $T_k = T_i$ 时,如果 $Y_k \leq Y_i \leq Y_{inter}$ 及 $Y_k \geq Y_{inter} \geq Y_i$,令 $Y_k = Y_i = Y_{inter}$,即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_{inter} 所对应的灰度级 K_{inter} ,当 $Y_k \geq Y_i \geq Y_{inter}$ 时, Y_i 取该区域最大亮度值 Y_k ,即 Y_k 和 Y_i 区域的像素灰度级调整为 Y_k 所对应的灰度级 K 。

[0054] 步骤六:

如图2-3所示,智能处理模块4对每一张散斑图像使用基于机器学习的角点检测方法进行特征点检测,具体算法实现流程如下:

流程1:将经过校正后的散斑图像用于训练,对每一张散斑图像均使用角点检测算法检测特征点。

[0055] 流程2:在校正后的图片中选择一个像素P,其像素强度为 I_P 。

[0056] 流程3:设置一个阈值 T ,通常为图片像素强度的20%。

[0057] 流程4:以像素点P为中心,半径为3的圆上有16个像素点(p_1, p_2, \dots, p_{16}),分别计算这些像素点与中心点P的像素差。

[0058] 流程5:如果存在连续的 n 个像素点的像素差绝对值大于阈值 T ,则这个中心点P为特征点。

[0059] 流程6:为了加速算法,开始时只比较像素点 p_1, p_5, p_9, p_{13} 与中心点的强度差。如果其中至少3个点的像素差大于阈值,则P为特征候选点。

[0060] 流程7:对于特征候选点再进行第3个步骤,判断全部16个像素点,确定p是否为特征点。

[0061] 流程8:对所有像素点重复以上步骤A2-A8。

[0062] 流程9:如图2所示,对于每一个像素点P,保存环绕它的16个像素点为一个向量P,并对散斑图像中所有像素均重复步骤A1-A9。

[0063] 流程10:对于向量P中的每一个值,都存在3种状态,比像素P暗,比像素P量,与像素P相似,根据像素的状态,将像素P划分到3个子集中: P_d, P_l, P_s ,

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & I_{p \rightarrow x} \leq I_p - t \quad (\text{较黑暗}) \\ S, & I_p - t < I_{p \rightarrow x} < I_p + t \quad (\text{相似}) \\ b, & I_p + t \leq I_{p \rightarrow x} \quad (\text{较亮}) \end{cases}$$

对每个向量定义一个对应的变量 K_p ,当P为特征点时, K_p 为true,当P不是特征点的时候, K_p 为false。

[0064] 流程11:使用决策树分类器查询每个子集,并将变量 K_p 作为训练集的分类值,

$$H(P) = (c + \bar{c}) \log_2 (c + \bar{c}) - c \log_2 c - \bar{c} \log_2 \bar{c}$$

$$\text{where } c = \left| \left\{ p \mid K_p \text{ is true} \right\} \right| \quad (\text{number of corners})$$

$$\text{and } \bar{c} = \left| \left\{ p \mid K_p \text{ is false} \right\} \right| \quad (\text{number of non corners})$$

[0065] 流程12:对Pd,P1,Ps三个子集递归地使用最小商法,直到子集为0的时候停止。

[0066] 步骤七:

如图4所示,智能处理模块4将变形前图像中带测量的区域划分成网格形式,网格之间节点距离取3-5个像素,在变形测量的具体计算中,在变形前图像中针对某一网格点提取一个以该点 (X_0, Y_0) 为中心的 $(2M+1) \times (2M+1)$ 像素大小的图像子区,并且,智能处理模块4利用特征点匹配算法对变形前后的散斑图像进行跟踪匹配,得到角点的匹配点,然后计算出图像子区角点与匹配点的位置差,取平均值作为图像子区中心点,通过网格点的位移值最终求解出散斑图像的变形场。

[0067] 步骤八:

完成变形场测量工作后,智能处理模块通过控制Y方向丝杠反向传动进行松弛夹具,样品掉落在升降盘中,并由X方向传动丝杠及升降盘配合传动将样品送至测量装置出口处。

[0068] 如图5-6所示,一种基于多光谱相机的带亮度校正的变形场测量装置,包括加热模块1,所述加热模块1的开关信号控制端与智能处理模块3连接,所述图像采集模块3包括红外测温传感器、温度传感器、蓝色LED照明光源、多光谱相机及液冷装置,所述红外测温传感器及温度传感器的信号输出端与智能处理模块的信号输入端连接,所述蓝色LED照明光源安装在多光谱相机镜头正上方,并对样品表面进行补光,所述红外测温传感器安装在多光谱相机镜头正下方,所述多光谱相机的信号输出端与智能处理模块4的信号输入端连接,所述升降盘5固定在与X方向传动丝杠相连接的支撑板上,升降盘通过固定在支撑板上的电机进行上下运动,所述传送夹具6包括夹块、弹簧,两夹块通过弹簧进行连接,两夹块通过镶嵌在升降盘5上的沟槽中进行Y方向自由滑动,进而实现样品2的夹紧与松弛。

[0069] 所述传动模块包括X方向传动丝杠8、升降盘5及Y方向传动丝杠上的夹具7。

[0070] 所述加热模块1对样品2表面进行加热,同时红外测温传感器测量样品2表面中心温度,并实时传输给智能化处理模块4,工作人员通过智能处理模块4远程控制加热模块1的工作状态。

[0071] 从该装置正视图来看,该装置正上方为实验进出口,所述传动模块有X,Y,Z三个方向的进给运动,X方向传动过程是丝杠对升降盘5的传送与退回,Y方向传动过程是夹具7通过丝杠运动对样品2的夹紧与松弛,Z方向运动是升降盘5通过上下运动对样品2进行送料与退料。

[0072] 所述图像采集模块3对样品2进行图像采集,并实时传输到智能处理模块4进行处理,蓝色LED照明光源实时对样品2表面进行补光,温度传感器对多光谱相机周围环境温度进行测量,并将温度数据传送给智能处理模块4,液冷装置对多光谱相机周围环境进行持续降温。

[0073] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

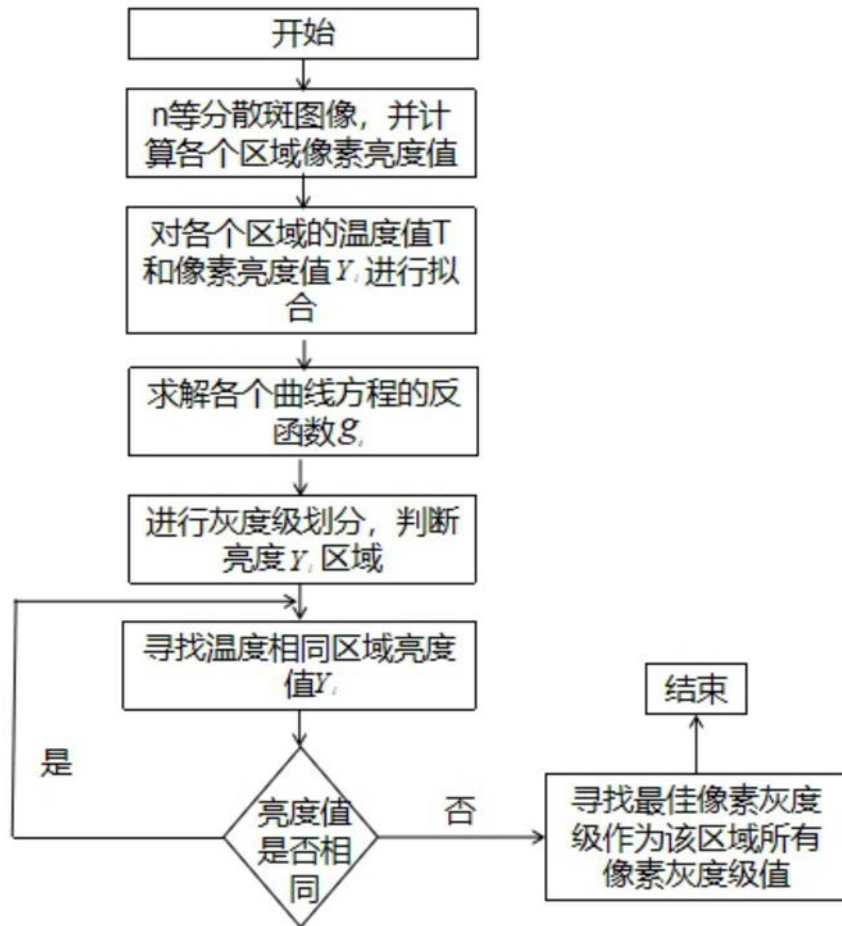


图1

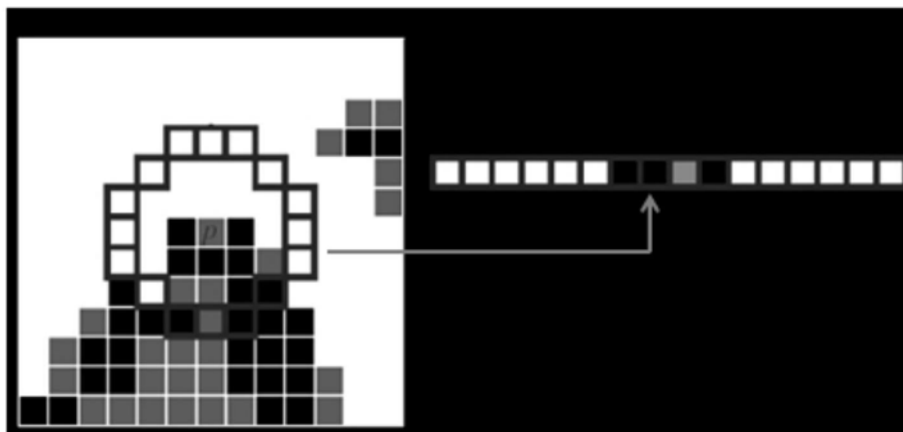


图2

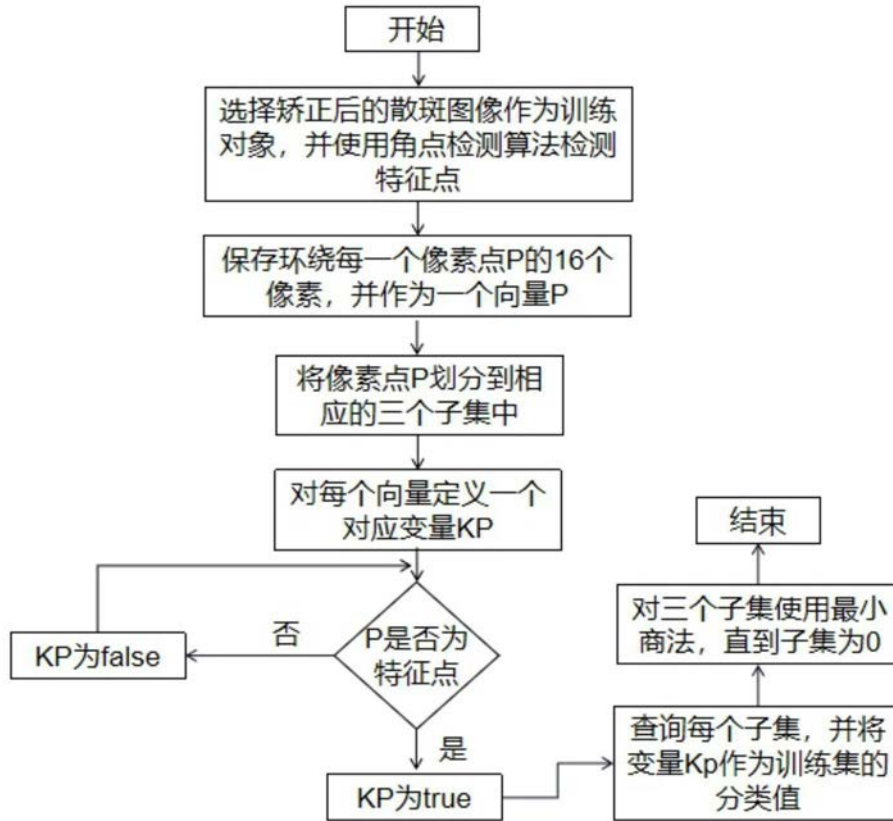


图3

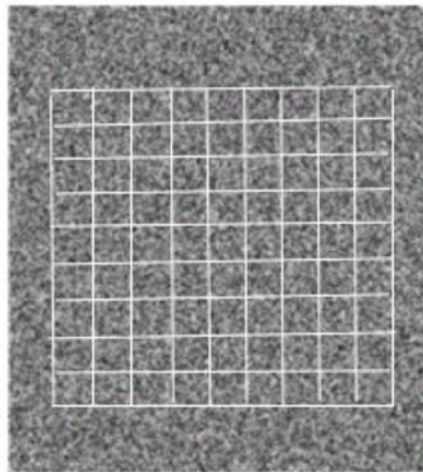


图4

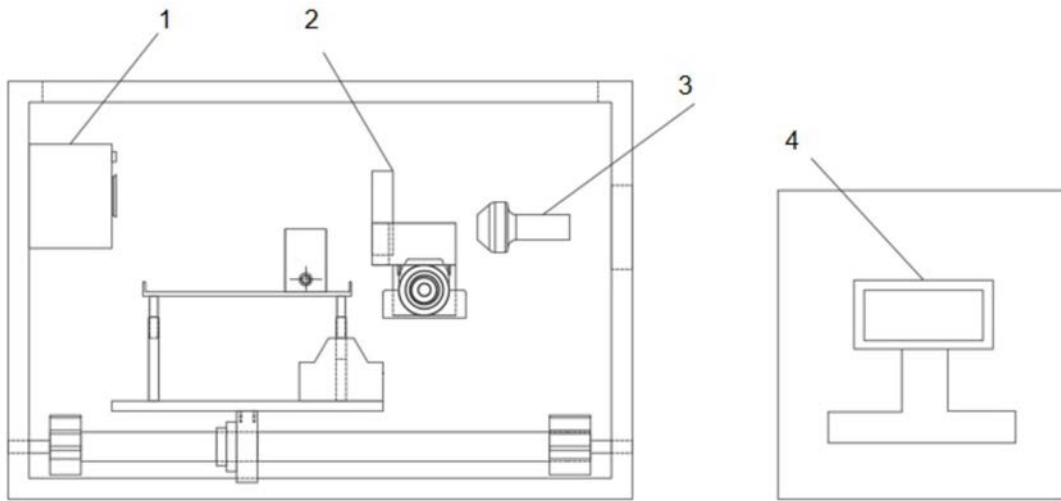


图5

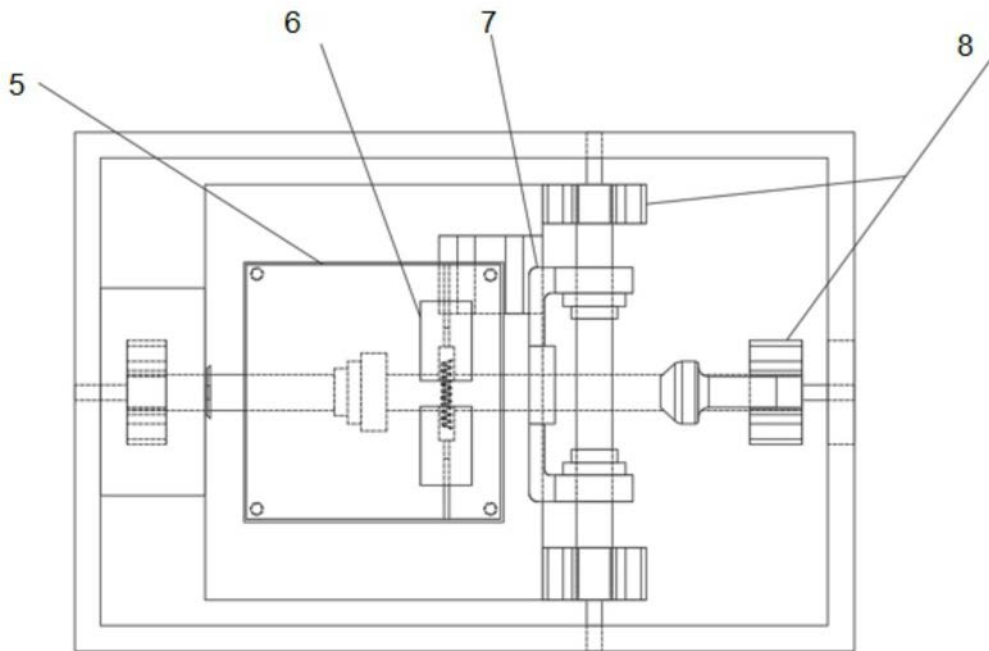


图6