



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110193673 A  
(43)申请公布日 2019.09.03

(21)申请号 201910664719.8

(22)申请日 2019.07.23

(66)本国优先权数据

201910542054.3 2019.06.21 CN

(71)申请人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路516号

(72)发明人 陈光胜 田培运

(74)专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司 31204

代理人 程宗德

(51)Int.Cl.

B23K 26/70(2014.01)

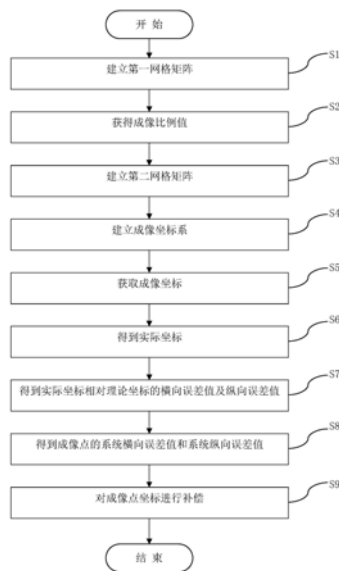
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

振镜式激光加工的网格分区域补偿方法

(57)摘要

本发明提供了一种振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,首先在待测工件表面建立第一网格矩阵,再对第一网格矩阵进行光学成像得到第二网格矩阵,然后将第一网格矩阵和第二网格矩阵纳于成像坐标系中,得到第一网格矩阵中的网格交点的理论坐标及相对应的第二网格矩阵中的网格成像交点的实际坐标,根据理论坐标和实际坐标得到这些网格成像交点的横向误差值及纵向误差值,最后得到任意成像点的系统横向误差值及系统纵向误差值的数学模型并依此对成像点的位置进行补偿。通过本发明的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法能够对振镜式激光加工系统整体加工误差进行检测、分析和建模,实现振镜式激光加工系统的补偿,从而提高振镜式激光加工系统的精度。



1. 一种振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,通过工业相机对待测工件表面上任意一点的位置误差进行补偿,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1:在所述待测工件表面建立由m条等距间隔的竖直线和n条等距间隔的水平线组成的第一网格矩阵,该第一网格矩阵具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第一构成网格,每条所述竖直线和每条所述水平线的交点为网格交点,

所述m和所述n均为大于2的正整数;

步骤S2:对所述工业相机进行标定,得到采用该工业相机进行光学成像的像素距离和实际距离的成像比例值k;

步骤S3:通过所述工业相机对所述第一网格矩阵进行光学成像得到第二网格矩阵,该第二网格矩阵由m条和所述竖直线对应的细化竖直线和n条和所述水平线对应的细化水平线组成,所述第二网格矩阵具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第二构成网格,每条所述细化竖直线和每条所述细化水平线的交点为和所述网格交点对应的网格成像交点;

步骤S4:以任意一个所述网格交点为坐标系原点建立成像坐标系,所述成像坐标系的横轴和所述水平线平行,所述成像坐标系的纵轴和所述竖直线平行,并得到所有所述网格交点在所述成像坐标系中的理论坐标;

步骤S5:对所述网络成像交点进行检测处理获取所有所述网格成像交点在所述成像坐标系中的成像坐标;

步骤S6:根据所有所述成像坐标和所述成像比例值k得到所有所述网格成像交点在所述成像坐标系中对应的实际坐标;

步骤S7:根据所述实际坐标和该实际坐标对应的所述理论坐标得到所述实际坐标相对于该实际坐标对应的所述理论坐标的横向误差值及纵向误差值;

步骤S8:根据任意一个所述第二构成网格的四个所述网格成像交点的成像坐标的所述横向误差值和所述纵向误差值,得到位于相对应的所述第二构成网格内的成像点的系统横向误差值和系统纵向误差值;

步骤S9:根据所述系统横向误差值和所述系统纵向误差值对所述成像点的坐标进行补偿。

2. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S3中,所述光学成像是所述工业相机通过对所述第一网格矩阵的每条所述竖直线和每条所述水平线进行细化处理,使得每条所述细化竖直线和每条所述细化水平线均为单像素构成的线,从而得到所述第二网格矩阵,

每个所述第二构成网格均为正方形。

3. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S4中,所述第一构成网格的边长为d,以第a条所述竖直线和第b条所述水平线的网格交点作为所述成像坐标系原点,第p条所述竖直线和第q条所述水平线构成的所述网格交点的所述理论坐标为 $((p-a) \times d, (q-b) \times d)$ 。

4. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S5中,所述成像坐标为通过对所述网格成像交点进行像素差分获取的浮点型交点像素坐标。

5. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S6中,所述网格成像交点在所述成像坐标系中的所述实际坐标根据以下关系式得到:

$$x_i = u_i \times k, y_i = v_i \times k,$$

所述 $x_i$ 为所述实际坐标的横轴坐标值,所述 $u_i$ 为与所述实际坐标对应的所述成像坐标的横轴坐标值,所述 $y_i$ 为所述实际坐标的纵轴坐标值,所述 $v_i$ 为与所述实际坐标对应的所述成像坐标的纵轴坐标值。

6. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S7中,所述横向误差值及所述纵向误差值通过以下关系式得到:

$$\Delta x_i = x_i - x_i', \Delta y_i = y_i - y_i',$$

所述 $\Delta x_i$ 为所述横向误差值,所述 $x_i$ 为所述实际坐标的横轴坐标值,所述 $x_i'$ 为与所述实际坐标对应的所述理论坐标的横轴坐标值,所述 $\Delta y_i$ 为所述纵向误差值,所述 $y_i$ 为所述实际坐标的纵轴坐标值,所述 $y_i'$ 为与所述实际坐标对应的所述理论坐标的纵轴坐标值。

7. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S8中,将所述第二构成网格的四个所述网格成像交点作为第一交点、第二交点、第三交点以及第四交点,所述第一交点和所述第二交点位于同一条所述水平线上,所述第一交点和所述第四交点位于同一条所述竖直线上,

所述成像点的所述系统横向误差值和所述系统纵向误差值通过以下关系式得到:

$$\Delta x_s = \frac{(X_s - X_p) \cdot \Delta x_p + (X_q - X_s) \cdot \Delta x_q + (X_s - X_t) \cdot \Delta x_t + (X_r - X_s) \cdot \Delta x_r}{2(X_q - X_p)}$$

$$\Delta y_s = \frac{(Y_s - Y_p) \cdot \Delta y_p + (Y_t - Y_s) \cdot \Delta y_t + (Y_s - Y_q) \cdot \Delta y_q + (Y_r - Y_s) \cdot \Delta y_r}{2(Y_t - Y_p)}$$

所述 $\Delta x_s$ 为成像点的所述系统横向误差值,所述 $\Delta y_s$ 为成像点的所述系统纵向误差值,所述 $X_s$ 为所述成像点的横轴坐标值,所述 $Y_s$ 为所述成像点的纵轴坐标值,所述 $X_p$ 为所述第一交点的横轴坐标值,所述 $Y_p$ 为所述第一交点的纵轴坐标值,所述 $\Delta x_p$ 为所述第一交点的所述横向误差值,所述 $\Delta y_p$ 为所述第一交点的所述纵向误差值,所述 $X_q$ 为所述第二交点的横轴坐标值,所述 $Y_q$ 为所述第二交点的纵轴坐标值,所述 $\Delta x_q$ 为所述第二交点的所述横向误差值,所述 $\Delta y_q$ 为所述第二交点的所述纵向误差值,所述 $X_r$ 为所述第三交点的横轴坐标值,所述 $Y_r$ 为所述第三交点的纵轴坐标值,所述 $\Delta x_r$ 为所述第三交点的所述横向误差值,所述 $\Delta y_r$ 为所述第三交点的所述纵向误差值,所述 $X_t$ 为所述第四交点的横轴坐标值,所述 $Y_t$ 为所述第四交点的纵轴坐标值,所述 $\Delta x_t$ 为所述第四交点的所述横向误差值,所述 $\Delta y_t$ 为所述第四交点的所述纵向误差值。

8. 根据权利要求1所述的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,其特征在于:

其中,在步骤S9中,对所述成像点的所述实际坐标进行补偿,补偿后的对应点坐标为 $(X_s - \Delta x_s, Y_s - \Delta y_s)$ 。

## 振镜式激光加工的网格分区域补偿方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光加工领域,具体涉及一种振镜式激光加工的网格分区域补偿方法。

### 背景技术

[0002] 随着激光加工技术的日趋成熟,激光加工由于其加工速度快、加工精度高以及稳定性好等优势,已经应用到航空航天等领域。振镜式激光加工系统作为激光加工的一种形式,在激光加工行业中使用也越来越普遍,振镜式激光加工系统在实际的加工过程中,由于受到枕形误差、非线性误差以及系统误差等因素的影响,振镜式激光加工系统仍然存在一定的误差。

[0003] 传统的误差补偿方法是基于单一误差进行建模补偿,但由于造成系统加工误差的因素太多,不能充分考虑到所有的误差因素,导致补偿效果不明显。

### 发明内容

[0004] 本发明是为了解决上述问题而进行的,目的在于提供一种对振镜式激光加工系统整体加工误差进行检测、分析和建模,实现振镜式激光加工系统的补偿,从而提高振镜式激光加工系统的检测精度的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用了如下技术方案:

[0006] 本发明提供了一种振镜式激光加工的网格分区域补偿方法,具有这样的特征,包括以下步骤:

[0007] 步骤S1:在待测工件表面建立由m条等距间隔的竖直线和n条等距间隔的水平线组成的第一网格矩阵,第一网格矩阵具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第一构成网格,每条竖直线和每条水平线的交点为网格交点,m和n均为大于2的正整数;

[0008] 步骤S2:对工业相机进行标定,得到采用工业相机进行光学成像的像素距离和实际距离的成像比例值k;

[0009] 步骤S3:通过工业相机对第一网格矩阵进行光学成像得到第二网格矩阵,第二网格矩阵由m条和竖直线对应的细化竖直线和n条和水平线对应的细化水平线组成,第二网格矩阵具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第二构成网格,每条细化竖直线和每条细化水平线的交点为和网格交点对应的网格成像交点;

[0010] 步骤S4:以任意一个网格交点为坐标系原点建立成像坐标系,成像坐标系的横轴和水平线平行,成像坐标系的纵轴和竖直线平行,并得到所有网格交点在成像坐标系中的理论坐标;

[0011] 步骤S5:对网络成像交点进行检测处理获取所有网格成像交点在成像坐标系中的成像坐标;

[0012] 步骤S6:根据所有成像坐标和成像比例值k得到所有网格成像交点在成像坐标系中对应的实际坐标;

[0013] 步骤S7:根据实际坐标和实际坐标对应的理论坐标得到实际坐标相对于实际坐标对应的理论坐标的横向误差值及纵向误差值;

[0014] 步骤S8:根据任意一个第二构成网格的四个网格成像交点的成像坐标的横向误差值和纵向误差值,得到位于相对应的第二构成网格内的成像点的系统横向误差值和系统纵向误差值;

[0015] 步骤S9:根据系统横向误差值和系统纵向误差值对成像点的坐标进行补偿。

[0016] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S3中,光学成像是工业相机通过对第一网格矩阵的每条竖直线和每条水平线进行细化处理,使得每条细化竖直线和每条细化水平线均为单像素构成的线,从而得到第二网格矩阵,每个第二构成网格均为正方形。

[0017] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S4中,第一构成网格的边长为d,以第a条竖直线和第b条水平线的网格交点作为成像坐标系原点,第p条竖直线和第q条水平线构成的网格交点的理论坐标为 $((p-a) \times d, (q-b) \times d)$ 。

[0018] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S5中,成像坐标为通过对网格成像交点进行像素差分获取的浮点型交点像素坐标。

[0019] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S6中,网格成像交点在成像坐标系中的实际坐标根据以下关系式得到:

$$[0020] \quad x_i = u_i \times k, y_i = v_i \times k,$$

[0021]  $x_i$ 为实际坐标的横轴坐标值, $u_i$ 为与实际坐标对应的成像坐标的横轴坐标值, $y_i$ 为实际坐标的纵轴坐标值, $v_i$ 为与实际坐标对应的成像坐标的纵轴坐标值。

[0022] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S7中,横向误差值及纵向误差值通过以下关系式得到:

$$[0023] \quad \Delta x_i = x_i - x_i', \Delta y_i = y_i - y_i',$$

[0024]  $\Delta x_i$ 为横向误差值, $x_i$ 为实际坐标的横轴坐标值, $x_i'$ 为与实际坐标对应的理论坐标的横轴坐标值, $\Delta y_i$ 为纵向误差值, $y_i$ 为实际坐标的纵轴坐标值, $y_i'$ 为与实际坐标对应的理论坐标的纵轴坐标值。

[0025] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中,还可以具有这样的特征:其中,在步骤S8中,将第二构成网格的四个网格成像交点作为第一交点、第二交点、第三交点以及第四交点,第一交点和第二交点位于同一条水平线上,第一交点和第四交点位于同一条竖直线上,

[0026] 成像点的系统横向误差值和系统纵向误差值通过以下关系式得到:

$$[0027] \quad \Delta x_s = \frac{(X_s - X_p) \cdot \Delta x_p + (X_q - X_s) \cdot \Delta x_q + (X_s - X_t) \cdot \Delta x_t + (X_r - X_s) \cdot \Delta x_r}{2(X_q - X_p)}$$

$$[0028] \quad \Delta y_s = \frac{(Y_s - Y_p) \cdot \Delta y_p + (Y_t - Y_s) \cdot \Delta y_t + (Y_s - Y_q) \cdot \Delta y_q + (Y_r - Y_s) \cdot \Delta y_r}{2(Y_t - Y_p)}$$

[0029]  $\Delta x_s$ 为成像点的系统横向误差值, $\Delta y_s$ 为成像点的系统纵向误差值, $X_s$ 为成像点的

横轴坐标值,  $Y_s$  为成像点的纵轴坐标值,  $X_p$  为第一交点的横轴坐标值,  $Y_p$  为第一交点的纵轴坐标值,  $\Delta x_p$  为第一交点的横向误差值,  $\Delta y_p$  为第一交点的纵向误差值,  $X_q$  为第二交点的横轴坐标值,  $Y_q$  为第二交点的纵轴坐标值,  $\Delta x_q$  为第二交点的横向误差值,  $\Delta y_q$  为第二交点的纵向误差值,  $X_r$  为第三交点的横轴坐标值,  $Y_r$  为第三交点的纵轴坐标值,  $\Delta x_r$  为第三交点的横向误差值,  $\Delta y_r$  为第三交点的纵向误差值,  $X_t$  为第四交点的横轴坐标值,  $Y_t$  为第四交点的纵轴坐标值,  $\Delta x_t$  为第四交点的横向误差值,  $\Delta y_t$  为第四交点的纵向误差值。

[0030] 在本发明提供的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法中, 还可以具有这样的特征: 其中, 在步骤S9中, 对成像点的实际坐标进行补偿, 补偿后的对应点坐标为  $(X_s - \Delta x_s, Y_s - \Delta y_s)$ 。

[0031] 发明的作用与效果

[0032] 根据本发明所涉及的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法, 首先在待测工件表面建立第一网格矩阵, 再对第一网格矩阵进行光学成像得到第二网格矩阵, 然后将第一网格矩阵和第二网格矩阵纳于成像坐标系中, 得到第一网格矩阵中的网格交点的理论坐标及相对应的第二网格矩阵中的网格成像交点的实际坐标, 接着根据理论坐标和实际坐标得到这些网格成像交点的横向误差值及纵向误差值, 最后得到任意成像点的系统横向误差值及系统纵向误差值的关系表达式并依此对成像点的位置进行补偿。因此本发明的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法通过对振镜式激光加工系统整体加工误差进行检测、分析和建模, 实现振镜式激光加工系统的补偿, 从而提高振镜式激光加工系统的精度。

## 附图说明

[0033] 图1是本发明的实施例中的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法的步骤示意图;

[0034] 图2是本发明的实施例中的第一网格矩阵的结构示意图;

[0035] 图3是本发明的实施例中工业相机获取的第一网格矩阵的图像;

[0036] 图4是本发明的实施例中经过网格细化后得到的第二网格矩阵的结构示意图;

[0037] 图5是本发明的实施例中对第二网格矩阵的交点进行检测处理后的第二网格矩阵的结构示意图; 以及

[0038] 图6是本发明的实施例中对任意成像点获取系统横向误差值及系统纵向误差值的原理示意图。

## 具体实施方式

[0039] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解, 以下实施例结合附图对本发明的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法作具体阐述。

[0040] 图1是本发明的实施例中的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法的步骤示意图;

[0041] 如图1所示, 本实施例中的一种振镜式激光加工的网格分区域补偿方法, 通过工业相机对待测工件表面上任意一点的位置误差进行补偿, 包括以下步骤:

[0042] 图2是本发明的实施例中的第一网格矩阵的结构示意图;

[0043] 步骤S1: 如图2所示, 在待测工件 (附图中未标出) 表面建立由  $m$  条等距间隔的竖直

线12和n条等距间隔的水平线11组成的第一网格矩阵10,第一网格矩阵10具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第一构成网格13,每条竖直线20和每条水平线的交点为网格交点14,m和n均为大于2的正整数;

[0044] 在本实施例中,m=n=9,第一构成网格13为正方形,将第一构成网格13的四个角点分别命名为A、B、C以及D。

[0045] 步骤S2:对工业相机(附图中未标出)进行标定,得到采用工业相机进行光学成像的像素距离和实际距离的成像比例值k;

[0046] 在本实施例中,工业相机采用1600万以上像素的工业相机并采用精度为 $1\mu\text{m}$ 的棋盘格标定板(附图中未标出)进行相机标定,工业相机相对于检测工件表面固定安装,并调整相机视场使得标定板和第一网格矩阵10全部在相机视场内,此时对工业相机进行标定,得到采用其进行成像时显示的像素距离和实际距离的比例关系作为成像比例值k,k=0.007mm/像素。

[0047] 图3是本发明的实施例中工业相机获取的第一网格矩阵的图像;图4是本发明的实施例中经过网格细化后得到的第二网格矩阵的结构示意图。

[0048] 步骤S3:如图2~图4所示,通过工业相机对第一网格矩阵10进行光学成像得到第二网格矩阵20,第二网格矩阵20由m条和竖直线12对应的细化竖直线22和n条和水平线11对应的细化水平线21组成,第二网格矩阵20具有 $(m-1) \times (n-1)$ 个第二构成网格23,每条细化竖直线22和每条细化水平线21的交点为和网格交点14对应的网格成像交点24;

[0049] 在本实施例中,m=n=9,第二构成网格23为正方形,所采用的光学成像方法为通过工业相机对第一网格矩阵10的每条竖直线12和每条水平线11进行细化处理,从而得到第二网格矩阵20,每条细化竖直线22和每条细化水平线21均为单像素构成的线,每个第二构成网格23均为正方形。

[0050] 使用工业相机获取的第一网格矩阵10的图像如图3所示,此时工业相机获取的图像中的所有竖直线21和所有水平线11的线粗均为多像素显示。接着通过工业相机对获取的第一网格矩阵10的图像的第一构成网格13进行细化处理得到第二网格矩阵20,使得第二网格矩阵20的每条细化竖直线22和每条细化水平线21的线粗均为单像素显示,并且每条细化竖直线22形成在对应的竖直线21的线粗的分中位置,每条细化水平线21形成在对应的水平线11的线粗的分中位置,细化处理要保证经细化后的第二构成网格24后仍然连通,且保持正方形形状。第二网格矩阵20如图4所示。

[0051] 步骤S4:以任意一个网格交点14为坐标系原点0建立成像坐标系30,成像坐标系30的横轴和水平线11平行,成像坐标系30的纵轴和竖直线12平行,并得到所有网格交点14在成像坐标系30中的理论坐标;

[0052] 第一构成网格13的边长为d,以第a条竖直线12和第b条水平线11的网格交点14作为成像坐标系原点0,第p条竖直线12和第q条水平线11构成的网格交点14的理论坐标为 $((p-a) \times d, (q-b) \times d)$ 。

[0053] 在本实施例中,第一构成网格13的边长为3mm,取第一网格矩阵10的中心为成像坐标系30原点0,即a=b=5,此时如图1所示的第一网格矩阵10四角点在成像坐标系30中的理论坐标为点A的理论坐标为(-12,12),点B的理论坐标为(12,12),点C的理论坐标为(12,-12),点D的理论坐标为(-12,-12)。

[0054] 图5是本发明的实施例中对第二网格矩阵的交点进行检测处理后的第二网格矩阵的结构示意图。

[0055] 步骤S5:如图2、图4以及图5所示,对网络成像交点24进行检测处理获取所有网格成像交点24在成像坐标系30中的成像坐标;成像坐标为通过对网络成像交点24进行像素差分获取的浮点型交点像素坐标。

[0056] 在本实施例中,对第二网格矩阵20中的所有第二构成网格23进行交点检测处理,可以得到共81个网格成像交点24,为了进一步提高每个网格成像交点24的位置精度,对获得的网格成像交点24通过像素差分获取浮点型的角点像素坐标位置。

[0057] 步骤S6:根据所有成像坐标和成像比例值k得到所有网格成像交点24在成像坐标系30中对应的实际坐标;网格成像交点24在成像坐标系30中的实际坐标根据以下关系式得到:

$$[0058] \quad x_i = u_i \times k, y_i = v_i \times k,$$

[0059]  $x_i$ 为实际坐标的横轴坐标值, $u_i$ 为与实际坐标对应的成像坐标的横轴坐标值, $y_i$ 为实际坐标的纵轴坐标值, $v_i$ 为与实际坐标对应的成像坐标的纵轴坐标值。

[0060] 步骤S7:根据实际坐标和该实际坐标对应的理论坐标得到实际坐标相对于该实际坐标对应的理论坐标的横向误差值及纵向误差值;横向误差值及纵向误差值通过以下关系式得到:

$$[0061] \quad \Delta x_i = x_i - x_i', \Delta y_i = y_i - y_i',$$

[0062]  $\Delta x_i$ 为横向误差值, $x_i$ 为实际坐标的横轴坐标值, $x_i'$ 为与实际坐标对应的理论坐标的横轴坐标值, $\Delta y_i$ 为纵向误差值, $y_i$ 为实际坐标的纵轴坐标值, $y_i'$ 为与实际坐标对应的理论坐标的纵轴坐标值。

[0063] 图6是本发明的实施例中对任意成像点获取系统横向误差值及系统纵向误差值的原理示意图。

[0064] 步骤S8:如图5和图6所示,根据任意一个第二构成网格23的四个网格成像交点24的成像坐标的横向误差值和纵向误差值,得到位于相对应的第二构成网格23内的成像点的系统横向误差值和系统纵向误差值;

[0065] 将第二构成网格23的四个网格成像交点24作为第一交点、第二交点、第三交点以及第四交点,第一交点和第二交点位于同一条水平线上,第一交点和第四交点位于同一条竖直线上,

[0066] 在本实施例中,将第二构成网格23的四个网格成像交点24分别命名为P、Q、R以及T,将成像点命名为S。

[0067] 成像点S的系统横向误差值和系统纵向误差值通过以下关系式得到:

$$[0068] \quad \Delta x_s = \frac{(X_s - X_p) \cdot \Delta x_p + (X_q - X_s) \cdot \Delta x_q + (X_s - X_t) \cdot \Delta x_t + (X_r - X_s) \cdot \Delta x_r}{2(X_q - X_p)}$$

$$[0069] \quad \Delta y_s = \frac{(Y_s - Y_p) \cdot \Delta y_p + (Y_t - Y_s) \cdot \Delta y_t + (Y_s - Y_q) \cdot \Delta y_q + (Y_r - Y_s) \cdot \Delta y_r}{2(Y_t - Y_p)}$$

[0070]  $\Delta x_s$ 为点S(即成像点)的系统横向误差值, $\Delta y_s$ 为点S的系统纵向误差值, $X_s$ 为点S的横轴坐标值, $Y_s$ 为点S的纵轴坐标值, $X_p$ 为点P(即第一交点)的横轴坐标值, $Y_p$ 为点P的纵轴



坐标值,  $\Delta x_p$  为点P的横向误差值,  $\Delta y_p$  为点P的纵向误差值,  $X_q$  为点Q(即第二交点)的横轴坐标值,  $Y_q$  为点Q的纵轴坐标值,  $\Delta x_q$  为点Q的横向误差值,  $\Delta y_q$  为点Q的纵向误差值,  $X_r$  为点R(即第三交点)的横轴坐标值,  $Y_r$  为点R的纵轴坐标值,  $\Delta x_r$  为点R的横向误差值,  $\Delta y_r$  为点R的纵向误差值,  $X_t$  为点T(即第四交点)的横轴坐标值,  $Y_t$  为点T的纵轴坐标值,  $\Delta x_t$  为点T的横向误差值,  $\Delta y_t$  为点T的纵向误差值。

[0071] 在本实施例中, 整个第二网格矩阵20由64个第二构成网格23组成, 在任何一个第二构成网格23中, 在已知该第二构成网格23的四个网格成像交点24的横向误差值和纵向误差值的前提下, 可以求出该第二构成网格23中成像点的系统横向误差值及系统纵向误差值, 建立整个第二网格矩阵20区域内的误差补偿模型。

[0072] 步骤S9: 根据系统横向误差值和系统纵向误差值对成像点的坐标进行补偿, 对成像点的实际坐标进行补偿, 补偿后的对应点坐标为  $(X_s - \Delta x_s, Y_s - \Delta y_s)$ 。

[0073] 在本实施例中, 将  $(X_s - \Delta x_s, Y_s - \Delta y_s)$  预设为补偿模板, 对于振镜式激光加工系统的加工轨迹上所有点都可以经过补偿模板进行补偿, 得到新的加工轨迹输入到振镜式激光加工软件系统中进行加工, 完成振镜式激光加工的补偿。

[0074] 实施例的作用与效果

[0075] 根据本实施例所涉及的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法, 首先在待测工件表面建立第一网格矩阵, 再对第一网格矩阵进行光学成像得到第二网格矩阵, 然后将第一网格矩阵和第二网格矩阵纳于成像坐标系中, 得到第一网格矩阵中的网格交点的理论坐标及相对应的第二网格矩阵中的网格成像交点的实际坐标, 接着根据理论坐标和实际坐标得到这些网格成像交点的横向误差值及纵向误差值, 最后得到任意成像点的系统横向误差值及系统纵向误差值的关系表达式并依此对成像点的位置进行补偿。因此本实施例的振镜式激光加工的网格分区域补偿方法通过对振镜式激光加工系统整体加工误差进行检测、分析和建模, 实现振镜式激光加工系统的补偿, 从而提高振镜式激光加工系统的精度。

[0076] 此外, 本实施例中由于第二网格矩阵的每条细化竖直线和每条细化水平线均为单像素构成的线, 每个第二构成网格均为正方形。因此, 工业相机对第二构成网格的相关位置能够按像素为单位进行辨识, 从而大大提高了振镜式激光加工的网格分区域补偿方法的精确度。

[0077] 另外, 本实施例中的第一构成网格的边长为  $d$ , 以第  $a$  条竖直线和第  $b$  条水平线的网格交点作为成像坐标系原点, 第  $p$  条竖直线和第  $q$  条水平线构成的网格交点的理论坐标为  $((p-a) \times d, (q-b) \times d)$ 。因此, 第一构成网格的网格交点的理论坐标通过简单计算能够被方便的得到。

[0078] 另外, 本实施例中成像坐标为通过对网格成像交点进行像素差分获取的浮点型交点像素坐标。因此使获取的成像坐标更为精确。

[0079] 上述实施方式为本发明的优选案例, 并不用来限制本发明的保护范围, 本领域普通技术人员在所附权利要求范围内不需要创造性劳动就能做出的各种变形或修改仍属本专利的保护范围。

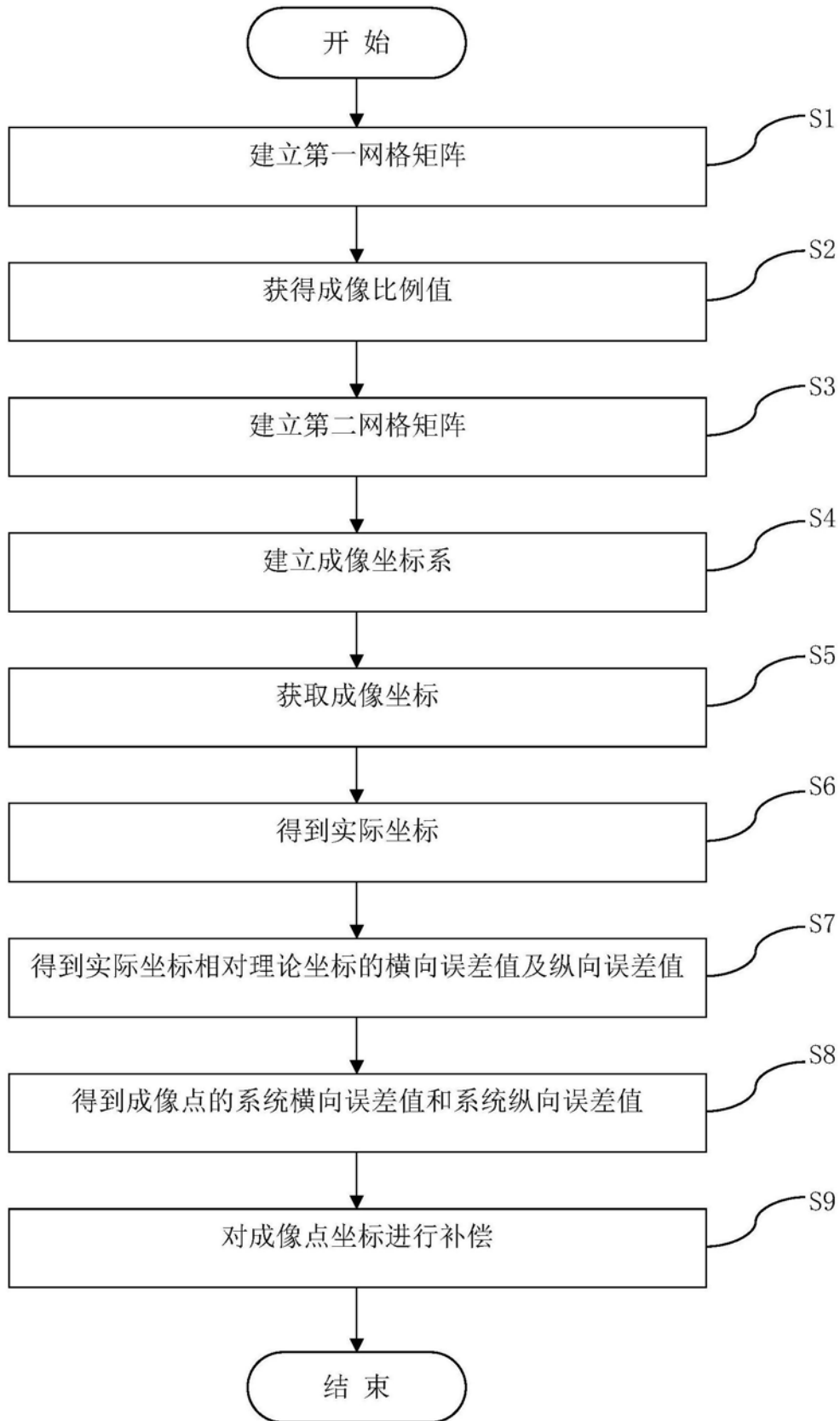


图1

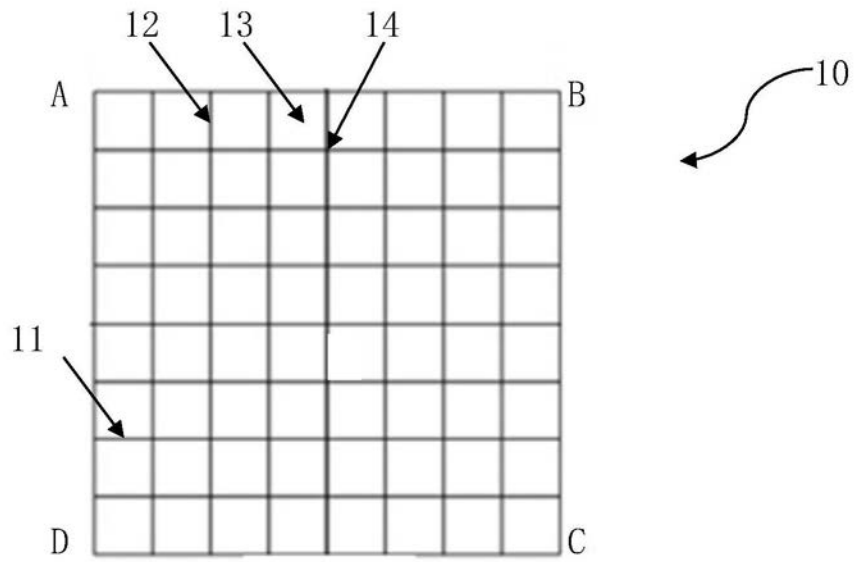


图2

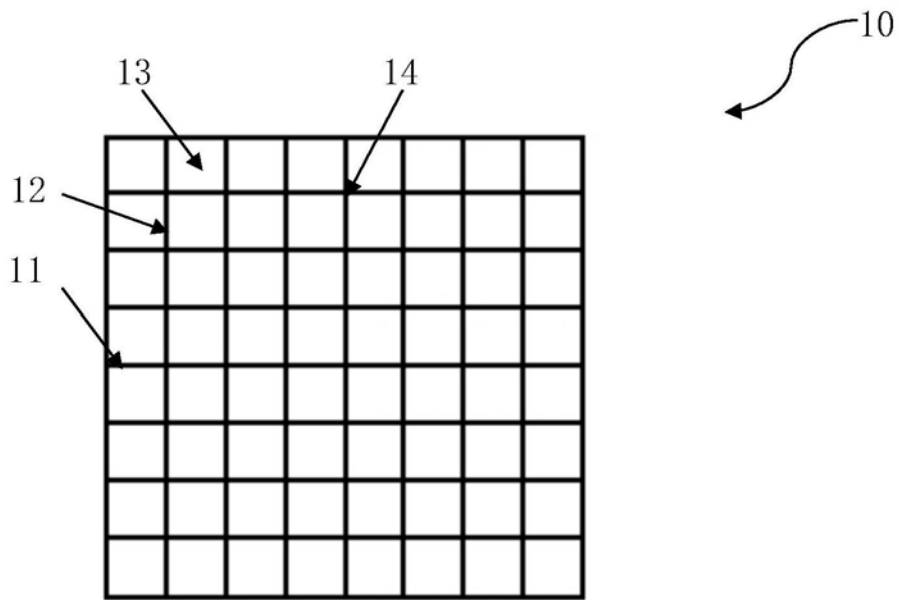


图3

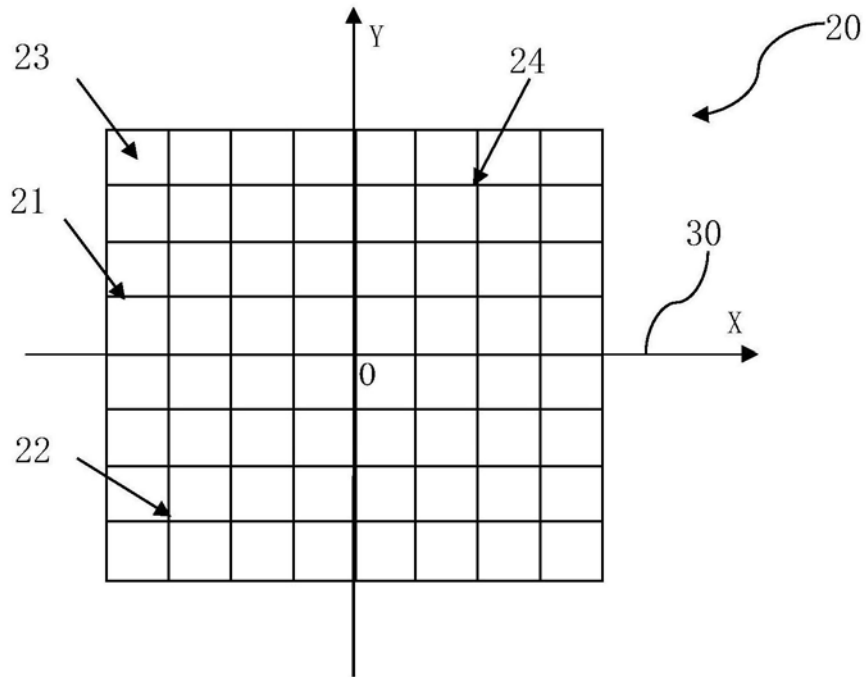


图4

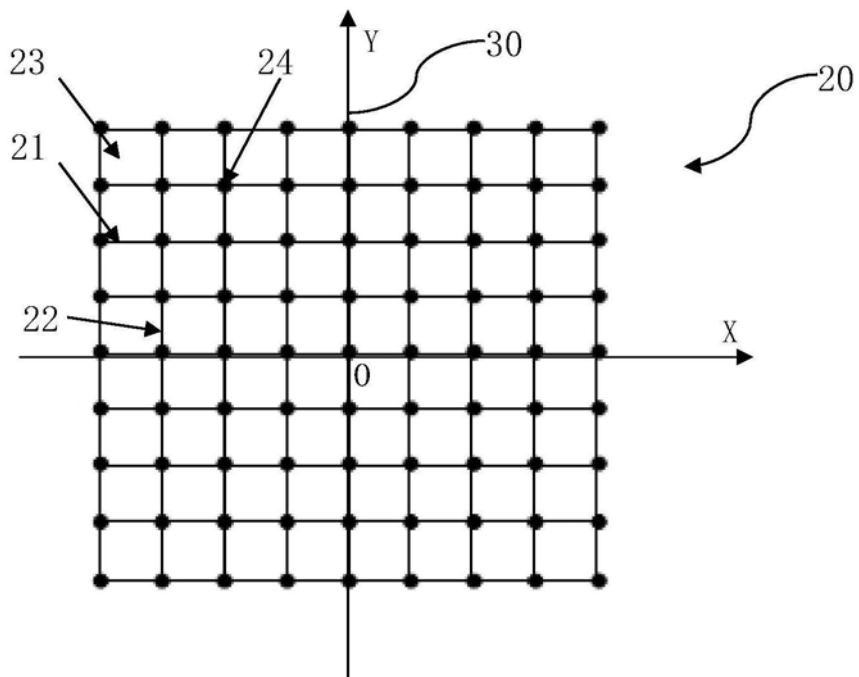


图5

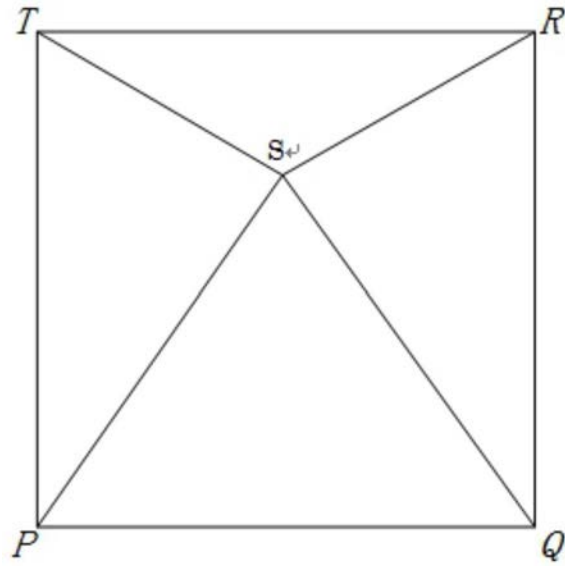


图6