



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113237888 B

(45) 授权公告日 2022.06.14

(21) 申请号 202110559458.0

G06T 7/33 (2017.01)

(22) 申请日 2021.05.21

G06T 7/62 (2017.01)

G06T 7/90 (2017.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113237888 A

审查员 李婉

(43) 申请公布日 2021.08.10

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72) 发明人 韩越越 陈凤东 曾发 路程

彭志涛 刘国栋

(74) 专利代理机构 哈尔滨华夏松花江知识产权

代理有限公司 23213

专利代理师 杨晓辉

(51) Int. Cl.

G01N 21/88 (2006.01)

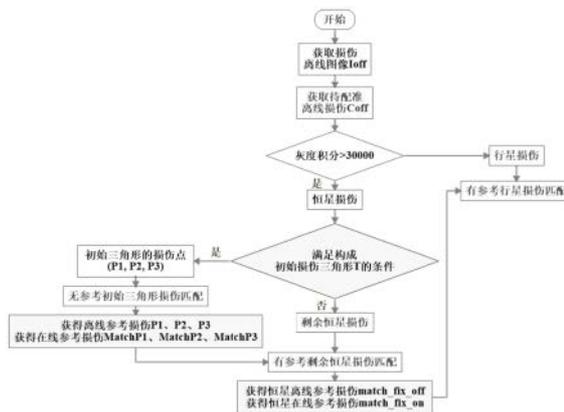
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法

(57) 摘要

一种大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,属于光学元件损伤检测领域。本发明针对现有光学元件的在线损伤图像与离线损伤图像之间通过损伤点匹配确定伪损伤点,匹配难度大并且效率低的问题。它采用近邻损伤多点主动定位方法找到损伤的位置,相对于传统的三角形匹配方法,不需要将损伤两两之间的距离、角度信息提前计算存储,极大地减少了计算量,加快了匹配速度;同时,利用待匹配损伤近邻已匹配损伤的相对位置关系,更加精准的找到待匹配损伤的位置,减少远距离损伤匹配带来的误差,提高匹配精度。本发明在强干扰损伤的情况下可正确匹配离线损伤所对应的在线损伤。



1. 一种大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,其特征在于包括,

步骤一:获取光学元件通光口径范围内在线损伤点区域的待配准在线损伤点集合和离线损伤点区域的待配准离线损伤点集合;

步骤二:根据待配准离线损伤点集合中离线损伤点的灰度积分值,将所有离线损伤点分为恒星损伤点和行星损伤点;

将灰度积分值最大的恒星损伤点作为中心点P1;其它恒星损伤点按照与中心点P1的距离面积比,由小到大依次排序为P2点、P3点、……,获得匹配顺序索引P1、P2、P3、……;

计算在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数;

步骤三:以中心点P1为基准点,按匹配顺序索引再确定两个恒星损伤点与中心点P1构成初始离线损伤三角形;根据缩放系数将初始离线损伤三角形映射到待配准在线损伤点集合,得到相对应的在线损伤区域;根据初始离线损伤三角形的损伤特征信息,确定在线损伤区域内匹配的在线候选三角形;再通过损伤特征信息相似度投票法在在线候选三角形中确定与初始离线损伤三角形匹配的在线损伤三角形,实现初始三个在线损伤点与三个恒星损伤点的匹配;

步骤四:将匹配顺序索引中除初始离线损伤三角形对应的三个恒星损伤点以外,其它的恒星损伤点依次以已匹配离线损伤点为参考点,在待配准在线损伤点集合中确定与当前恒星损伤点对应的感兴趣在线损伤点区域;

感兴趣在线损伤点区域的确定方法包括:

选取当前待匹配恒星损伤点,从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点,并相对应的确定在线匹配参考点;

计算当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离,及两点间线段与水平轴的夹角;

将当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离及夹角信息按缩放系数相对应的映射到在线损伤点区域得到对应的映射区域,对映射区域以预设误差范围绘制圆形区域,所述圆形区域作为感兴趣在线损伤点区域;

若在线参考距离大于5.5个像素距离并且小于或者等于100个像素距离,则预设误差范围选择为5.5个像素距离;

若在线参考距离大于100并且小于或等于450个像素距离,则预设误差范围选择为10.5个像素距离;

若在线参考距离大于450个像素距离,则预设误差范围选择为20.5个像素距离;

若在线参考距离小于5.5个像素距离,则预设误差范围选择为与在线参考距离相等;

所述在线参考距离为待配准恒星损伤点与作为参考点的已匹配离线损伤点之间连线映射在在线损伤点区域的长度;

若感兴趣在线损伤点区域内包括一个在线损伤点,则所述在线损伤点作为当前恒星损伤点的在线匹配点;

若感兴趣在线损伤点区域内包括两个在线损伤点,则通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

若感兴趣在线损伤点区域内在线损伤点超过两个,则采用感兴趣区域评分筛选法筛选得到评分最高的两个在线损伤点,再通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损

伤点匹配的在线损伤点；

所述感兴趣区域评分筛选法包括：

计算每个候选在线损伤点的面积和其与每个感兴趣在线损伤点区域的交集面积，将所有交集面积和与当前候选在线损伤点面积比作为当前候选在线损伤点的得分，再计算每个候选在线损伤点的得分与所有候选在线损伤点得分和的比值，分数最高的两个候选在线损伤点即为所述评分最高的两个在线损伤点；

直到完成所有在线损伤点与所有恒星损伤点的匹配；

步骤五：再以完成匹配的恒星损伤点为基准，在待配准在线损伤点集合中按步骤四的方法实现所有行星损伤点与在线损伤点的匹配，从而完成损伤点在线与离线暗场图像匹配。

2. 根据权利要求1所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，

步骤一中，在线损伤点区域的获得方法包括：由光学元件的在线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为在线损伤点区域；

离线损伤点区域的获得方法包括：由光学元件的离线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为离线损伤点区域。

3. 根据权利要求2所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，

步骤二中，灰度积分值达到或超过阈值3000的离线损伤点作为恒星损伤点，灰度积分值低于阈值3000的离线损伤点作为行星损伤点。

4. 根据权利要求3所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，步骤二中所述缩放系数的计算方法包括：

根据在线损伤点区域的长度值和宽度值，以及离线损伤点区域的长度值和宽度值计算获得在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数。

5. 根据权利要求4所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，步骤三中损伤特征信息包括，初始离线损伤三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角，以及在线候选三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角。

6. 根据权利要求5所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，所述初始离线损伤三角形需满足：

按照匹配顺序索引P1、P2、P3、……，除中心点P1以外，确定的构成初始离线损伤三角形的第一个恒星损伤点与中心点P1的连线与水平轴的夹角不属于 $\pm [0^\circ, 10^\circ]$ 之间，以及 $\pm [170^\circ, 180^\circ]$ 之间；

确定的构成初始离线损伤三角形的第二个恒星损伤点与P1和第一个恒星损伤点构成的三角形中，最大的角度不大于 120° 。

7. 根据权利要求6所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法，其特征在于，从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点的方法包括：

选取当前待匹配恒星损伤点，按照匹配顺序索引依次选择至多10个已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点，所述离线匹配参考点与当前待匹配恒星损伤点连线与水平轴的夹角

不属于 $\pm[0^\circ, 10^\circ]$ 之间,以及 $\pm[170^\circ, 180^\circ]$ 之间。

8. 根据权利要求7所述的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,其特征在于,

所述在线、离线信息交互匹配方法包括:设定评分最高的两个在线损伤点为D1和D2;

假设以下两种情况:

第一种:假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D1,则计算D2相对于D1的距离和二者连线与水平轴的夹角;

第二种:再假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D2,则计算D1相对于D2的距离和二者连线与水平轴的夹角;

将计算获得的距离信息和夹角信息按缩放系数映射到离线图像,计算当前待匹配恒星损伤点周围是否存在满足第一种或第二种假设关系下的恒星损伤点,若其中一种假设关系下存在满足条件的恒星损伤点,则根据所述一种假设关系下的D1和D2,确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

否则,对当前待匹配恒星损伤点的形状进行判断,若其圆度小于0.65,则进行粘连损伤判定:计算当前待匹配恒星损伤点拟合长轴与水平轴的夹角 angleP 及其最大直径 rP ;计算D1和D2间的距离 distance12 、D1的直径 $rD1$ 、D2的直径 $rD2$,以及 distance12 、 $rD1$ 与 $rD2$ 的距离值总和 sumD ;再计算D1和D2间连线与水平轴夹角 angleD1D2 ;

若同时满足以下条件:

1) angleP 与 angleD1D2 的角度差值在 5° 以内;

2) 当前待匹配恒星损伤点最大直径 rP 映射在在线损伤点区域的在线距离值与距离值总和 sumD 的差值大于0;

则判断当前待匹配恒星损伤点为离线损伤粘连,D1和D2共同作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点;

若不满足以上条件,则选择D1和D2中灰度积分值相对大的点作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点。

大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,属于光学元件损伤检测领域。

背景技术

[0002] 大型激光装置中的大口径光学元件在高能量激光的辐照下极易产生损伤,需要在线采集暗场侧照明条件下的光学元件损伤图像,对其损伤程度进行监控与评估。由于杂散光、灰尘和熔石英碎屑的存在,使在线暗场元件损伤图像上除了真损伤点,还存在大量伪损伤点,这严重干扰了对光学元件损伤程度的正确评估。

[0003] 为了准确判断在线损伤图像中损伤点的真伪,需要将光学元件从实验装置上拆卸下来,清洗过后放在特定的离线检测平台上,拍摄获取只有真损伤的离线损伤图像;再通过人工交叉对比在线损伤图像与离线损伤图像,对离线和在线图像损伤点进行匹配,确定在线损伤图像中损伤的真伪。

[0004] 由于待匹配损伤点的数量很多,在光学元件损伤图像上分布不均匀,并且损伤点间距小(最小可能只有几个像素),人工进行损伤点的匹配难度极大;同时由于在线、离线的拍摄环境、拍摄角度、光源分布的不同,使得在线、离线损伤的形态、亮度和位置都存在差异,这进一步增大了损伤点匹配难度。目前,通常依靠人工匹配部分损伤点,再用这部分损伤点的中心坐标计算在线、离线图像的投影变换矩阵,实现两幅图像的粗配准。这种方法精度低、效率低。

[0005] 现有基于三角形配准的星图匹配方法匹配速度相对较慢,尤其不适用存在强伪损伤干扰的情况。另外,现有终端光学元件在线检测图像中伪损伤数量大,由于辅助配准的纹理特征极少,人工配准在线、离线损伤存在速度慢、准确率低的缺陷。

发明内容

[0006] 针对现有光学元件的在线损伤图像与离线损伤图像之间通过损伤点匹配确定伪损伤点,匹配难度大并且效率低的问题,本发明提供一种大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法。

[0007] 本发明的一种大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,包括,

[0008] 步骤一:获取光学元件通光口径范围内在线损伤点区域的待配准在线损伤点集合和离线损伤点区域的待配准离线损伤点集合;

[0009] 步骤二:根据待配准离线损伤点集合中离线损伤点的灰度积分值,将所有离线损伤点分为恒星损伤点和行星损伤点;

[0010] 将灰度积分值最大的恒星损伤点作为中心点P1;其它恒星损伤点按照与中心点P1的距离面积比,由小到大依次排序为P2点、P3点、……,获得匹配顺序索引P1、P2、P3、……;

[0011] 计算在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数;

[0012] 步骤三:以中心点P1为基准点,按匹配顺序索引再确定两个恒星损伤点与中心点

P1构成初始离线损伤三角形;根据缩放系数将初始离线损伤三角形映射到待配准在线损伤点集合,得到相对应的在线损伤区域;根据初始离线损伤三角形的损伤特征信息,确定在线损伤区域内匹配的在线候选三角形;再通过损伤特征信息相似度投票法在在线候选三角形中确定与初始离线损伤三角形匹配的在线损伤三角形,实现初始三个在线损伤点与三个恒星损伤点的匹配;

[0013] 步骤四:将匹配顺序索引中除初始离线损伤三角形对应的三个恒星损伤点以外,其它的恒星损伤点依次以已匹配离线损伤点为参考点,在待配准在线损伤点集合中确定与当前恒星损伤点对应的感兴趣在线损伤点区域;

[0014] 若感兴趣在线损伤点区域内包括一个在线损伤点,则所述在线损伤点作为当前恒星损伤点的在线匹配点;

[0015] 若感兴趣在线损伤点区域内包括两个在线损伤点,则通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

[0016] 若感兴趣在线损伤点区域内在线损伤点超过两个,则采用感兴趣区域评分筛选法筛选得到评分最高的两个在线损伤点,再通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

[0017] 直到完成所有在线损伤点与所有恒星损伤点的匹配;

[0018] 步骤五:再以完成匹配的恒星损伤点为基准,在待配准在线损伤点集合中按步骤四的方法实现所有行星损伤点与在线损伤点的匹配,从而完成损伤点在线与离线暗场图像匹配。

[0019] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0020] 步骤一中,在线损伤点区域的获得方法包括:由光学元件的在线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为在线损伤点区域;

[0021] 离线损伤点区域的获得方法包括:由光学元件的离线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为离线损伤点区域。

[0022] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0023] 步骤二中,灰度积分值达到或超过阈值3000的离线损伤点作为恒星损伤点,灰度积分值低于阈值3000的离线损伤点作为行星损伤点。

[0024] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0025] 步骤二中所述缩放系数的计算方法包括:

[0026] 根据在线损伤点区域的长度值和宽度值,以及离线损伤点区域的长度值和宽度值计算获得在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数。

[0027] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0028] 步骤三中损伤特征信息包括,初始离线损伤三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角,以及在线候选三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角。

[0029] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0030] 所述初始离线损伤三角形需满足:

[0031] 按照匹配顺序索引P1、P2、P3、……,除中心点P1以外,确定的构成初始离线损伤三角形的第一个恒星损伤点与中心点P1的连线与水平轴的夹角不属于 $\pm[0^\circ, 10^\circ]$ 之间,以及 $\pm[170^\circ, 180^\circ]$ 之间;

[0032] 确定的构成初始离线损伤三角形的第二个恒星损伤点与P1和第一个恒星损伤点构成的三角形中,最大的角度不大于 120° 。

[0033] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0034] 步骤四中感兴趣在线损伤点区域的确定方法包括:

[0035] 选取当前待匹配恒星损伤点,从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点,并相对应的确定在线匹配参考点;

[0036] 计算当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离,及两点间线段与水平轴的夹角;

[0037] 将当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离及夹角信息按缩放系数相对应的映射到在线损伤点区域得到对应的映射区域,对映射区域以预设误差范围绘制圆形区域,所述圆形区域作为感兴趣在线损伤点区域;

[0038] 若在线参考距离大于5.5个像素距离并且小于或者等于100个像素距离,则预设误差范围选择为5.5个像素距离;

[0039] 若在线参考距离大于100并且小于或等于450个像素距离,则预设误差范围选择为10.5个像素距离;

[0040] 若在线参考距离大于450个像素距离,则预设误差范围选择为20.5个像素距离;

[0041] 若在线参考距离小于5.5个像素距离,则预设误差范围选择为与在线参考距离相等;

[0042] 所述在线参考距离为待配准恒星损伤点与作为参考点的已匹配离线损伤点之间连线映射在在线损伤点区域的长度。

[0043] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0044] 从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点的方法包括:

[0045] 选取当前待匹配恒星损伤点,按照匹配顺序索引依次选择至多10个已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点,所述离线匹配参考点与当前待匹配恒星损伤点连线与水平轴的夹角不属于 $\pm[0^{\circ}, 10^{\circ}]$ 之间,以及 $\pm[170^{\circ}, 180^{\circ}]$ 之间。

[0046] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0047] 所述感兴趣区域评分筛选法包括:

[0048] 计算每个候选在线损伤点的面积和其与每个感兴趣在线损伤点区域的交集面积,将所有交集面积和与当前候选在线损伤点面积比作为当前候选在线损伤点的得分,再计算每个候选在线损伤点的得分与所有候选在线损伤点得分和的比值,分数最高的两个候选在线损伤点即为所述评分最高的两个在线损伤点。

[0049] 根据本发明的大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,

[0050] 所述在线、离线信息交互匹配方法包括:设定评分最高的两个在线损伤点为D1和D2;

[0051] 假设以下两种情况:

[0052] 第一种:假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D1,则计算D2相对于D1的距离和二者连线与水平轴的夹角;

[0053] 第二种:再假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D2,则计算D1相

对于D2的距离和二者连线与水平轴的夹角；

[0054] 将计算获得的距离信息和夹角信息按缩放系数映射到离线图像,计算当前待匹配恒星损伤点周围是否存在满足第一种或第二种假设关系下的恒星损伤点,若其中一种假设关系下存在满足条件的恒星损伤点,则根据所述一种假设关系下的D1和D2,确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点；

[0055] 否则,对当前待匹配恒星损伤点的形状进行判断,若其圆度小于0.65,则进行粘连损伤判定:计算当前待匹配恒星损伤点拟合长轴与水平轴的夹角 angleP 以及其最大直径 rP ;计算D1和D2间的距离 distance12 、D1的直径 $rD1$ 、D2的直径 $rD2$,以及 distance12 、 $rD1$ 与 $rD2$ 的距离值总和 sumD ;再计算D1和D2间连线与水平轴夹角 angleD1D2 ;

[0056] 若同时满足以下条件:

[0057] 1) angleP 与 angleD1D2 的角度差值在 5° 以内;

[0058] 2) 当前待匹配恒星损伤点最大直径 rP 映射在在线损伤点区域的在线距离值与距离值总和 sumD 的差值大于0;

[0059] 则判断当前待匹配恒星损伤点为离线损伤粘连,D1和D2共同作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点;

[0060] 若不满足以上条件,则选择D1和D2中灰度积分值相对大的点作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点。

[0061] 本发明的有益效果:本发明采用近邻损伤多点主动定位方法找到损伤的位置,相对于传统的三角形匹配方法,不需要将损伤两两之间的距离、角度信息提前计算存储,极大地减少了计算量,加快了匹配速度;同时,利用待匹配损伤近邻已匹配损伤的相对位置关系,更加精准的找到待匹配损伤的位置,减少远距离损伤匹配带来的误差,提高匹配精度。

[0062] 损伤在线、离线信息交互匹配方法相对于传统只采用单边(离线)信息的匹配方法,融合了候选损伤周围的损伤信息,即:在线损伤的信息模拟了人眼观察匹配损伤的方式,在线、离线信息互通,在强干扰损伤的情况下可正确匹配离线损伤所对应的在线损伤。

[0063] 本发明在大口径光学元件损伤在线、离线匹配方法方面填补了本领域内的技术空白。

附图说明

[0064] 图1是本发明所述大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法的流程图;

[0065] 图2是初始离线损伤三角形的构成示意图;

[0066] 图3是近邻损伤多点主动定位方法示意图;

[0067] 图4a是在线损伤图像中存在损伤粘连的示意图;图4b是离线损伤图像中存在损伤粘连的示意图;

[0068] 图5a是在线损伤图像中真实近邻损伤干扰示意图;图5b是离线损伤图像中真实近邻损伤干扰示意图;

[0069] 图6a是在线损伤图像中孪生像(鬼影)损伤干扰示意图;图6b是离线损伤图像中孪生像(鬼影)损伤干扰示意图;

[0070] 图7是损伤在线、离线信息交互匹配方法示意图。

具体实施方式

[0071] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0072] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0073] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,但不作为本发明的限定。

[0074] 具体实施方式一、结合图1至图7所示,本发明提供了一种大口径光学元件损伤点在线与离线暗场图像匹配方法,包括,

[0075] 步骤一:获取光学元件通光口径范围内在线损伤点区域的待配准在线损伤点集合Con和离线损伤点区域的待配准离线损伤点集合Coff;

[0076] 步骤二:根据待配准离线损伤点集合中离线损伤点的灰度积分值,将所有离线损伤点分为恒星损伤点和行星损伤点;

[0077] 将灰度积分值最大的恒星损伤点作为中心点P1;其它恒星损伤点按照与中心点P1的距离面积比,由小到大依次排序为P2点、P3点、……,获得匹配顺序索引P1、P2、P3、……;

[0078] 计算在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数;

[0079] 获得匹配顺序索引Indices的过程包括:以最明亮恒星损伤点为中心优先向四周更稳定损伤点扩散。计算所有恒星损伤点灰度积分值,灰度积分值最大的损伤点设为中心点P1,将该损伤点序号放入匹配顺序索引Indices的第1位;计算P1之外的剩余的恒星损伤点与P1的距离 $distance_{p_1}$ 和自身的面积 $areap_p$,计算距离面积比 $Coefficient = distance_{p_1}/areap_p$,损伤的值Coefficient越小,则损伤越靠近P1点,且自身面积越大。将Coefficient降序排序,损伤序号依次放入Indices中。

[0080] 所述在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数Scale_Factor的计算方法包括:根据在线损伤点区域的长度Lon、宽度Won值和离线损伤点区域的长度Loff、宽度Woff值,粗略计算在线、离线图像的缩放比例关系:

[0081] $Scale_Factor = Mean([Lon/Loff, Won/Woff])$ 。

[0082] 步骤三:结合图2所示,以中心点P1为基准点,按匹配顺序索引再确定两个恒星损伤点与中心点P1构成初始离线损伤三角形;根据缩放系数将初始离线损伤三角形映射到待配准在线损伤点集合,得到相对应的在线损伤区域;根据初始离线损伤三角形的损伤特征信息,确定在线损伤区域内匹配的在线候选三角形;再通过损伤特征信息相似度投票法在在线候选三角形中确定与初始离线损伤三角形匹配的在线损伤三角形,实现初始三个在线损伤点与三个恒星损伤点的匹配;

[0083] 所述初始离线损伤三角形为无参考损伤下的初始三角形。包括:计算初始离线损伤三角形用于匹配的特征信息;确定相对应的在线损伤区域TC,缩小计算范围,减少计算量;采用三角形配准算法找到误差范围内匹配的在线候选三角形CandidateT_(i=1,2,...,n)。通过损伤特征相似度投票法在在线候选三角形CandidateT中确定与初始离线损伤三角形匹配的在线损伤三角形MatchT(Match1、Match2、Match3);将匹配后的恒星损伤点放入空集match_fix_off,与之匹配的在线损伤点MatchP1、MatchP2、MatchP3放入空集match_fix_

on。

[0084] 在线损伤区域TC的确定过程包括:P1 (R1,C1) 在离线图像中的坐标已知,通过Scale_Factor将P1映射到在线图像的位置为P1_on($\text{transR1}=\text{R1}\times\text{Scale_Factor}$, $\text{transC1}=\text{C1}\times\text{Scale_Factor}$);再根据Length_off_trans值绘制出初始离线损伤三角形T映射到在线图像中的三角形区域T_trans。将该区域扩张误差容许error_range得到区域T_trans_dilation。在T_trans_dilation区域内的在线损伤Con就是初始三角形的候选点TC。

[0085] 确定在线候选三角形的过程包括:采用三角形配准算法,利用三角形全等的性质,基于星图匹配中查询导航星索引的方法,将在线候选点TC中任意两个在线损伤构成的线段长度,与水平轴的夹角作为特征分别存放于数组Length_on和Angle_on,根据length_off、Angle_off的数值,在Length_on和Angle_on中搜索,找到满足误差范围所有成对损伤点,再根据三个点排列顺序,找到能构成三角形的所有候选损伤按顺序放入MatchP1_candidate, MatchP2_candidate, MatchP3_candidate中。

[0086] 所述相似度投票法包括:

[0087] 由于损伤点数量庞大,满足全等三角形条件配准得到的三角形并不唯一。需要在强干扰三角形中找到真实与初始离线损伤三角形匹配的三角形。此时,就需要利用损伤的灰度积分和面积信息。对于大多数损伤而言,亮度都很微弱,面积差异由于照明条件的影响差异本身可能就很大,没有利用参考价值,反而还会带来很多负面作用。但是初初离线损伤三角形是整个损伤图像中最大最亮的损伤点与附近很亮的损伤构成的,其亮度、面积信息比较可靠,是排除其他三角形的有力特征。将MatchP1_candidate中损伤面积与Area_P_trans对比,差异最小的损伤即为Match_P1。根据这个条件,对MatchP2_candidate, MatchP3_candidate筛选,如果只剩下一组损伤点,则得到了与初初离线损伤三角形(P1, P2, P3)匹配的在线损伤点(MatchP1、MatchP2、MatchP3);如果还存在多组损伤点,就需要加入P2、P3的灰度积分信息brightness2, brightness3, MatchP2_candidate, MatchP3_candidate中与各自灰度积分误差最小的可为自己组投一票,最终票数最多的一组损伤即为(MatchP1、MatchP2、MatchP3)。

[0088] 步骤四:将匹配顺序索引中除初始离线损伤三角形对应的三个恒星损伤点以外,其它的恒星损伤点依次以已匹配离线损伤点为参考点,在待配准在线损伤点集合中确定与当前恒星损伤点对应的感兴趣在线损伤点区域;

[0089] 若感兴趣在线损伤点区域内包括一个在线损伤点,则所述在线损伤点作为当前恒星损伤点的在线匹配点;

[0090] 若感兴趣在线损伤点区域内包括两个在线损伤点,则通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

[0091] 若感兴趣在线损伤点区域内在线损伤点超过两个,则采用感兴趣区域评分筛选法筛选得到评分最高的两个在线损伤点,再通过在线、离线信息交互匹配方法确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

[0092] 直到完成所有在线损伤点与所有恒星损伤点的匹配;

[0093] 在没有强干扰损伤的情况下,唯一的候选损伤点即为与P匹配的在线损伤点MatchP;存在强干扰损伤的情况下,如果候选损伤数量超过2个,采用感兴趣区域评分筛选法筛选出评分最高的两个损伤;通过损伤在线、离线信息交互匹配方法确定与P匹配的在线

损伤MatchP。

[0094] 步骤五:再以完成匹配的恒星损伤点为基准,在待配准在线损伤点集合中按步骤四的方法实现所有行星损伤点与在线损伤点的匹配,从而完成损伤点在线与离线暗场图像匹配。

[0095] 在在线损伤点集合中,若无与目标待配准离线损伤点相对应的配准点,则继续下一个点的匹配;若存在匹配在线损伤点MatchP,将恒星损伤点P放入match_fix_off中,MatchP放入match_fix_on中,同时MatchP不再参与后续的匹配,减少计算量;挑选下一个待配准点。

[0096] 所有恒星点损伤匹配结束,match_fix_off中是恒星损伤点,match_fix_on中是与match_fix_off一一对应匹配的在线损伤点。

[0097] 以已配对损伤点作为参考点定位的行星损伤匹配,配准方法与恒星相同,只是在一些参数设置上比恒星匹配更加严格。直至所有行星损伤匹配结束。

[0098] 进一步,步骤一中,在线损伤点区域的获得方法包括:由光学元件的在线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为在线损伤点区域;

[0099] 离线损伤点区域的获得方法包括:由光学元件的离线损伤图像提取其通光口径范围内图像作为离线损伤点区域。

[0100] 所述待配准离线损伤点集合的获得方法包括:

[0101] 将大口径光学元件从实验装置中拆卸下来,经过清洗后在离线检测平台上采集光学元件的离线损伤图像,并在光学元件通光口径范围内提取出离线损伤点区域,离线损伤点区域中的所有待配准离线损伤点构成待配准离线损伤点集合Coff。

[0102] 再进一步,步骤二中,灰度积分值达到或超过阈值3000的离线损伤点作为恒星损伤点,灰度积分值低于阈值3000的离线损伤点作为行星损伤点。

[0103] 所述恒星损伤点灰度积分值的计算方法包括:

[0104] 设损伤离线图像中第k个损伤点记做 DS_k , $k=1, \dots, p$,p是图像中损伤的个数。设损伤离线图像为Ioff(i,j),对恒星损伤区域内所有像素点灰度求和即为恒星损伤灰度积分Gray_sum:

$$[0105] \quad Gray_sum = \sum_{(i,j) \in DS_k} Ioff(i,j)。$$

[0106] 再进一步,步骤二中所述缩放系数的计算方法包括:

[0107] 根据在线损伤点区域的长度值和宽度值,以及离线损伤点区域的长度值和宽度值计算获得在线损伤点区域相对于离线损伤点区域的缩放系数。

[0108] 再进一步,步骤三中损伤特征信息包括,初始离线损伤三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角,以及在线候选三角形的三条边长度及每条边与水平轴的夹角。

[0109] 用于匹配的损伤特征信息的计算方法包括:

[0110] 设定初始离线损伤三角形为P1P2P3,则损伤特征信息包括P1P2、P2P3、P3P1三边的长度Length_off[Length12,Length23,Length31]、三边相对于水平轴的角度Angle_off[Angle12,Angle23,Angle31]、损伤点P1面积Area_P和P2、P3的灰度积分brightness[B2,B3]。为了与在线损伤匹配,将离线图像中的长度特征通过Scale_Factor映射到在线图像中:Length_off_trans=Length_off×Scale_Factor;将P1的面积信息Area_P映射到在线

图像中 $Area_P_trans = Area_P \times Scale_Factor^2$ 。

[0111] 将恒星损伤P1、P2、P3放入空集 $match_fix_off$ ，与之匹配的在线损伤MatchP1、MatchP2、MatchP3放入空集 $match_fix_on$ 。

[0112] 再进一步，所述初始离线损伤三角形需满足：

[0113] 按照匹配顺序索引P1、P2、P3、……，除中心点P1以外，确定的构成初始离线损伤三角形的第一个恒星损伤点与中心点P1的连线与水平轴的夹角不属于 $\pm[0^\circ, 10^\circ]$ 之间，以及 $\pm[170^\circ, 180^\circ]$ 之间；

[0114] 确定的构成初始离线损伤三角形的第二个恒星损伤点与P1和第一个恒星损伤点构成的三角形中，最大的角度不大于 120° 。靠前两个满足条件的恒星损伤点与中心点P1构成初始离线损伤三角形。

[0115] 再进一步，步骤四中感兴趣在线损伤点区域的确定方法包括：

[0116] 选取当前待匹配恒星损伤点，从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点，并相对应的确定在线匹配参考点；

[0117] 计算当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离，及两点间线段与水平轴的夹角；

[0118] 将当前待匹配恒星损伤点与每个离线匹配参考点的距离及夹角信息按缩放系数相对应的映射到在线损伤点区域得到对应的映射区域，对映射区域以预设误差范围绘制圆形区域，所述圆形区域作为感兴趣在线损伤点区域；

[0119] 若在线参考距离大于5.5个像素距离并且小于或者等于100个像素距离，则预设误差范围选择为5.5个像素距离；

[0120] 若在线参考距离大于100并且小于或等于450个像素距离，则预设误差范围选择为10.5个像素距离；

[0121] 若在线参考距离大于450个像素距离，则预设误差范围选择为20.5个像素距离；

[0122] 若在线参考距离小于5.5个像素距离，则预设误差范围选择为与在线参考距离相等；

[0123] 所述在线参考距离为待配准恒星损伤点与作为参考点的已匹配离线损伤点之间连线映射在在线损伤点区域的长度。

[0124] 结合图3所示，本实施方式通过近邻损伤多点主动定位方法确定候选在线损伤点，包括：按照匹配顺序索引Indices取出当前待匹配恒星损伤点P，针对P从已匹配恒星损伤点 $match_fix_off$ 中按照设定条件挑选出离线匹配参考点 $Foff_{(i=1,2,\dots,n)}$ 和与之对应的在线匹配参考点 $Fon_{(i=1,2,\dots,n)} \in match_fix_on$ ；离线参考损伤从已匹配恒星损伤 $match_fix_off$ 中挑选。参考损伤与待配准点P的角度不得在 $\pm[0, 10]$ ， $\pm[170, 180]$ 之间，且距离超过300个像素的参考点误差范围设为20.5，距离300像素以内的参考点误差范围要适当减少，设为10.5，以满足定位的精确性。参考损伤数量最多可以有10个。

[0125] 计算P与 $Foff_{(i=1,2,\dots,n)}$ 中每个离线匹配参考点的距离 $Distanc_{(i=1,2,\dots,n)}$ 和构成线段与水平轴夹角信息 $Angle_{(i=1,2,\dots,n)}$ ；将离线距离信息映射到在线距离信息 $Distance_trans$ ：

[0126] $Distance_trans_{(i=1,2,\dots,n)} = Distance_{(i=1,2,\dots,n)} * Scale_Factor$ 。

[0127] 与 $Foff_{(i=1,2,\dots,n)}$ 所对应的每一个在线匹配参考点 $Fon_{(i=1,2,\dots,n)}$ 根据距离

Distance_{trans}_(i=1,2,...,n)和角度Angle_(i=1,2,...,n)信息在设定误差范围画出一个感兴趣区域Rect_(i=1,2,...,n),定位到匹配损伤所在的位置。所述感兴趣在线损伤点区域范围内的在线损伤点都设为候选损伤Candidate。距离越短的参考损伤的误差范围越小,即感兴趣区域越小。

[0128] 再进一步,从已匹配恒星损伤点中按照预设条件挑选出部分已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点的方法包括:

[0129] 选取当前待匹配恒星损伤点,按照匹配顺序索引依次选择至多10个已匹配恒星损伤点作为离线匹配参考点,所述离线匹配参考点与当前待匹配恒星损伤点连线与水平轴的夹角不属于 $\pm[0^\circ, 10^\circ]$ 之间,以及 $\pm[170^\circ, 180^\circ]$ 之间。

[0130] 离线匹配参考点从已匹配恒星损伤match_fix_off中挑选。参考点与待配准点P的角度不得在 $\pm[0, 10]$, $\pm[170, 180]$ 之间,且根据参考点距离的不同,参考点误差范围要适当变动,以满足定位的精确性。参考损伤数量最多可以有10个。

[0131] 再进一步,所述感兴趣区域评分筛选法包括:

[0132] 计算每个候选在线损伤点的面积和其与每个感兴趣在线损伤点区域的交集面积,将所有交集面积和与当前候选在线损伤点面积比作为当前候选在线损伤点的得分,再计算每个候选在线损伤点的得分与所有候选在线损伤点得分和的比值,分数最高的两个候选在线损伤点即为所述评分最高的两个在线损伤点。

[0133] 没有强干扰损伤的情况下,唯一的候选损伤即为与P匹配的在线损伤MatchP;存在强干扰损伤的情况下,如果候选损伤数量超过2个,采用感兴趣区域评分筛选法筛选出评分最高的两个损伤;当损伤分布很密集时,Candidate中的候选损伤可能过多,一些损伤只是与感兴趣区域稍微有几个像素点的交集就被列入候选损伤,极大地增加判断的难度,需要筛选出最难以分辨的两个强干扰损伤D1、D2,有效减轻后续判断难度;计算每个候选损伤Candidate与每个感兴趣区域的交集面积Area_intersectin和自己的面积Areac,累积该损伤所有交集面积比作为得分value。设存在n个参考损伤,m个候选损伤,第k个候选损伤的得分value如下:

$$[0134] \quad value(k) = \sum_{i=1}^n Area_intersectin(i) / Areac,$$

[0135] 但是候选损伤属于竞争关系,他们各自的最终分数是所有候选损伤总得分的占比,第k个候选损伤的最终分数如下,筛选出分数最高的两个损伤作为强干扰损伤。

$$[0136] \quad Score(k) = value(k) / \sum_{i=1}^m value(i)。$$

[0137] 再进一步,结合图4至图7所示,所述在线、离线信息交互匹配方法包括:设定评分最高的两个在线损伤点为D1和D2;

[0138] 假设以下两种情况:

[0139] 第一种:假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D1,则计算D2相对于D1的距离和二者连线与水平轴的夹角;

[0140] 第二种:再假设与当前待匹配恒星损伤点相匹配的在线损伤点为D2,则计算D1相对于D2的距离和二者连线与水平轴的夹角;

[0141] 将计算获得的距离信息和夹角信息按缩放系数映射到离线图像,计算当前待匹配

恒星损伤点周围是否存在满足第一种或第二种假设关系下的恒星损伤点,若其中一种假设关系下存在满足条件的恒星损伤点,则根据所述一种假设关系下的D1和D2,确定与当前恒星损伤点匹配的在线损伤点;

[0142] 否则,对当前待匹配恒星损伤点的形状进行判断,若其圆度小于0.65,则进行粘连损伤判定:计算当前待匹配恒星损伤点拟合长轴与水平轴的夹角 angleP 以及其最大直径 rP ;计算D1和D2间的距离 distance12 、D1的直径 $rD1$ 、D2的直径 $rD2$,以及 distance12 、 $rD1$ 与 $rD2$ 的距离值总和 sumD ;再计算D1和D2间连线与水平轴夹角 angleD1D2 ;

[0143] 若同时满足以下条件:

[0144] 1) angleP 与 angleD1D2 的角度差值在 5° 以内;

[0145] 2) 当前待匹配恒星损伤点最大直径 rP 映射在在线损伤点区域的在线距离值与距离值总和 sumD 的差值大于0;

[0146]
$$\begin{aligned} \text{sub_angle} &= |\text{angleP} - \text{angleD1D2}| < 5^\circ \\ \text{sub_distance} &= rP * \text{Scale_Factor} - (rD1 + rD2 + \text{distance12}) > 0 \end{aligned}$$

[0147] 式中 sub_angle 表示 angleP 与 angleD1D2 的角度差值;

[0148] sub_distance 表示当前待匹配恒星损伤点最大直径 rP 映射在在线损伤点区域的在线距离值与距离值总和 sumD 的差值;

[0149] Scale_Factor 表示缩放系数;

[0150] 则判断当前待匹配恒星损伤点为离线损伤粘连,D1和D2共同作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点;

[0151] 若不满足以上条件,则选择D1和D2中灰度积分值相对大的点作为当前待匹配恒星损伤点对应的在线损伤点。

[0152] 通过损伤在线、离线信息交互匹配方法确定与P匹配的在线损伤 MatchP 。近邻损伤多点主动定位方法采用离线损伤相对位置映射到在线图像确定与之匹配的在线损伤位置,属于离线损伤的单向信息。当在误差范围内出现强干扰损伤D1、D2时,单边的离线损伤信息不足以判断二者之中谁是 MatchP 。强干扰损伤存在三种情况:①离线损伤粘连②真实近邻损伤干扰③孪生像(鬼影)损伤干扰。假设在线图像中的强干扰损伤D1为 MatchP ,计算另一个损伤D2相对于D1的距离 distance12 和角度 angle12 信息;同理计算D2相对于D1的距离 distance21 和角度 angle21 信息。将这些信息全部映射回离线图像,计算P周围是否存在满足 distance12 、 angle12 或 distance12 、 angle12 的损伤。

[0153] A、如果存在满足条件的损伤 nearP ,那么即可根据D1、D2的先后顺序确定匹配的P和 nearP 。

[0154] B、如果不存在满足条件的损伤 nearP ,那么对P的形状进行判断,若损伤P的圆度小于0.65,需要进行粘连损伤判定:计算损伤P拟合长轴与水平轴的方向 angleP ,以及损伤P的最大直径 rP 。计算D1、D2构成的线段与水平轴夹角 angleD1D2 ,D1、D2各自的直径 $rD1$ 、 $rD2$ 以及D1、D2的距离 distance12 。如果满足上面两个条件,P则为离线损伤粘连,那么D1、D2都为 MatchP 。

[0155] C、如果A、B两种情况都不满足,那么强干扰点属于孪生像(鬼影)损伤干扰,二者在亮度上有着明显的区别,只需要挑选出亮度大的损伤即为 MatchP 。

[0156] 若无配准点,挑选下一个待配准点,循环恒星点损伤匹配步骤;若存在匹配损伤

MatchP,将恒星损伤P放入match_fix_off,MatchP放入match_fix_on,同时MatchP不再参与后续的匹配,减少计算量;挑选下一个待配准点,循环恒星点损伤匹配步骤。

[0157] 所有恒星点损伤匹配结束,match_fix_off中是恒星损伤,match_fix_on中是与match_fix_off一一对应匹配的在线损伤。

[0158] 以已配对损伤作为参考点定位的行星损伤匹配,配准方法与恒星相同,直至所有行星损伤匹配结束。

[0159] 虽然在本文中参照了特定的实施方式来描述本发明,但是应该理解的是,这些实施例仅仅是本发明的原理和应用的示例。因此应该理解的是,可以对示例性的实施例进行许多修改,并且可以设计出其他的布置,只要不偏离所附权利要求所限定的本发明的精神和范围。应该理解的是,可以通过不同于原始权利要求所描述的方式来结合不同的从属权利要求和本文中所述的特征。还可以理解的是,结合单独实施例所描述的特征可以使用在其它所述实施例中。

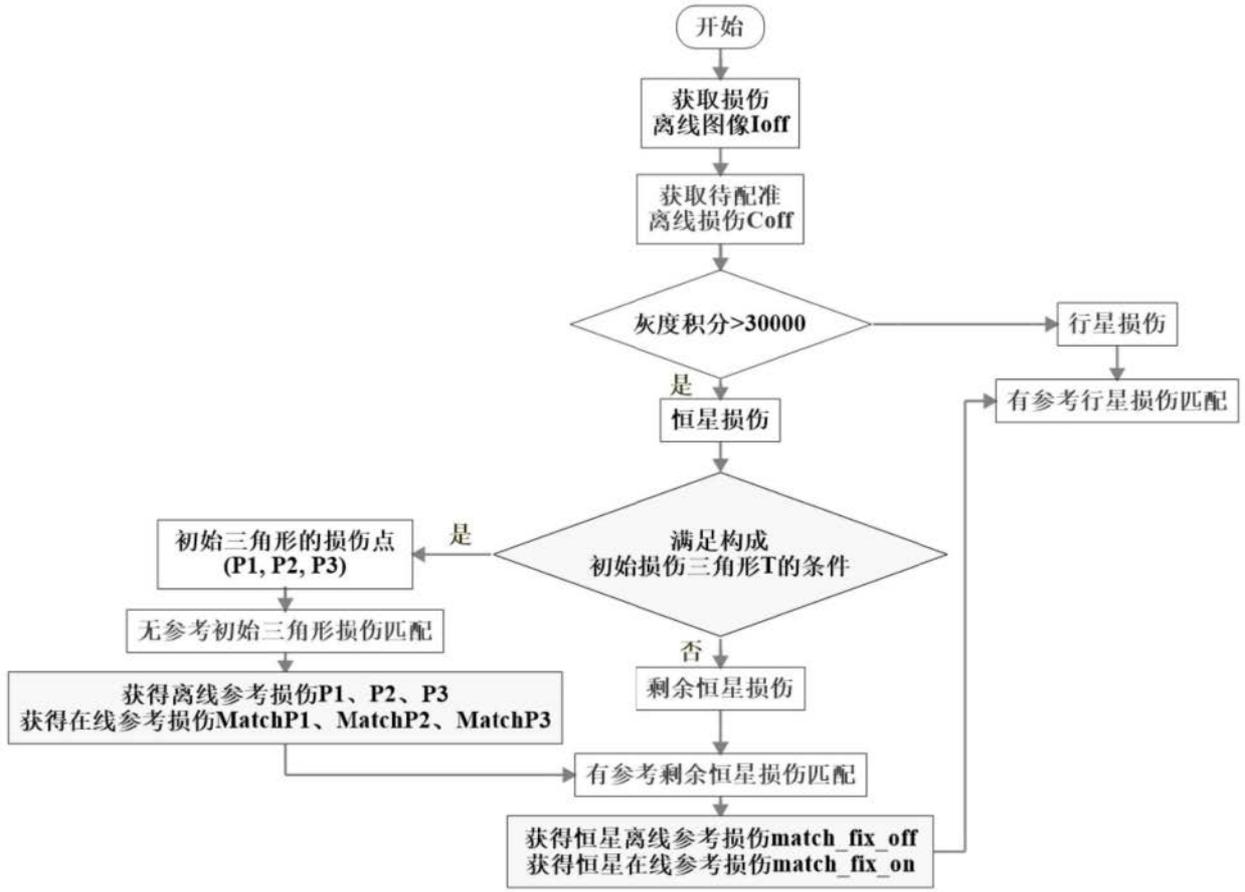


图1

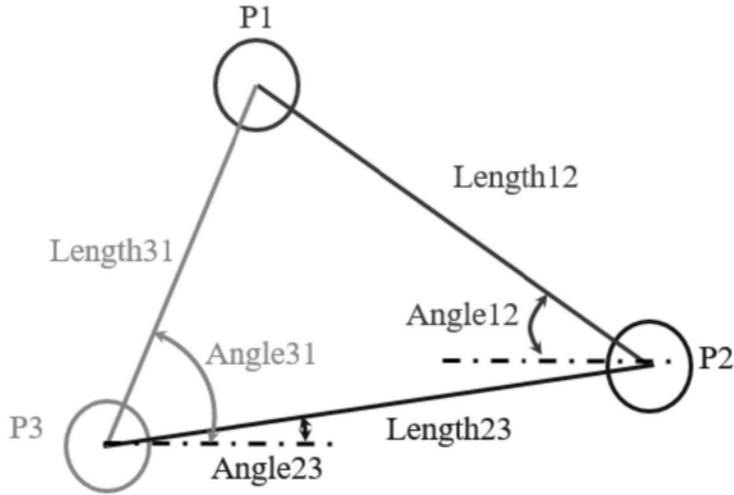


图2

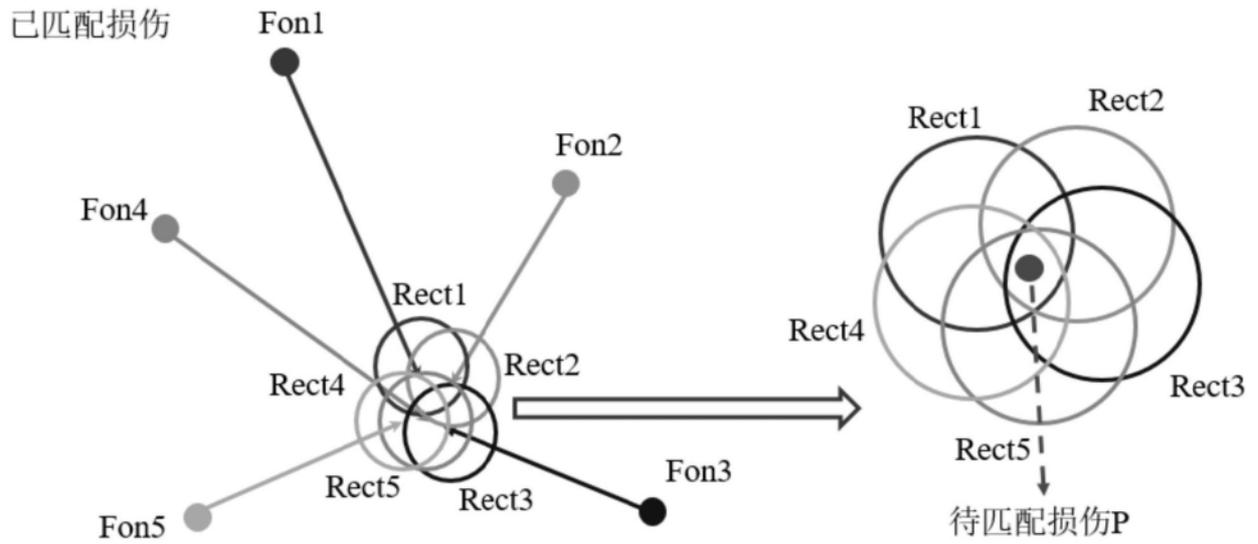


图3

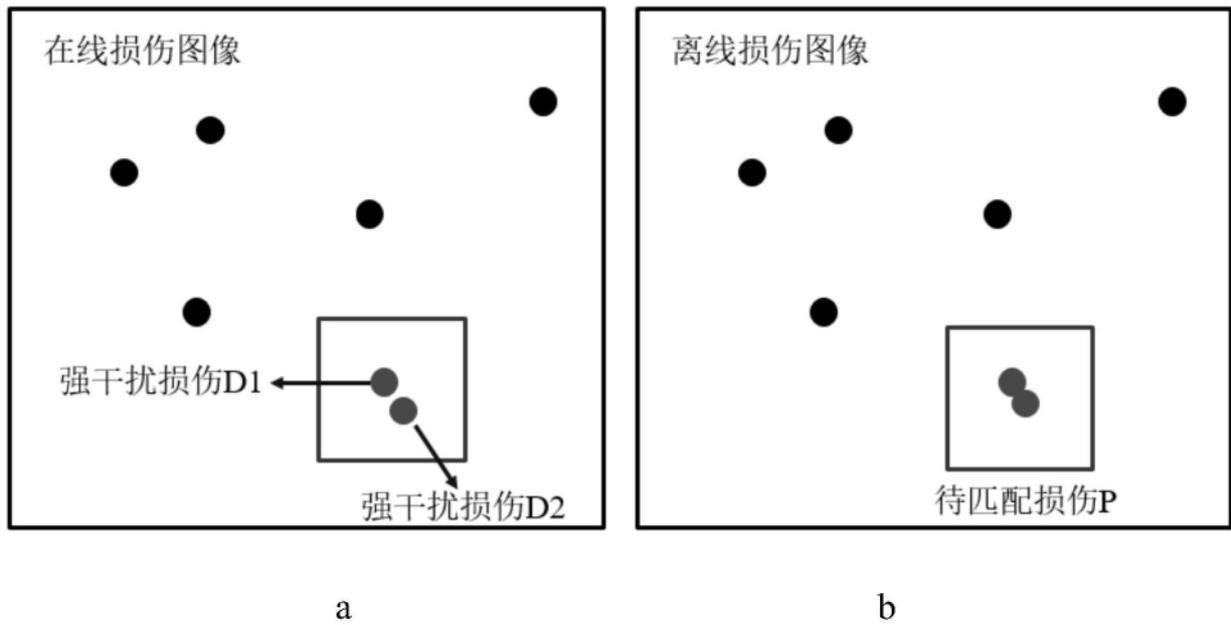


图4

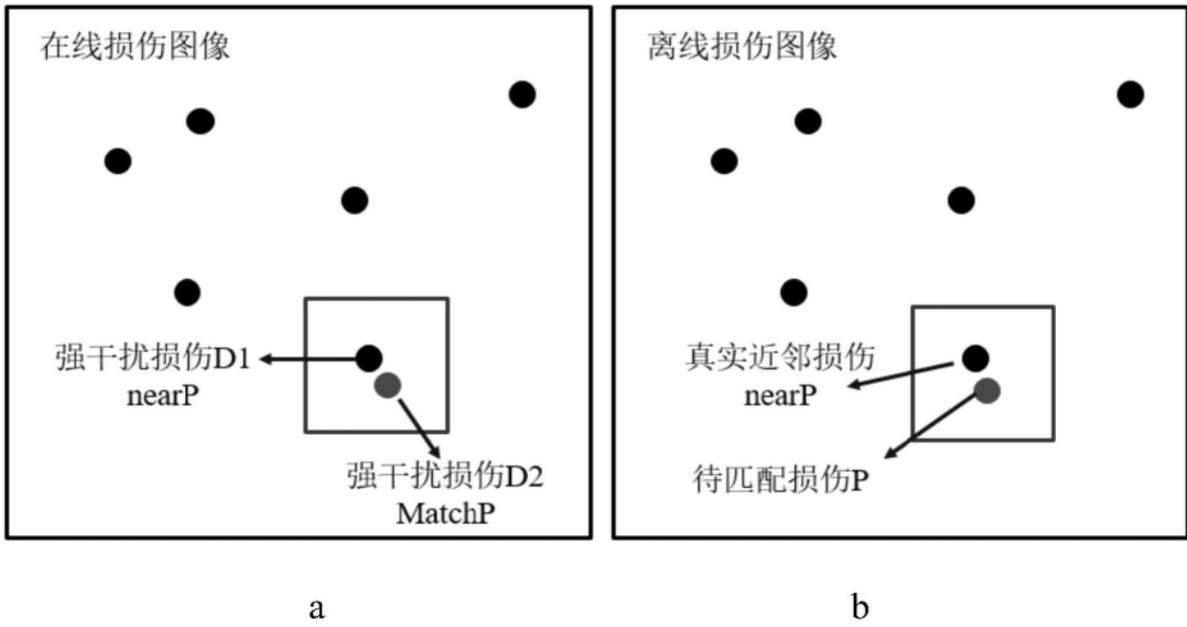


图5

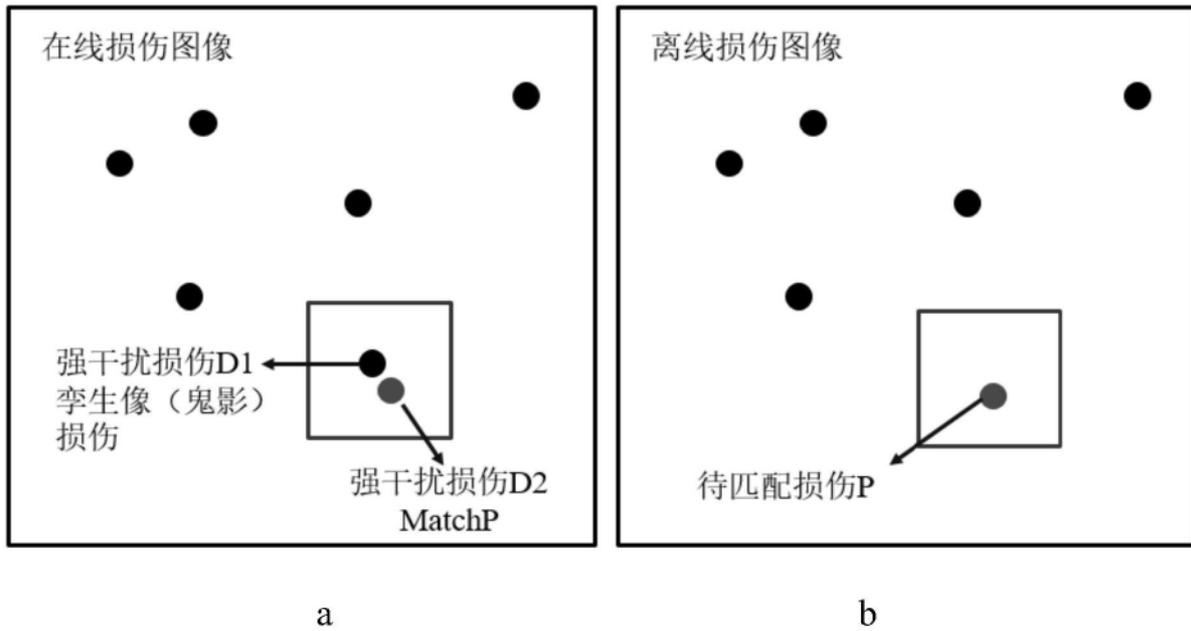


图6

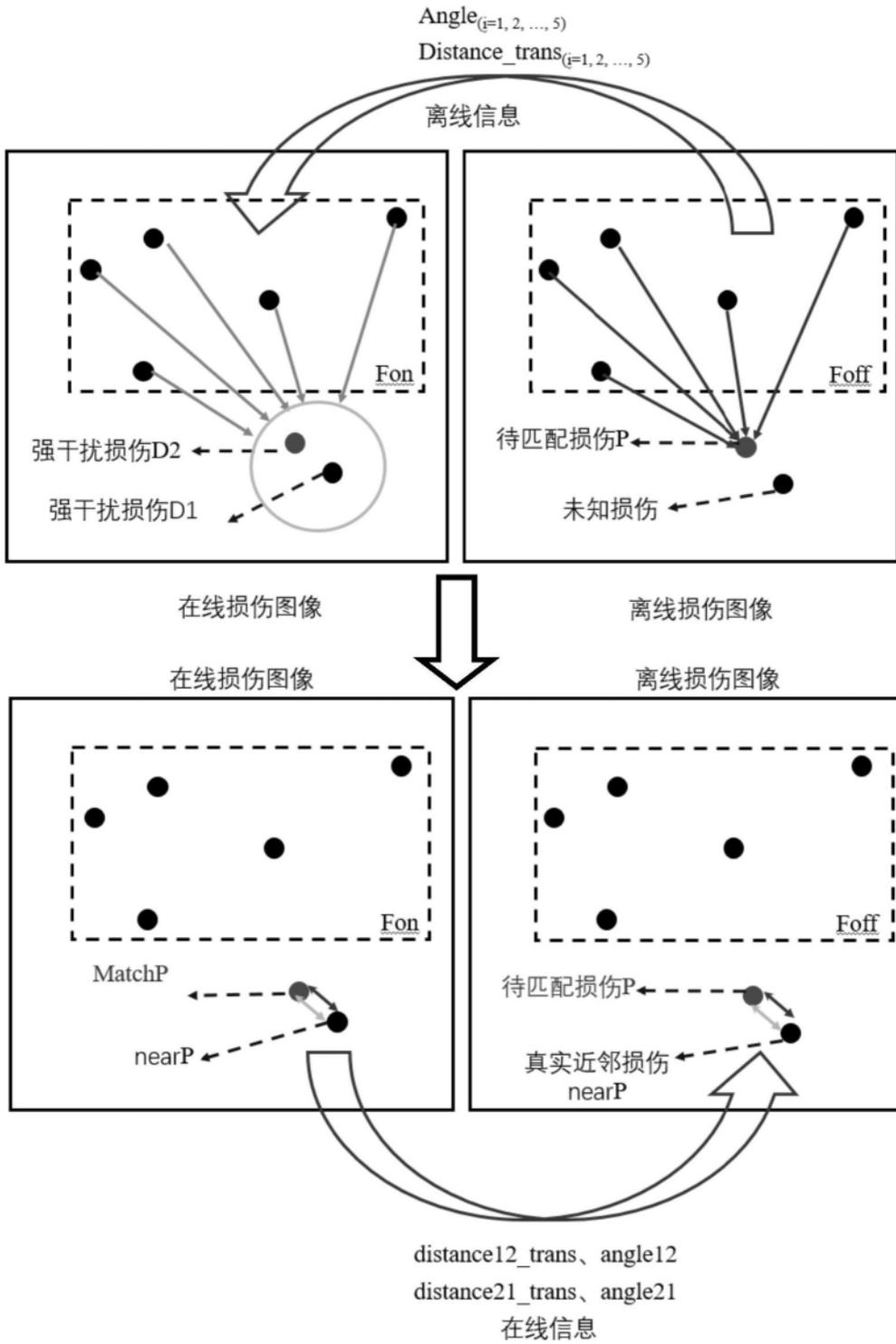


图7