

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 6 月 26 日 (26.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/129443 A1

(51) 国际专利分类号:
G01B 11/25 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/139807

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 19 日 (19.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202311748070.0 2023 年 12 月 18 日 (18.12.2023) CN

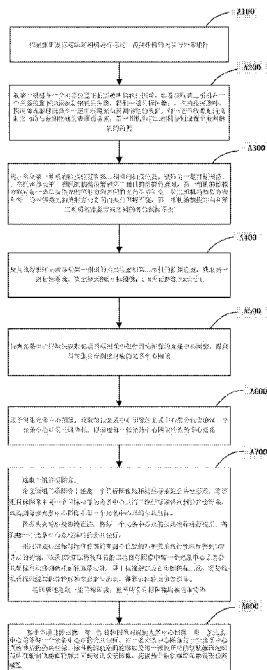
(71) 申请人: 青岛求是工业技术研究院 (QINGDAO QIUSHI INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 浙江大学

(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号 310058 (CN)。

(72) 发明人: 曹衍龙 (CAO, Yanlong); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 沈铃锋 (SHEN, Lingfeng); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 寿焯俊 (SHOU, Yejun); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 郑杰思 (ZHENG, Jiesi); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 黄芳 (HUANG, Fang); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。 王敬 (WANG, Jing); 中国山东省青岛市西海岸新区胶州湾东路 2566 号 266000 (CN)。

(54) Title: RAIL CROSS-SECTION PROFILE MEASUREMENT METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 钢轨断面轮廓测量方法及系统



A100 Calibrate cameras according to a Zhang Zhengyou's calibration method to obtain internal parameter matrices and external parameter matrices of the cameras

A200 Acquire an image of a rail to be measured captured by a first camera at a capturing position, and acquire an image of said rail captured by a second camera at a capturing position to obtain a group of target images; when the images are captured, control a laser to emit at least one single laser line to the surface of said rail, wherein the radiation direction of each single laser line is perpendicular to the surface of said rail, and the first camera and the second camera are respectively arranged on two sides of said rail

A300 Synchronously move the capturing position of the first camera and the capturing position of the second camera, and acquire another group of target images; wherein when synchronously moving the capturing position of the first camera and the capturing position of the second camera, the included angle between the capturing direction of the first camera and the radiation direction of each single laser line is kept unchanged; the included angle between the capturing direction of the second camera and the radiation direction of each single laser line is kept unchanged, and the included angle between the capturing direction of the first camera and the capturing direction of the second camera is kept unchanged

A400 Repeatedly execute the step of synchronously moving the capturing position of the first camera and the capturing position of the second camera, and acquire another group of target images until N groups of target images are obtained; wherein N is a positive integer and is greater than 1

A500 According to a light stripe center extraction method, acquire a light stripe center image of each target image in each group of target images to obtain the light stripe center image of each target image

A600 On the basis of each light stripe center image, acquire three-dimensional coordinates of each light stripe center point comprised in a light stripe center portion of each light stripe center image, to form a light stripe center point set of each light stripe center image

A700 Select one group of target images, define a camera coordinate system of any target image in the group of target images as a common coordinate system, and transform a three-dimensional coordinate system of a light stripe center point of another target image in the group of target images to the common coordinate system to obtain common coordinates of each light stripe center point in each light stripe center image; according to a distortion profile projection correction method, correct the common coordinates of each light stripe center point to obtain calibrated common coordinates of each light stripe center point; use a matching relationship between two-center coordinates and a two-center position of a standard profile for rough matching to obtain an initial value of an ICP algorithm; precisely register the calibrated common coordinates of each light stripe center point in the group of target images with a standard rail end face profile according to the ICP algorithm; set shadow marking lines on the basis of standard regulations, and locate an intersection of an extracted and fitted marking line and a measured profile as a measurement point, to obtain a rail profile measurement result; and return to the selected group of target images until all the target images are selected

A800 On the basis of the multiple groups of target images, the light stripe center image corresponding to each target image, the common coordinates of each light stripe center point in each light stripe center image, the calibrated common coordinates of each light stripe center point in each light stripe center image, the standard rail end face profile, and a comparison error image between each corrected rail end face profile and the standard rail end face profile, construct a rail end face profile-based error detection model

图 1

(57) Abstract: The present application relates to a rail cross-section profile measurement method and system. Target images are collected from multiple angles, the collected target images are reconstructed into a rail profile from the current camera perspective by means of an algorithm, the obtained rail profile from the current camera perspective is corrected into the current rail cross-section profile, the current rail cross-section profile is finally compared with a standard rail cross-section profile, and an error result between the profiles is displayed; an ROI automatic extraction algorithm based on light plane calibration parameters is designed to increase the

(74) 代理人: 杭州橙知果专利代理事务所(特殊普通合伙)等 (ORANGE PATENT LAW FIRM HANGZHOU et al.); 中国浙江省杭州市滨江区长河街道江淑路736号8楼810室 310000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

speed of light stripe center extraction by three times, and additionally, a center locating-based spline interpolation method is proposed to eliminate bending distortion in intersection regions, thereby achieving rapid and accurate light stripe center extraction; and a cross laser stripe center extraction algorithm based on an RANSAC algorithm is used for removing background interference and classifying light stripes, thereby achieving efficient transformation from coordinates of light stripe feature points of a rail laser image to spatial three-dimensional coordinates.

(57) 摘要: 本申请涉及一种钢轨断面轮廓测量方法及系统, 通过多角度采集目标图像, 之后通过算法将采集的目标图像重建为当前相机视角的钢轨轮廓, 接着将得到的当前相机视角的钢轨轮廓校正成当前钢轨断面的轮廓, 最后通过当前钢轨断面的轮廓与标准的钢轨断面轮廓进行比对, 并显示轮廓之间的误差结果; 分别设计了基于光平面标定参数的ROI自动提取算法, 将光条中心提取速度提高至3倍, 同时提出中心定位样条插值法去除交叉区域弯折扭曲问题, 实现光条中心快速准确提取; 基于RANSAC算法的十字激光光条中心提取算法以去除背景干扰并进行光条归类, 实现了钢轨激光图像的光条特征点坐标到空间三维坐标的高效变换。

说明书

发明名称: 钢轨断面轮廓测量方法及系统

技术领域

[0001] 本申请涉及钢轨轮廓检测技术领域，特别是涉及一种钢轨断面轮廓测量方法及系统。

背景技术

[0002] 随着我国铁路不断发展，铁路安全以及铁路智能化制造受到越来越大的重视。钢轨的轮廓几何尺寸不达标将导致轮轨接触表面磨损加剧、滚动接触疲劳破坏、机车运行振动大等一系列安全问题。

[0003] 目前，我国大部分钢轨生产部门使用的钢轨轮廓尺寸检测方式是由工人使用机械卡尺或量规进行接触式测量。在测量时，需要交替启停钢轨传送装置，使生产线上钢轨待测段固定在测量工位上，由工人将机械量尺贴靠在钢轨上，再使用对应尺寸的塞规进行接触式测量。在测量过程中，工人贴靠量尺的力度不同以及塞规测量点选取的随机性，将导致测量结果存在差异，测量结果的一致性较差。此外，测量过程劳动重复度高，劳动强度大，长时间的测量不但需要消耗大量人力，而且接触测量方式增大了造成钢轨表面缺陷的风险。

[0004] 发明内容

[0005] 基于此，有必要针对传统测量过程劳动重复度高，劳动强度大，长时间的测量不但需要消耗大量人力，而且接触测量方式增大了造成钢轨表面缺陷的风险的问题，提供一种钢轨断面轮廓测量方法及系统。

[0006] 本申请提供一种钢轨断面轮廓测量方法，包括：

[0007] 依据张正友标定法对相机进行标定，得到相机的内参与外参矩阵；

[0008] 获取第一相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，以及获取第二相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，得到一组目标图像；在拍摄图像时，控制激光器射出至少一道单线激光至被测钢轨的表面，每一道单线激光的照射方向均与被测钢轨的表面的垂直，第一相机和第二相机分别设置于被测钢轨的两侧；

- [0009] 同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像；在同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置时，第一相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第二相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第一相机的拍摄方向和第二相机的拍摄方向之间的夹角保持不变；
- [0010] 反复执行所述同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像，直至得到N组目标图像；N为正整数且N大于1；
- [0011] 依据光条中心提取法获取每组目标图像中每张目标图像的光条中心图像，得到与每张目标图像对应的光条中心图像；
- [0012] 基于每张光条中心图像，获取每张光条中心图像的光条中心部分包含的每一个光条中心点的三维坐标，以形成每一张光条中心图像的光条中心点集；
- [0013] 选取一组目标图像；
- [0014] 定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系，将该组目标图像中另一个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标；
- [0015] 依据失真轮廓投影校正法，将每一个光条中心点的公共坐标进行校准，得到每一个光条中心点校准后的公共坐标；
- [0016] 采用双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配得到ICP算法的初值，依据ICP算法将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与标准钢轨端面轮廓精配准，基于标准规定设置形影的标示线，将提取拟合标示线与测量轮廓的交点定位测点，得到钢轨轮廓测量结果；
- [0017] 返回所述选取一组目标图像，直至所有目标图像均被选取完毕；
- [0018] 基于多组目标图像、每一张目标图像对应的光条中心图像、每一张光条中心图像每一个光条中心点的公共坐标、每一张光条中心图像每一个光条中心点校准后的公共坐标、标准的钢轨端面轮廓以及每一张校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓之间的对比误差图像，构建基于钢轨端面轮廓误差检测模型。
- [0019] 另一方面，本申请还提供一种钢轨断面轮廓测量系统，所述的钢轨断面轮廓测量系统包括：

- [0020] 采集设备，用于采集被测钢轨在不同拍摄角度下的图像；所述采集装置包括光源发射装置和图像采集装置；
- [0021] 处理设备，与采集装置通信连接，所述处理设备用于执行如前述内容所提及的钢轨断面轮廓测量方法。
- [0022] 本申请涉及一种钢轨断面轮廓测量方法，通过多角度采集目标图像，之后通过算法将采集的目标图像重建为当前相机视角的钢轨轮廓，接着将得到的当前相机视角的钢轨轮廓校正成当前钢轨断面的轮廓，最后通过当前钢轨断面的轮廓与标准的钢轨断面轮廓进行比对，并显示轮廓之间的误差结果；分别设计了基于光平面标定参数的ROI自动提取算法，将光条中心提取速度提高至3倍，同时提出中心定位样条插值法去除交叉区域弯折扭曲问题，实现光条中心快速准确提取；基于RANSAC算法的十字激光光条中心提取算法以去除背景干扰并进行光条归类，实现了钢轨激光图像的光条特征点坐标到空间三维坐标的高效变换。

附图说明

- [0023] 图1为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的流程图。
- [0024] 图2为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中十字线激光器组件布置示意图。
- [0025] 图3为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中基于棋盘格的标定方法的示意图。
- [0026] 图4为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中黑白棋盘格图像中光条中心提取变形示意图。
- [0027] 图5为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中定制棋盘格标定板及含激光条纹的棋盘格图。
- [0028] 图6为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像中三个光平面交叉区域定位结果图。
- [0029] 图7为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中ROI1左右边界与上边界确定结果示意图。

- [0030] 图8为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中ROI1左右边界与下边界确定结果示意图。
- [0031] 图9为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中ROI2确定结果示意图。
- [0032] 图10为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中ROI的提取结果图。
- [0033] 图11为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中交叉点精定位结果图。
- [0034] 图12为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中轨头左右轮廓筛选与区分结果图。
- [0035] 图13为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中光条中心的筛除噪点与样条插值示意图。
- [0036] 图14为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法的目标图像中光条中心的修正前后对比图。
- [0037] 图15为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像光条中心提取结果图。
- [0038] 图16为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中十字激光标定图像原始光条中心提取结果图。
- [0039] 图17为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中十字激光标定图像依据RANSAC算法拟合直线图。
- [0040] 图18为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中RANSAC算法提取直线图。
- [0041] 图19为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中十字标定激光图像光条中心提取结果对比图。
- [0042] 图20为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中左右十字结构光的光平面拟合结果图。
- [0043] 图21为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像双目标定坐标转换结果图。

- [0044] 图22为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像公共向量校正后的坐标转换结果图。
- [0045] 图23为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中钢轨轮廓特征点标示图。
- [0046] 图24为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像特征点示意图。
- [0047] 图25为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中钢轨纵向向量标定示意图。
- [0048] 图26为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中道格拉斯-普克演算法示意图。
- [0049] 图27为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中道格拉斯-普克算法提取特征点结果图。
- [0050] 图28为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中目标图像提取特征点投影结果示意图。
- [0051] 图29为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中钢轨纵向向量计算结果示意图。
- [0052] 图30为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中辅助平面投影校正失真轮廓示意图。
- [0053] 图31为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中钢轨测量失真轮廓校正结果图。
- [0054] 图32为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中轨头侧面直线段粗配准结果图。
- [0055] 图33为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中大小圆弧端点定位结果图。
- [0056] 图34为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中小圆拟合圆心求取结果图。
- [0057] 图35为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中双圆心坐标拟合配准结果图。

[0058] 图36为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓之间的对比误差图。

[0059] 图37为本申请一实施例提供的钢轨断面轮廓测量方法中测点标示结果图。

具体实施方式

[0060] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

[0061] 如图1所示，在本申请的一实施例中，所述钢轨断面轮廓测量方法包括：S100至S800：

[0062] S100，依据张正友标定法对相机进行标定，得到相机的内参与外参矩阵。

[0063] 在本实施例中，通过安装固定线激光器和相机间的相对位置，调整棋盘格标定板位姿，使得光平面与棋盘格标定板相交形成光条纹直线，并让棋盘格与光条交线出现在相机视场范围内，分别拍摄同一位姿下的含激光条纹的棋盘格图像以及无激光条纹棋盘格图像的一组图像对。之后保持相机与线激光器固定，更换棋盘格标定板位姿，重复以上操作获取多组图像对。对于无激光条纹的棋盘格图像，其作用是作为相机标定的图像组标定获取相机内参 K 以及相对于以当前棋盘格标定板位姿定义的世界坐标系的外参矩阵 $[R \ t]$ 。含激光条纹的棋盘格图像主要用于提取光条中心点的像素坐标 (u,v) ，然后通过外参矩阵计算得到光条中心点在世界坐标系下的对应三维坐标，再通过相机成像模型将标定板上的光条中心点变换到相机坐标系。

[0064] S200，获取第一相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，以及获取第二相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，得到一组目标图像。在拍摄图像时，控制激光器射出至少一道单线激光至被测钢轨的表面，每一道单线激光的照射方向均与被测钢轨的表面的垂直，第一相机和第二相机分别设置于被测钢轨的两侧。

[0065] 在本实施例中，使用一个十字激光器搭配两个两侧布置的单线激光器方案。如图2所示，十字激光器安装在钢轨轨头正上方，使用十字激光器的优点主要有两个：一是十字激光在轨头处补充了光条纹数量，可利用多线结构光提取到轨颚

等特征点，结合钢轨轮廓存在的几何关系对安装偏移或方向偏移的测量轮廓进行失真校正。二是轨头区域是两侧工业相机的公共视场范围内，在后续的轮廓拼接与配准算法中可补充双侧相机坐标系下的公共点云作为配准依据，可进一步提高双目配准精度。

[0066] S300，同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像。在同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置时，第一相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第二相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第一相机的拍摄方向和第二相机的拍摄方向之间的夹角保持不变。

[0067] 在本实施例中，第一相机与第二相机设置在钢轨长度延伸方向的两侧，且第一相机与第二相机分别与钢轨成固定的角度，第一相机与第二相机均可以拍摄到钢轨头部与钢轨腰部的图像，第一相机与第二相机与每一个单线激光之间的相对位置固定。

[0068] S400，反复执行所述同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像，直至得到N组目标图像。N为正整数且N大于1。

[0069] 在本实施例中，通过反复执行同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，得到多组的钢轨不同位置含有棋牌格和激光条纹的图像。

[0070] S500，依据光条中心提取法获取每组目标图像中每张目标图像的光条中心图像，得到与每张目标图像对应的光条中心图像。

[0071] 在本实施例中，通过光条中心提取法对每张目标图像进行提取，获得每张图像对应的光条中心图像，并将目标图像与该目标图像的光条中心图像相对应的存储。

[0072] S600，基于每张光条中心图像，获取每张光条中心图像的光条中心部分包含的每一个光条中心点的三维坐标，以形成每一张光条中心图像的光条中心点集。

[0073] 在本实施例中，基于已经进行过标定的相机获取的目标图像，对每张目标图像对应的光条中心图像进行三维坐标的转换，再利用标定相机的内参与外参矩阵，将光条中心图像的三维坐标转换到相机坐标系下的坐标。

[0074] S700，选取一组目标图像。

- [0075] 定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系，将该组目标图像中另一个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标。
- [0076] 依据失真轮廓投影校正法，将每一个光条中心点的公共坐标进行校正，得到每一个光条中心点校准后的公共坐标。
- [0077] 采用双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配得到ICP算法的初值，依据ICP算法将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与标准钢轨端面轮廓精配准，基于标准规定设置形影的标示线，将提取拟合标示线与测量轮廓的交点定位测点，得到钢轨轮廓测量结果。
- [0078] 返回所述选取一组目标图像，直至所有目标图像均被选取完毕。
- [0079] 在本实施例中，将一组目标图像中的一个相机坐标系为公共坐标系，将另一张图像的光条中心的三维坐标转换到该公共坐标中，并通过失真轮廓投影校正法将得到的处于一个公共坐标系的光条中心的三维坐标进行校正，接着利用ICP算法将校正后得到的校正后的光条中心的三维坐标与标准的钢轨断面轮廓进行配准，得到配准后的测量钢轨断面轮廓与标准的钢轨断面轮廓。并计算测量钢轨断面轮廓与标准的钢轨断面轮廓之间的误差。
- [0080] S800，基于多组目标图像、每一张目标图像对应的光条中心图像、每一张光条中心图像每一个光条中心点的公共坐标、每一张光条中心图像每一个光条中心点校准后的公共坐标、标准的钢轨端面轮廓以及每一张校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓之间的对比误差图像，构建基于钢轨端面轮廓误差检测模型。
- [0081] 具体的，将多组目标图像、每张图像的光条中心图像、每张图像光条中心点的三维坐标参数、一组图像光条中心点的三维坐标参数融合后的三维坐标参数、校准后的一组图像光条中心点的三维坐标参数融合后的三维坐标参数、标准的钢轨端面轮廓以及校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓对比误差图像作为训练数据对基于钢轨端面轮廓误差检测模型进行训练，得到训练后的基于钢轨端面轮廓误差检测模型。

[0082] 在本实施例中，将多组目标图像、每张图像的光条中心图像、每张图像光条中心点的三维坐标参数、一组图像光条中心点的三维坐标参数融合后的三维坐标参数、校准后的一组图像光条中心点的三维坐标参数融合后的三维坐标参数、标准的钢轨端面轮廓以及校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓对比误差图像作为用于训练的数据对构建的基于钢轨端面轮廓误差检测模型进行训练，以使得基于钢轨端面轮廓误差检测模型具有将检测钢轨断面轮廓与标准钢轨断面轮廓误差比较的功能。

[0083] 如图2所示，在本申请的一实施例中，所述控制激光器射出至少一道单线激光至被测钢轨的表面，包括如下S201至S204：

[0084] S201，控制设置在钢轨上方的第一激光器射出两道单线激光至被测钢轨的轨头，两道单线激光各自形成的光平面相互垂直。

[0085] S202，控制设置在钢轨一侧的第二激光器射出一道单线激光至被测钢轨。

[0086] S203，控制设置在钢轨另一侧的第三激光器射出一道单线激光至被测钢轨。

[0087] S204，所述第二激光器射出的单线激光所形成的光平面和所述第三激光器射出的单线激光所形成的光平面为共平面。

[0088] 在本实施例中，光源模块可以由两个线激光发射器(激光发射器后文简称为激光器)和一个十字激光器组成，同样由于遮挡的缘故，单线激光器需配合两侧的工业相机进行布置，且两个线激光器发射光平面应尽可能安装重合，保证两侧激光平面与钢轨表面相交光条纹曲线共面，才能真实地反映钢轨同一断面的轮廓数据。

[0089] 为了解决廓形失真问题，尽可能地减少钢轨测段方向偏移引入的测量误差，本文提出了使用一个十字激光器搭配两个两侧布置的单线激光器的方案。如图2所示，十字激光器安装在被测钢轨的轨头的正上方。

[0090] 使用十字激光器的优点主要有两个：

[0091] (一)十字激光器在轨头处补充了光条纹数量，可利用多线结构光提取到轨颞等特征点，结合钢轨轮廓存在的几何关系对安装偏移或方向偏移的测量轮廓进行失真校正。

- [0092] (二)是轨头区域是两侧工业相机的公共视场范围内，在后续的S700中可补充双侧相机坐标系下的公共点云作为配准依据，可进一步提高双目配准精度。
- [0093] 如图3到图5所示，在本申请的一实施例中，在所述依据张正友标定法对相机进行标定之后，所述方法还包括，对光平面进行标定，所述对光平面进行标定包括如下S101至S111：
- [0094] S101，固定设置标定用激光器和相机之间的相对位置。
- [0095] S102，调整棋盘格标定板的位姿，使得标定用激光器射出的单线激光所形成的光平面与棋盘格标定板相交形成光条纹直线，且同时控制光条纹直线和棋盘格标定板出现在相机的拍摄范围内。
- [0096] S103，保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像，作为一个棋盘格图像对。
- [0097] S104，更换棋盘格标定板的位姿，返回所述保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像，作为一个棋盘格图像对，直至得到M个棋盘格图像对。M为正整数且大于1。
- [0098] S105，获取M个棋盘格图像对。每一个棋盘格图像对包括一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像。
- [0099] S106，提取每一个棋盘格图像对中无激光条纹的棋盘格图像。
- [0100] S107，依据张正友标定法，从无激光条纹的棋盘格图像中得到相机内参矩阵、以及相对棋盘格外参矩阵。
- [0101] S108，依据光条中心提取法，提取每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点的像素坐标。
- [0102] S109，依据相对棋盘格外参矩阵，计算每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在世界坐标系下的三维坐标。
- [0103] S110，依据每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点的像素坐标、一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在世界坐标系下的三维坐标，得到每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在相机坐标系下的三维坐标。

[0104] S111, 对得到的所有棋盘格图像对中包含有激光条纹图像的光条中心点在相机坐标系下进行拟合得到光平面标定方程。

[0105] 在本实施例中, 基于棋盘格的标定方法的示意图如图3所示。对于无激光条纹的棋盘格图像, 其作用是作为相机标定的图像组标定获取相机内参K以及相对于以当前棋盘格标定板位姿定义的世界坐标系的外参矩阵[R t]。含激光条纹的棋盘格图像主要用于提取光条中心点的像素坐标(u,v)。然后通过外参矩阵计算得到光条中心点在世界坐标系下的对应三维坐标, 再通过相机成像模型将标定板上的光条中心点变换到相机坐标系, 对变换后的多组光条中心点进行平面拟合即可求解得到相机坐标系下的光平面方程。完整光平面标定流程如图4所示。

[0106] 详细的来说, 以棋盘格标定板平面作为世界坐标系的O-X_wY_z平面, 建立世界坐标系O-X_wY_wZ_w, 设棋盘格标定板上的光条中心点像素坐标为(u,v), 给定相机内参矩阵K以及世界坐标系转换到相机坐标系的外参矩阵[R t], 求取光条中心点在相机坐标系下的对应坐标(x_c,y_c,z_c)。以下给出计算过程的推导:

[0107] 根据相机成像模型可知像素坐标与世界坐标系之间的变换关系为:

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = K [R \ t] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{公式 1}$$

[0108] 记此时相机标定得到的旋转矩阵R和平移向量t为:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}, t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

[0109] 带入公式1可得:

$$z_c = R_{31}x_w + R_{32}y_w + R_{33}z_w + t_3 \quad \text{公式2}$$

[0110] 公式1左右两边同时左乘R⁻¹K⁻¹可得:

$$R^{-1}K^{-1}z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + R^{-1}t \quad \text{公式 3}$$

[0111] 令 $M=R^{-1}K^{-1}$ ，由于 z_c 为标量，可移到前面，上式可改写为：

$$[0112] \quad z_c M \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = z_c \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + R^{-1}t \quad \text{由于光条特征点都位}$$

于棋盘格标定板的 $O-X_wZ_w$ 平面内，则对于所有的光条特征点都有 $z_w=0$ ，代入公式2和公式3，联立两式可得：

$$(R_{31}x_w + R_{32}y_w + t_3) \begin{bmatrix} M_{11}u + M_{12}v + M_{13} \\ M_{21}u + M_{22}v + M_{23} \\ M_{31}u + M_{32}v + M_{33} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 0 \end{bmatrix} = R^{-1}t$$

[0113] 由于旋转矩阵 R 的正交特性，存在 $R^{-1}=R^T$ ，则上式可改写成

$$(R_{31}x_w + R_{32}y_w + t_3) \begin{bmatrix} M_{11}u + M_{12}v + M_{13} \\ M_{21}u + M_{22}v + M_{23} \\ M_{31}u + M_{32}v + M_{33} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{21} & R_{31} \\ R_{12} & R_{22} & R_{32} \\ R_{13} & R_{23} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \quad \text{公式 4}$$

[0114] 取公式3。前两项，并记 $m_1=M_{11}u+M_{12}v+M_{13}$ ， $m_2=M_{21}u+M_{22}v+M_{23}$ 可得

$$\begin{bmatrix} m_1R_{31} - 1 & m_1R_{31} \\ m_2R_{31} & m_2R_{31} - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11}t_1 + R_{21}t_2 + R_{31}t_3 - m_1t_3 \\ R_{12}t_1 + R_{22}t_2 + R_{32}t_3 - m_2t_3 \end{bmatrix}$$

[0115] 最终求解得到：

$$\begin{cases} x_w = \frac{m_1R_{32}(R_{12}t_1 + R_{22}t_2 + R_{32}t_3 - m_2t_3) - (m_2R_{32} - 1)(R_{11}t_1 + R_{21}t_2 + R_{31}t_3 - m_1t_3)}{m_1R_{32} + m_2R_{31} - 1} \\ y_w = \frac{m_2R_{31}(R_{11}t_1 + R_{21}t_2 + R_{31}t_3 - m_1t_3) - (m_1R_{31} - 1)(R_{12}t_1 + R_{22}t_2 + R_{32}t_3 - m_2t_3)}{m_1R_{32} + m_2R_{31} - 1} \end{cases}$$

- [0116] 完成光条特征点从像素坐标系到世界坐标系的坐标映射后，后续通过公式1进行坐标系转换即可获得光条中心点在相机坐标系下的坐标。
- [0117] 当拍摄无激光条纹的棋盘格图像时，为保证能精确提取到棋盘格角点，相机曝光时间应设置较长。当拍摄含激光条纹的棋盘格图像时，应固定棋盘格标定板位姿，减少相机曝光时间，使棋盘格区域整体变暗，增大光条纹与其他非光条区域的对比度，以便更好地进行光条中心提取。
- [0118] 此外，如图5所示，由于棋盘格区域黑白格对于光条的反射效果不同，当光条落入棋盘格区域时，光条的灰度分布会因背景颜色不同而发生变化，从而使得直线光条的中心提取结果发生变形。
- [0119] 为了解决黑白棋盘格背景对光条中心提取的干扰问题，设计了如图6所示的棋盘格标定板，扩大了标定板周边的空白区域，标定时让光平面与标定板外围的空白区域相交，使光条落在标定板的空白区域内，保持直线光条的灰度分布，避免光条中心提取结果发生扭曲变形。
- [0120] 如图6至图16所示，在本申请的一实施例中，所述依据光条中心提取法获取每组目标图像中每张目标图像的光条中心图像，得到与每张目标图像对应的光条中心图像包括如下S501至S509：
- [0121] S501，选取一张目标图像。
- [0122] S502，依据ROI算法提取该目标图像的精准光条区域图像。
- [0123] S503，基于该目标图像的精准光条区域图像，利用Hessian算法得到该目标图像的所有光条中心点在像素坐标系下的像素坐标。基于标定参数投影第一激光器射出两道单线激光形成的光平面的交线，得到第一光平面投影线，以及基于标定参数投影第二激光器射出的单线激光形成的光平面与第一激光器射出一道单线激光形成的光平面的交线，得到第二光平面投影线。
- [0124] S504，提取所有光条中心点、第一光平面投影线和第二光平面投影线之间的交点，作为光条交叉点。所述光条交叉点的数量为2。
- [0125] S505，基于两个光条交叉点的像素坐标，得到一条过两个光条交叉点直线的直线方程和该直线的中点的像素坐标。

[0126] S506, 计算每一个光条中心点与过两个光条交叉点的直线之间的直线距离, 将直线距离小于直线距离阈值的光条中心点删除, 得到去噪后的光条中心点。

[0127] S507, 计算每相邻两个去噪后的光条中心点的直线距离, 作为相邻直线距离, 将相邻直线距离大于相邻直线距离阈值的噪后的光条中心删除, 以去除噪音段。

[0128] S508, 依据Spline样条插值补全法将噪音段补全, 得到补全后的光条中心点的像素坐标点集并将补全后的光条中心点的坐标点集和该目标图像相对应地存储。

[0129] S509, 返回所述选取一张目标图像, 直至所有目标图像均被选取一次。

[0130] 在本实施例中, 首先对输入目标图像进行目标图像预处理, 使用OTSU法(大津法)自适应确定阈值并对目标图像进行二值化, 从而分离光条像素点和背景。之后根据标定的相机内参矩阵及两个光平面参数矩阵可以确定一条经过轨头光条交叉点的直线, 从而辅助交叉区域定位。以下是确定直线方程的推导过程:

[0131] 令 $x_n = \frac{x_c}{x_n}$, $x_n = \frac{x_c}{x_n}$ 根据 $A \frac{x_c}{z_c} + B \frac{y_c}{z_c} + C + \frac{D}{z_c} = 0$ 可得: 公式 5,

$$z_c = -\frac{D}{Ax_n + By_n + C}$$

[0132] 记在同一相机坐标系下, 空间相交的两个光平面的光平面参数矩阵分别为, $L_1 = [A_1 \ B_1 \ C_1 \ D_1]$, $L_2 = [A_2 \ B_2 \ C_2 \ D_2]$ 图像中两光条纹的交点转换到目标图像坐标系中是同一点, 即满足以下等式:

$$z_c = -\frac{D_1}{A_1 x_n + B_1 y_n + C_1} = -\frac{D_2}{A_2 x_n + B_2 y_n + C_2}$$

[0133] 上式可改写成 $y_n = \frac{A_2 D_1 - A_1 D_2}{B_1 D_2 - B_2 D_1} \times x_n + \frac{C_2 D_1 - C_1 D_2}{B_1 D_2 - B_2 D_1} = k_1 x_n + b_1$ 公式 6

[0134] 根据式 $\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{bmatrix} = K^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$ 可得:

$$\begin{cases} u - u_0 = \frac{f}{dx} x_n \\ v - v_0 = \frac{f}{dy} x_n \end{cases}$$

[0135] 上式可进一步改写成：

$$\frac{u - u_0}{v - v_0} = \frac{dy}{dx} \times \frac{x_n}{y_n} \quad \text{公式 7}$$

$$v = \left(k_1 \times \frac{dx}{dy} \right) u + \left[v_0 + (b_1 - k_1 u_0) \times \frac{dx}{dy} \right]$$

[0136] 式中 $k_1 = \frac{A_2 D_1 - A_1 D_2}{B_1 D_2 - B_2 D_1}$, $b_1 = \frac{C_2 D_1 - C_1 D_2}{B_1 D_2 - B_2 D_1}$ 根据该式可知，在像素坐标系中

可确定一条经过交叉点的直线，该直线的物理意义是空间中两相交光平面交线在像素坐标系下的投影。在完成相机内参矩阵及两光平面参数矩阵的标定工作后，该直线参数便可通过上式确定。

[0137] 钢轨目标图像中轨头光条由三个光平面交汇形成两个交叉点，在目标图像中画出根据标定参数计算得到的两条直线，通过计算所有光条像素点与该直线的距离，设置一定的距离阈值，筛选定位得到交叉区域，定位结果如图7所示。

[0138] 左右的交叉区域各自随机选取一点，横向左右向外扩展500个像素点，纵向上下向外扩展200个像素点确定待选的区域范围，确保能框选得到目标图像中轨头的横向光条上的所有像素点，再以横向光条左右边界点以及目标图像中轨头轮廓的上边界点为依据，向外扩展50个像素值作为轨头ROI1的左右边界X00，X01和上边界y00。定位结果如图8所示。

[0139] 从目标图像中的轮廓光条几何形状可知，目标图像的轨头光条与轨腰光条之间出现间隔，可通过定位突变点来确定下边界。首先，从目标图像的轨腰光条上方的交叉区域随机选取一点，向下拓展100和800个像素以及向左右扩展300个像素确定候选框，框选光条点后通过计算相邻点的距离定位处于间隔出的突变

点，两突变点的纵向坐标中值作为ROI1的下边界 y_{01} 和ROI2的上边界 y_{10} 。定位结果如图9所示。

[0140] 此时目标图像中轨腰光条的上边界已经确定，基于突变点位置，向左右拓展200个像素连同上边界及图像最低端确定新的待选区域，将待选区域的左右边界作为ROI2的左右边界 x_{10} , x_{11} 。目标图像中轨腰光条的几何形状基本是连续曲线，如果目标图像中轨腰光条下方在待选区域内存在背景光条的干扰，同样可通过定位突变点以寻找光条最低点，从而确定ROI2的下边界 y_{10} 。定位结果如图10所示。

[0141] 最终ROI的提取结果如图11所示，从图中可知，对于光条分布位置不同及背景各异的钢轨图像，皆可实现区域的自动定位与区分，算法的鲁棒性和可靠性较好。只对ROI区域进行光条中心提取并统计平均耗时，运行时间从311.4ms缩减到90.7ms，运行速度提高至3倍。

[0142] 针对交叉区域弯折扭曲及断线的问题，为了对提取的轨头光条中心点进行区分，本文提出了中心定位样条插值法进行校正。

[0143] 虽然混叠增强的光条增大了光条宽度及法线方向，但局部的光条中心提取结果仍然包含有效信息，提取结果交叉点定位相对准确。根据相机内参矩阵和两光平面参数矩阵可确定经过光条交叉点的直线。基于上述信息，可将直线与原先提取到的光条中心曲线的交点确定为交叉点。定位结果如图12所示。

[0144] 由于目标图像中轨头横向光条基本沿着钢轨纵向分布，反映在目标图像中光条多呈现直线形状。在成功定位到两交叉点坐标之后，可构造一条通过两交点的直线，该直线基本与轨头横向光条保持一致。

[0145] 通过计算所有光条中心点到该直线的距离，将距离小于一定阈值的点作为轨头横向光条中心点和交叉区域弯折点进行筛选。此外，可将两交叉点的横向坐标中心设置为横向分界用于区分目标图像中轨头左右轮廓光条中心点。定位筛选与区分的结果如图13所示。

[0146] 从图13结果来看，由于钢轨表面较为粗糙，激光发生多重漫反射导致光条中心的提取结果存在噪点。因此，针对目标图像中轮廓光条中心点计算其相邻点的距离，将距离偏差较大的点集作为噪点去除。之后以剩余点为参考依据，通过

Spline样条插值补全被筛除的交叉区域缺失段。筛除噪点与样条插值补全的过程如图14所示。

[0147] 将直接进行光条中心提取与使用中心定位样条插值法进行修正的结果进行对比，对比结果如图15所示。由此可见，修正后的消除了交叉区域的弯折扭曲及断线情况的出现，目标图像中提取到的轮廓光条中心曲线更加平滑。

[0148] 在成功提取目标图像中轨头轮廓关键光条测点的同时，能够排除不参与计算的轨头横向光条中心点。此外轮廓光条附近的提取到的一些噪点也会被筛除。从如图16所示的钢轨图像光条中心的提取结果可得，本文提出的光条中心提取算法能较好地处理带背景干扰及多交叉光条的左右视角下的钢轨图像。

[0149] 如图17至图21所示，在本申请的一实施例中，在所述依据张正友标定法对相机进行标定，得到相机的内参与外参矩阵后还包括如下，S100a至S100k：

[0150] S100a，固定设置第一激光器和相机之间的相对位置。

[0151] S100b，调整棋盘格标定板的位姿，使得第一激光器射出的两道单线激光所形成的两个相交的光平面落在棋盘格标定板上，与棋盘格标定板相交形成十字光条，且同时控制十字光条和棋盘格标定板出现在相机的拍摄范围内。

[0152] S100c，保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无十字光条的棋盘格图像与一张包含十字光条的棋盘格图像，作为一个十字光条棋盘格图像对。

[0153] S100d，更换棋盘格标定板的位姿，返回所述保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无十字光条的棋盘格图像与一张包含十字光条的棋盘格图像，作为一个十字光条棋盘格图像对，直至得到K个棋盘格图像对。K为正整数且大于1。

[0154] S100e，选取一张包含十字光条的棋盘格图像。

[0155] S100f，执行Hessian算法提取该包含十字光条的棋盘格图像中所有十字光条中心点在像素坐标系下的像素坐标。

[0156] S100g，利用RANSAC算法筛选与第一最佳匹配直线匹配的十字光条中心点，作为第一类十字光条中心点。

[0157] S100h，利用RANSAC算法筛选除第一十字光条中心点之外剩余的十字光条中心点中与第二最佳匹配直线匹配的十字光条中心点，作为第二类十字光条中心点。

- [0158] S100i, 计算第一最佳匹配直线和第二最佳匹配直线的交点, 去除与交点直线距离大于第一预设距离的第一类十字光条中心点, 以及去除与交点直线距离大于第二预设距离的第二类十字光条中心点。
- [0159] S100j, 返回所述选取一张包含十字光条的棋盘格图像, 直至包含十字光条的棋盘格图像均被选取一次, 得到每一张包含十字光条的棋盘格图像的第一类十字光条中心点和第二类十字光条中心点。
- [0160] S100k, 依据每一张包含十字光条的棋盘格图像的第一类十字光条中心点和第二类十字光条中心点, 对光平面标定方程进行修正。
- [0161] 在本实施例中, 在实际的标定过程中, 由于激光条纹不能保证完全落在棋盘格平面上, 相机视场内捕获得到的激光图像往往存在背景干扰。
- [0162] 对于单线激光标定而言, 由于线结构光测量模组的相机与激光器位置固定, 变换棋盘格的位姿进行图像采集时, 标定板上激光条纹在图像中的位置变化范围较小, 因此可通过只截取固定的像素坐标区域内的光条进行中心提取, 简单高效地排除背景区域的干扰。
- [0163] 对于十字激光标定而言, 如图17所示, 拍摄的十字激光标定图像同样存在背景干扰的问题, 但与单线激光的标定图像不同的是十字激光标定图像还存在交叉区域弯折和对应光条区分问题。
- [0164] 在钢轨光条图像提取中心时交叉点的精定位是建立在光平面参数标定完成的基础上, 在十字激光的标定过程中并不适用。
- [0165] 通过对多组十字激光标定图像进行观察分析, 总结得出以下结论: (1)落在标定板上的十字光条基本呈交叉直线的形状。(2)由于标定时线结构光测量模块位置固定, 标定图像中的光条直线方向基本分布在一定区间范围内。(3)落在标定板上的有效点数量相比干扰点占比更大。
- [0166] 提出了一种基于RANSAC(Random Sample Consensus, 随机采样一致性)算法的十字激光标定图像的光条中心提取算法其基本思想是给定一个待拟合的数学模型, 采用迭代的方式从一组包含离群的观测数据中估算出该数学模型的参数。
- [0167] RANSAC算法属于非确定性算法, 当迭代次数足够多时能产生最大概率满足条件并排除离群点的结果, 因此适用于提取标定板上的光条纹中心点同时去除背

景干扰离群点的影响。对于十字激光在棋盘格标定板上的光条纹而言，其对应的数学模型为直线方程，对此使用RANSAC算法进行直线提取的流程示意图如图18所示。

[0168] 其算法步骤如下：

[0169] (1)在完整点集中随机选取两点，根据两点计算直线 l 的参数。

[0170] (2)设置阈值 δ ，对与直线 l 的几何距离小于 δ 的数据点集 $S(l)$ 进行归类，作为直线 l 的一致集。

[0171] (3)重复 n 次随机选择，求解直线 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 的参数和其对应的一致集 $S(l_1), S(l_2), \dots, S(l_n)$ 。

[0172] (4)整合所有随机选择结果，选取最大一致集对应的拟合直线作为完整点集的最佳匹配直线，其参数结果即为最终的拟合结果。

[0173] 提出的基于RANSAC算法的十字激光标定图像的光条中心提取算法。

[0174] 首先直接对十字标定激光图像使用Hessian矩阵法提取光条中心点集，由于有效点基本呈直线分布，而干扰点呈不规则分布且符合直线分布的有效点数量较多，此时直接使用RANSAC算法可以提取内点较多的直线点集，并将其从原始点集中去除，剩余点集中包含第二条直线点集以及干扰离群点，再次使用RANSAC算法拟合第二条直线参数，提取的离群点属于背景干扰点，可直接去除。两次RANSAC提取结果如图19所示。

[0175] 对于交叉区域弯折扭曲问题，在获取两直线参数的基础上，可以求直线交点后，设置一定的距离阈值，将提取的两直线点集中与交点距离小于阈值的点去除，避免交叉区域弯折对光平面参数标定造成影响。

[0176] 此外，为由于光条直线末端由于成像质量不佳而引入误差，将直线光条两端一定数量的提取点去除。最后根据得到的直线参数，设置一定的斜率阈值，可以将两个光平面对应的直线点集区分开。最终十字激光图像的光条中心提取结果如图20所示。

[0177] 之后对归类好的两组光条中心点分别依照单线激光光平面标定流程进行标定。最终左右两侧光平面参数标定的量化结果和可视化结果分别如表1和图21所示。光平面拟合的结果相比单线激光而言距离均值与方差都有所增加，计算两光平

面的夹角与理想夹角误差分别为 0.28° 和 0.17° 。考虑到十字激光的作用是补充轮廓特征点辅助计算钢轨法向，并不作为钢轨轮廓测量数据，该结果可满足测量要求。

[0178] 表1

参数	左侧结构光模组	右侧结构光模组
光平面参数矩阵	$\begin{bmatrix} 1.9080 & -0.0746 & -1 & 374.3466 \\ -0.5570 & 1.0596 & -1 & 366.6923 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -2.0554 & -0.0474 & -1 & 370.3369 \\ 0.4716 & 1.2181 & -1 & 292.8029 \end{bmatrix}$
距离均值/mm	0.0332	0.0355
	0.0273	0.0201
距离方差/ mm^2	0.0013	0.0007
	0.0008	0.0005
两平面夹角/度	89.72	89.83

[0179] 如图22至图23所示，在本申请的一实施例中，所述定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系，将该组目标图像中另一个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标包括如下步骤：S701至S706：

[0180] S701,选取一组目标图像。

[0181] S702,定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系。

[0182] S703,获取一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标，另一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标。

[0183] S704,基于一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标得到一个公共向量，基于另一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标得到另一个公共向量。

[0184] S705,利用两个公共向量，将该组目标图像中两个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标。

[0185] S706,返回所述选取一组目标图像，直至每一组目标图像均被选取一次。

[0186] 在本实施例中，通过坐标变换后获取了左右侧钢轨轮廓在各自相机坐标系下坐标，基于左右侧相机双目标定的结果，将左侧相机坐标系定义成公共坐标系，根据标定的结果将右侧相机坐标系的轮廓坐标变换到左侧相机坐标系下，实现

坐标系的全局统一和完整断面轮廓的数据融合。坐标系统一的转换结果如图22所示。

[0187] 提出了单线与十字激光器组合的光源设计，增加目标图像中轨头轮廓点云的双目视角下的公共特征点，通过精确提取钢轨目标图像中十字激光自身交点以及单线激光与十字激光的交点对应的三维坐标，在空间中形成左右视角下的公共向量。

[0188] 利用该公共向量在双目标定转换结果的基础上进行精匹配，匹配过程既简单又高效，由如图23所示的匹配结果可知，相比利用双目标定参数进行坐标系变换的结果，目标图像中轨头轮廓的公共部分基本重合，坐标系全局统一的误差明显减小。

[0189] 如图24至图32所示，在本申请的一实施例中，所述依据失真轮廓投影校正法，将每一个光条中心点的公共坐标进行校准，得到每一个光条中心点校准后的公共坐标包括如下步骤：S707至S715：

[0190] S707,选取一组目标图像。

[0191] S708,将该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标向第二激光器射出的单线激光所形成的光平面投影，得到该组目标图像中每一个光条中心点的二维坐标。

[0192] S709,依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，以得到对称面。

[0193] S710,获取对称面与该组目标图像中每一个光条中心点的交点，以得到两个交点，求取两个交点的坐标。

[0194] S711,将两个交点连接，得到钢轨纵向向量。

[0195] S712,基于钢轨纵向向量，构建与钢轨断面平行的辅助平面。

[0196] S713,将该组目标图像中每一个光条中心点向辅助平面投影，得到校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标。

[0197] S714,输出校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标，并将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与该组目标图像相对应地存储。

[0198] S715,返回所述选取一组目标图像,直至每一组目标图像均被选取一次。

[0199] 在本实施例中,钢轨动态测量中由于振动及方向偏移等原因引起的钢轨测量轮廓失真将给钢轨指标测量引入较大误差,采用标定钢轨纵向向量后构建垂直于钢轨纵向的辅助平面,之后将失真轮廓投影到辅助平面实现校正的方法。对如图2.1所示的60kg/m钢轨标准断面轮廓进行分析,钢轨断面轮廓存在部分易于提取的特征点,具体位置在图24标示。

[0200] 完整的钢轨共分为三部分:(1)轨头部分,其中A点为轨顶中点,BC段为轨头侧面斜率为1:20的直线,C点为轨颞点。(2)轨腰部分,DE段为R400圆弧,EF段为R20圆弧,K点为R20圆弧圆心,两段圆弧相切于E点。(3)轨底部分,FG段为斜率1:3直线,GH段是斜率1:9直线,两直线相交于G点。

[0201] 当发生振动或放置方向偏移,光平面与钢轨纵向向量不满足垂直关系时,测量得到的失真轮廓与标准轮廓间的变化形式可以通过仿射变换进行描述。

[0202] 基于仿射变换的单线轮廓失真校正法通过获取失真轮廓与标准轮廓间的仿射变换参数,之后进行反变换以达到轮廓校正的目的。

[0203] 任取失真轮廓上一点 $p(x,y)$ 其标准轮廓对应点为 $p'(x',y')$,两者的仿射变换关系为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix}$$

[0204] 式中, θ 为旋转角度。 S_x 和 S_y 为伸缩系数。 T_x 和 T_y 为平移系数。在进入单线轮廓失真校正时,仿射变换参数 $[\theta \ S_x \ S_y \ T_x \ T_y]$ 通过轨腰区域的失真轮廓与标准轮廓的R400圆弧和R20圆弧匹配段进行拟合计算。

[0205] 但该方法存在以下问题:由于R400圆弧以及R20圆弧经过仿射变换后,弧段失真变形成了椭圆弧,在可拟合的弧段较短的情况下,两椭圆弧的切点以及变换

后的R20椭圆弧端点难以定位，弧段定位不准，拟合精度较低，在实际应用中难以保证其准确性和鲁棒性。

[0206] 此外，仿射变换共5个参数需要获取，因此至少需要3对失真轮廓与标准轮廓点对才能求解。点对匹配的正确与否对参数求解的影响较大，难以保证拟合精度。针对钢轨轮廓特征点以及表面存在的几何关系约束，设计了一种基于多线结构光失真轮廓投影校正方法。

[0207] 将光平面与钢轨断面成一定角度模拟失真情况，拍摄如图25所示的一组钢轨激光图像。尽管此时钢轨表面光条纹交线所反映的测量轮廓相比标准轮廓发生了失真，但不论光平面如何偏斜，轨头处的光条纹曲线始终包含3对特征点信息，特征点位置标示在图25中，分别对应双侧单线激光在钢轨各自一侧轨头轮廓上的Bl1点和Br1点、十字激光分别在钢轨左右侧轨头轮廓上的Bl2点和Br2点以及单线激光分别在左右侧的轨颞点Cl1点和Cr1点。

[0208] 通过分析钢轨外形存在的几何约束关系，可以得知向量 $\overrightarrow{B_{l1}B_{r1}}$ 和向量 $\overrightarrow{B_{l2}B_{r2}}$ 方向都与钢轨纵向一致，且无论钢轨方向偏斜程度如何，这3对特征点只会沿着钢轨纵向在对应直线上移动。

[0209] 根据钢轨断面轮廓存在的左右对称关系，每对特征点的中点都落在垂直于轨距方向的对称平面上，因此本文提出了基于对称面拟合的钢轨纵向向量标定法。

[0210] 如图26所示，对于一次测量所能得到的钢轨轮廓点云而言，通过定位单线激光钢轨轨头轮廓的Bl1点和Br1点，可计算其中点Bm1点，利用左右侧轨颞点Cl1点和Cr1点计算其中点Cm1点，同样提取十字激光钢轨轨头轮廓的Bl2点和Br2点的中点Bm2。已知Bm1，Bm2，Cm1三点坐标，可计算得到对称中垂面参数，计算对称面与两段轨头轮廓交点，分别定位单线激光与十字激光的轨头轮廓轨顶中点A1，A2点，两轨顶中点组成向量XX即为钢轨纵向向量。

[0211] 为利用特征点拟合对称面，首先需要定位特征点，在流程中，对左右侧轮廓点云向各自光平面投影，将对三维点的处理降维成二维，可减少数据处理量，提高算法运算效率。已知光平面参数矩阵 $L=[A \ B \ C \ D]$ ，对于轮廓点集中一点 $p(x,y,z)$ ，其在光平面上的投影点为 $p'(x',y',z')$ ，根据点到平面的投影性质有：

$$\begin{cases} Ax' + By' + Cz' + D = 0 \\ \frac{x' - x}{A} = \frac{y' - y}{B} = \frac{z' - z}{C} \end{cases} \quad \text{公式 8}$$

- [0212] 求解上式得到投影点的坐标，完成轨头轮廓向光平面投影后使用道格拉斯-普克算法对投影后的二维点进行特征点定位。
- [0213] 道格拉斯-普克算法(Douglas - Peucker algorithm)是1973年由大卫·道格拉斯和托马斯·普克提出的用于曲线降采样的算法，其基本思想是使用多折线近似拟合曲线，并用曲线上的点与折线的Hausdorff距离(即最大距离)衡量折线与逼近曲线的相似度，Hausdorff距离小于设定阈值的保留，大于的以最大距离所在点为新端点，对曲线继续细分后逼近。
- [0214] 对于如图27所示的曲线，该算法的执行过程分为以下步骤：
- [0215] 1)确定曲线的端点A、B，连接A、B两点作为曲线的弦 l_{AB} 。
- [0216] 2)计算曲线上A、B两点间所有离散点到直线 l_{AB} 的距离，定位距离最大的点C，记录C点对应的Hausdorff距离 d 。
- [0217] 3)比较 d 与设定阈值 δ 的大小，若距离 d 小于阈值 δ ，则 l_{AB} 可作为该曲线段的近似折线。
- [0218] 4)若大于阈值 δ ，则将点C补充为新的端点，连接AC，BC并继续分割，重复上述流程直至没有新的端点产生，依次连接所有端点完成该曲线段的多折线逼近。
- [0219] 根据经验与实验结果，本文设置距离阈值 δ 为0.6mm，对左右侧投影的轨头轮廓使用道格拉斯-普克算法的分割结果如图28所示。
- [0220] 取目标图像中十字激光的钢轨轨头轮廓曲线段末端作为特征点 B_{l2} 和 B_{r2} 点。将提取到的特征点反投影到增加对比度的激光图像中，如图29所示可视化结果验证了特征点的提取结果较为准确。
- [0221] 之后计算三对特征点的中点坐标作为求取对称面参数的参考点，通过定位对称面与两段钢轨轨头轮廓的交点得到沿着钢轨纵向的两个轨顶中点，两点连线即能计算出钢轨的纵向向量。提取结果如图30所示。

[0222] 之后计算三对特征点的中点坐标作为求取对称面参数的参考点，通过定位对称面与两段钢轨轨头轮廓的交点得到沿着钢轨纵向的两个轨顶中点，两点连线即能计算出钢轨纵向向量。提取结果如图30所示。

[0223] 在获取钢轨纵向向量后，如图31所示，可利用钢轨纵向向量构建辅助平面进行投影校正。设计算得到的钢轨纵向向量为 $\vec{N}(n_x, n_y, n_z)$ ，单线激光形成轮廓的轨顶中点坐标为 $A(x_0, y_0, z_0)$ ，过A点构建与钢轨纵向向量垂直的辅助平面，将失真轮廓向辅助平面投影，最终实现测量轮廓校正。取失真轮廓点集中一点 $p(x, y, z)$ ，记p点在辅助平面上的投影点为 $p'(x', y', z')$ ，根据平面性质可得

$$\begin{cases} n_x(x' - x_0) + n_y(y' - y_0) + n_z(z' - z_0) = 0 \\ \frac{x' - x}{n_x} = \frac{y' - y}{n_y} = \frac{z' - z}{n_z} \end{cases} \quad \text{公式 9}$$

[0224] 根据上式可求得投影点坐标，将测量轮廓点集进行投影校正，失真校正的结果如图32所示。

[0225] 如图25至图26所示，在本申请的一实施例中，所述依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，以得到对称面包括如下S709a至S709c：

[0226] S709a，依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，得到三对特征点。三对特征点分别为双侧单线激光在钢轨各自一侧轨头轮廓上的BL1点和BR1点、十字激光分别在钢轨左右侧轨头轮廓上的BL2点和BR2点以及单线激光分别在左右侧的轨颞点CL1点和CR1点。

[0227] S709b，计算BL1点和BR1点的中点坐标BM1，计算BL2点和BR2点的中点坐标BM2，计算CL1点和CR点的中点坐标CM1。

[0228] S709c，基于中点坐标BM1、中点坐标BM2和中点坐标CM1，拟合得到对称面。

[0229] 在本实施例中，将光平面与钢轨断面成一定角度模拟失真情况，拍摄如图25所示的一组钢轨激光目标图像。

[0230] 尽管此时钢轨表面光条纹交线所反映的测量轮廓相比标准轮廓发生了失真，但不论光平面如何偏斜，轨头处的光条纹曲线始终包含3对特征点信息，特征点位置标示在图25中，分别对应双侧单线激光在钢轨各自一侧轨头轮廓上的Bl1点和Br1点、十字激光分别在钢轨左右侧轨头轮廓上的Bl2点和Br2点以及单线激光分别在左右侧的轨颞点Cl1点和Cr1点。

[0231] 通过分析钢轨外形存在的几何约束关系，可以得知向量 $\overrightarrow{B_{l1}B_{r1}}$ 和向量 $\overrightarrow{B_{l2}B_{r2}}$ 方向都与钢轨纵向一致，且无论钢轨方向偏斜程度如何，这3对特征点只会沿着钢轨纵向在对应直线上移动。根据钢轨断面轮廓存在的左右对称关系，每对特征点的中点都落在垂直于轨距方向的对称平面上，因此本文提出了基于对称面拟合的钢轨纵向向量标定法。

[0232] 如图26所示，对于一次测量所能得到的钢轨轮廓点云而言，通过定位单线激光钢轨轨头轮廓的Bl1点和Br1点，可计算其中点Bm1点，利用左右侧轨颞点Cl1点和Cr1点计算其中点Cm1点，同样提取十字激光钢轨轨头轮廓的Bl2点和Br2点的中点Bm2。

[0233] 已知Bm1, Bm2, Cm1三点坐标，可计算得到对称中垂面参数，计算对称面与两段轨头轮廓交点，分别定位单线激光与十字激光的轨头轮廓轨顶中点A1, A2点，两轨顶中点组成向量 $\overrightarrow{A_1A_2}$ 即为钢轨纵向向量。

[0234] 如图27至图38所示，在本申请的一实施例中，所述采用双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配得到ICP算法的初值，依据ICP算法将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与标准钢轨端面轮廓精配准，基于标准规定设置形影的标示线，将提取拟合标示线与测量轮廓的交点定位测点，得到钢轨轮廓测量结果包括如下S716至S725：

[0235] S716，选取一组目标图像。

[0236] S717，获取该组目标图像的校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标中轨头侧面轮廓斜率1:20直线特征点。

[0237] S718，利用直线的端点坐标与标准轮廓直线的端点坐标变换，以轨头一侧轮廓直线段为匹配基准，轨颞点为基点进行粗配准，得到轨头粗配准后的结果。

- [0238] S719, 获取轨头粗配准后的一侧轨腰, 依据道格拉斯-普克算法对标准轮廓的一侧轨腰的两段圆弧端点和切点进行定位, 以得到大圆弧对应的大圆心坐标与小圆弧对应的小圆心坐标。
- [0239] S720, 获取标准轮廓的一侧轨腰上的大圆弧对应的大圆心坐标与小圆弧对应的小圆心坐标, 定义其中一个圆心坐标为基点, 利用大圆心坐标与小圆心坐标向量计算轨头粗配准后的轮廓到标准轮廓的刚体变换系数, 对腰轨进行拟合, 得到双圆心坐标拟合配准结果。
- [0240] S721, 依据ICP算法对双圆心坐标拟合配准结果进行精配准, 得到双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果。
- [0241] S722, 基于得到的双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果, 建立标示线, 得到带有标示线的双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果。
- [0242] S723, 提取距离标示线最近的5个测量点坐标, 依据最小二乘法对提取的每一个测量点坐标拟合, 得到每一个标示线的直线方程。
- [0243] S724, 基于每一个标示线的直线方程, 得到每一个测点坐标, 将得到的每一个测点坐标与标准轮廓尺寸标准对比, 得到每一个测点的检测结果, 并相应的存储。
- [0244] S725, 返回所述选取一组目标图像, 直至每一组目标图像均被选取过一次。
- [0245] 在本实施例中, 参考ICP的执行过程, 点对匹配的准确度是影响配准结果的重要因素, ICP配准对初值设置较为敏感。因此, 本文采用了双圆心坐标拟合法作为ICP配准的前置步骤, 通过双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配, 为ICP配准提供初值。
- [0246] 如图27所示, 在提取了轨头侧面轮廓斜率1:20直线特征点的基础上, 利用直线端点坐标与标准轮廓BC直线段坐标变换, 以轨头左侧轮廓直线段为匹配基准, 轨颞点C点为基点进行粗配准。
- [0247] 设测量轮廓B点为 $p_B(x_B, y_B)$ 轨颞点为 $p_C(x_C, y_C)$, 标准轮廓对应点分别为 $p'_B(x'_B, y'_B)$ 和 $p'_C(x'_C, y'_C)$, 则对于轮廓一点 $p(x, y)$, 其粗配准后的对应点 $p'(x', y')$ 为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad \text{公式 10}$$

[0248] 式中 θ 为测量轮廓与标准轮廓直线夹角, xx 为两轮廓轨颞点的平移量, 其计算方式为:

$$\begin{cases} \theta = \arctan \frac{y_B' - y_C'}{x_B' - x_C'} - \arctan \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} \\ \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_C' \\ y_C' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \end{bmatrix} \end{cases} \quad \text{公式 11}$$

[0249] 将定位的对应点坐标代入公式10和公式11后进行配准, 配准结果如图33所示。

[0250] 由上图可知经直线段粗配准后的测量轮廓位姿基本与标准轮廓保持一致, 可通过设置高度范围内截取轨腰段轮廓。

[0251] 使用双圆心坐标拟合法对轮廓进行进一步粗配准, 以左侧轨腰轮廓作为匹配基准, 对截取的轨腰区域使用道格拉斯-普克算法定位两圆弧端点和切点, 对应图24的D点、E点和F点, 根据实验结果, 距离阈值设置为0.6mm, 第1个采样点和第3个采样点为大圆弧端点, 第3个采样点及第6个采样点为小圆弧端点, 定位结果如图34所示。

[0252] 为了利用两圆弧段所有的测量点获取大小圆参数, 从而得到两圆的圆心坐标, 本文使用非线性最小二乘法对双圆弧段测点进行拟合。待拟合圆的一般表达式为:

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R^2 \quad \text{公式 12}$$

[0253] 公式12中, R 为标准中规定的圆弧半径。圆弧段点集为 $\{p_i(x_{i_c}, y_{i_c}) | i = 1, 2, \dots, N\}$, N 为点集数量。待求圆心点坐标为 (x_0, y_0) , 将已知的圆弧半径作为约束条件, 令:

$$f_i(x) = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - R \quad \text{公式 13}$$

[0254] 基于非线性最小二乘法的优化条件, 待优化的目标函数为:

$$F(x) = \sum_{i=1}^N f_i(x)^2 \quad \text{公式 14。}$$

[0255] 目标函数值达到最小时, 此时求解得到的圆心坐标 (x_0, y_0) 为拟合的最优解, 小圆弧段的圆心拟合结果如图35所示。使用该方法求取速度快, 拟合结果稳定, 精度较高。

[0256] 根据求取测量轮廓R400圆心 $C_{400}(x_{400}, y_{400})$ 和R20圆心 $C_{20}(x_{20}, y_{20})$ 以及标准轮廓已知的大小圆圆心 $C'_{400}(x'_{400}, y'_{400})$ 和 $C'_{20}(x'_{20}, y'_{20})$ ，以小圆圆心为基点，利用双圆心坐标向量计算测量轮廓到标准轮廓的刚体变换系数。取测量轮廓与标准轮廓的点 $p(x, y)$ 和 $p'(x', y')$ ，其变换过程同公式10，夹角 θ 及平移量 $[t_x, t_y]^T$ 计算方式为：

$$\begin{cases} \theta = \arctan \frac{y_{400}' - y_{20}'}{x_{400}' - x_{20}'} - \arctan \frac{y_{400} - y_{20}}{x_{400} - x_{20}} \\ \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{20}' \\ y_{20}' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{20} \\ y_{20} \end{bmatrix} \end{cases} \quad \text{公式 15}$$

[0257] 根据圆心拟合结果对轮廓进行配准，配准结果如图36所示。对粗配准后的钢轨轮廓使用ICP算法进一步完成精配准，并计算测量轮廓与标准轮廓误差，结果如图37所示。

[0258] 根据标准中的公差数据基准规定，针对不同的测量指标通过对应的标示线进行测点定位，标示线的设置方式及对应的尺寸标准如表2所示。

[0259] 表2

几何尺寸参数	标示线/mm	尺寸标准/mm
轨高 (H)	X=0	176 ± 0.6
轨头宽 (WH)	Y=161.8	70.8 ± 0.5
轨底宽 (WF)	Y=6	150 ± 1.0
轨腰厚度 (WT)	Y=79	$16.5^{+1.0}_{-0.5}$
不对称度 (As)	Y=6, y=161.8	39.6 ± 1.2
轨脚高度 (TF)	X=-71, x=71	$12.0^{+0.75}_{-0.5}$

[0260] 特别地，不对称度及轨脚高度左右两侧各有一处测量位置，最终结果综合两侧结果取平均值作为测量结果，不对称度的测点定位由轨头宽和轨底宽测点共同参与计算。根据标示线对测点进行定位，并根据定位结果计算测量指标，标示定位的结果如图38所示。

[0261] 通常情况下，测量轮廓上的点无法与标示线相应坐标保持严格一致，因此，本文选取距离标示线最近的5个测量点，在微小区域内，轮廓段内可微分成细小的直线段。基于以上假设，对提取的测量点坐标使用最小二乘法拟合得到直线参数，之后再根据标示线的对应坐标插值得到测点，此时得到的测点坐标与标示

线的对应坐标保持一致。最终根据测点比对计算出钢轨各项测量指标，结果如表3所示。

[0262] 表3

几何尺寸参数	标示线/mm	尺寸标准/mm	检测结果
轨高 (H)	X=0	176±0.6	合格
轨头宽 (WH)	Y=161.8	70.8±0.5	合格
轨底宽 (WF)	Y=6	150±1.0	合格
轨腰厚度 (WT)	Y=79	16.5 ^{+1.0} _{-0.5}	合格
不对称度 (As)	Y=6, y=161.8	39.6±1.2	合格
轨脚高度 (TF)	X=-71, x=71	12.0 ^{+0.75} _{-0.5}	合格

[0263] 在本申请的一实施例中，提供一种钢轨断面轮廓测量系统，所述的钢轨断面轮廓测量系统包括采集设备和处理设备。

[0264] 所述采集设备用于采集被测钢轨在不同拍摄角度下的图像。所述采集装置包括光源发射装置和图像采集装置。

[0265] 所述处理设备与采集装置通信连接，所述处理设备用于执行如前文中任一实施例所述的钢轨断面轮廓测量方法。

[0266] 在本实施例中，数据后端处理模块硬件设施主要是处理设备，光源发射装置照射在钢轨两侧激光平面与钢轨表面相交光条纹曲线共面，十字激光器安装在钢轨轨头正上方，使用十字激光器的优点主要有两个：一是十字激光在轨头处补充了光条纹数量，可利用多线结构光提取到轨颞等特征点，结合钢轨轮廓存在的几何关系对安装偏移或方向偏移的测量轮廓进行失真校正。二是轨头区域是两侧工业相机的公共视场范围内，在后续的轮廓拼接与配准算法中可补充双侧相机坐标系下的公共点云作为配准依据，可进一步提高双目配准精度，图像采集装置采集得到的数字图像传输至处理设备进行处理，特征提取，测点定位和指标分析计算等一系列数据处理工作，并且实现对其它模块的自动化控制。

[0267] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，各方法步骤也并不做执行顺序的限制，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0268] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本申请的保护范围。因此，本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

[权利要求 1]

一种钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述钢轨断面轮廓测量方法包括：

依据张正友标定法对相机进行标定，得到相机的内参与外参矩阵；
获取第一相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，以及获取第二相机在一个拍摄位置下拍摄被测钢轨的图像，得到一组目标图像；在拍摄图像时，控制激光器射出至少一道单线激光至被测钢轨的表面，每一道单线激光的照射方向均与被测钢轨的表面的垂直，第一相机和第二相机分别设置于被测钢轨的两侧；

同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像；在同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置时，第一相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第二相机的拍摄方向和每一道单线激光的照射方向之间的夹角保持不变，第一相机的拍摄方向和第二相机的拍摄方向之间的夹角保持不变；

反复执行所述同步移动第一相机的拍摄位置和第二相机的拍摄位置，获取另一组目标图像，直至得到N组目标图像；N为正整数且N大于1；

依据光条中心提取法获取每组目标图像中每张目标图像的光条中心图像，得到与每张目标图像对应的光条中心图像；

基于每张光条中心图像，获取每张光条中心图像的光条中心部分包含的每一个光条中心点的三维坐标，以形成每一张光条中心图像的光条中心点集；

选取一组目标图像；

定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系，将该组目标图像中另一个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标；

依据失真轮廓投影校正法，将每一个光条中心点的公共坐标进行校准，得到每一个光条中心点校准后的公共坐标；

采用双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配得到ICP算法的初值，依据ICP算法将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与标准钢轨端面轮廓精配准，基于标准规定设置形影的标示线，将提取拟合标示线与测量轮廓的交点定位测点，得到钢轨轮廓测量结果；

返回所述选取一组目标图像，直至所有目标图像均被选取完毕；

基于多组目标图像、每一张目标图像对应的光条中心图像、每一张光条中心图像每一个光条中心点的公共坐标、每一张光条中心图像每一个光条中心点校准后的公共坐标、标准的钢轨端面轮廓以及每一张校正后的钢轨端面轮廓与标准的钢轨端面轮廓之间的对比误差图像，构建基于钢轨端面轮廓误差检测模型。

[权利要求 2]

根据权利要求1所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述控制激光器射出至少一道单线激光至被测钢轨的表面，包括：

控制设置在钢轨上方的第一激光器射出两道单线激光至被测钢轨的轨头，两道单线激光各自形成的光平面相互垂直；

控制设置在钢轨一侧的第二激光器射出一道单线激光至被测钢轨；

控制设置在钢轨另一侧的第三激光器射出一道单线激光至被测钢轨；

所述第二激光器射出的单线激光所形成的光平面和所述第三激光器射出的单线激光所形成的光平面为共平面。

[权利要求 3]

根据权利要求2所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，在所述依据张正友标定法对相机进行标定之后，所述方法还包括，对光平面进行标定，所述对光平面进行标定包括：

固定设置标定用激光器和相机之间的相对位置；

调整棋盘格标定板的位姿，使得标定用激光器射出的单线激光所形成的光平面与棋盘格标定板相交形成光条纹直线，且同时控制光条纹直线和棋盘格标定板出现在相机的拍摄范围内；

保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像，作为一个棋盘格图像对；

更换棋盘格标定板的位姿，返回所述保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像，作为一个棋盘格图像对，直至得到M个棋盘格图像对；M为正整数且大于1；

获取M个棋盘格图像对；每一个棋盘格图像对包括一张无激光条纹的棋盘格图像与一张包含激光条纹的棋盘格图像；

提取每一个棋盘格图像对中无激光条纹的棋盘格图像；

依据张正友标定法，从无激光条纹的棋盘格图像中得到相机内参矩阵、以及相对棋盘格外参矩阵；

依据光条中心提取法，提取每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点的像素坐标；

依据相对棋盘格外参矩阵，计算每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在世界坐标系下的三维坐标；

依据每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点的像素坐标、一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在世界坐标系下的三维坐标，得到每一个棋盘格图像对中包含激光条纹的棋盘格图像的光条中心点在相机坐标系下的三维坐标；

对得到的所有棋盘格图像对中包含有激光条纹图像的光条中心点在相机坐标系下进行拟合得到光平面标定方程。

[权利要求 4]

根据权利要求3所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述依据光条中心提取法获取每组目标图像中每张目标图像的光条中心图像，得到与每张目标图像对应的光条中心图像，包括：

选取一张目标图像；

依据ROI算法提取该目标图像的精准光条区域图像；

基于该目标图像的精准光条区域图像，利用Hessian算法得到该目标图像的所有光条中心点在像素坐标系下的像素坐标；基于标定参数投影第一激光器射出两道单线激光形成的光平面的交线，得到第一光平面投影线，以及基于标定参数投影第二激光器射出的单线激光形成的光平面与第一激光器射出一道单线激光形成的光平面的交线，得到第二光平面投影线；

提取所有光条中心点、第一光平面投影线和第二光平面投影线之间的交点，作为光条交叉点；所述光条交叉点的数量为2；

基于两个光条交叉点的像素坐标，得到一条过两个光条交叉点直线的直线方程和该直线的中点的像素坐标；

计算每一个光条中心点与过两个光条交叉点的直线之间的直线距离，将直线距离小于直线距离阈值的光条中心点删除，得到去噪后的光条中心点；

计算每相邻两个去噪后的光条中心点的直线距离，作为相邻直线距离，将相邻直线距离大于相邻直线距离阈值的噪后的光条中心删除，以去除噪音段；

依据Spline样条插值补全法将噪音段补全，得到补全后的光条中心点的像素坐标点集并将补全后的光条中心点的坐标点集和该目标图像相对应地存储；

返回所述选取一张目标图像，直至所有目标图像均被选取一次。

[权利要求 5]

根据权利要求4所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，在所述依据张正友标定法对相机进行标定，得到相机坐标系之后，还包括：

固定设置第一激光器和相机之间的相对位置；

调整棋盘格标定板的位姿，使得第一激光器射出的两道单线激光所形成的两个相交的光平面落在棋盘格标定板上，与棋盘格标定板相

交形成十字光条，且同时控制十字光条和棋盘格标定板出现在相机的拍摄范围内；

保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无十字光条的棋盘格图像与一张包含十字光条的棋盘格图像，作为一个十字光条棋盘格图像对；

更换棋盘格标定板的位姿，返回所述保持棋盘格标定板的位姿不变，拍摄一张无十字光条的棋盘格图像与一张包含十字光条的棋盘格图像，作为一个十字光条棋盘格图像对，直至得到K个棋盘格图像对；K为正整数且大于1；

选取一张包含十字光条的棋盘格图像；

执行Hessian算法提取该包含十字光条的棋盘格图像中所有十字光条中心点在像素坐标系下的像素坐标；

利用RANSAC算法筛选与第一最佳匹配直线匹配的十字光条中心点，作为第一类十字光条中心点；

利用RANSAC算法筛选除第一十字光条中心点之外剩余的十字光条中心点中与第二最佳匹配直线匹配的十字光条中心点，作为第二类十字光条中心点；

计算第一最佳匹配直线和第二最佳匹配直线的交点，去除与交点直线距离大于第一预设距离的第一类十字光条中心点，以及去除与交点直线距离大于第二预设距离的第二类十字光条中心点；

返回所述选取一张包含十字光条的棋盘格图像，直至包含十字光条的棋盘格图像均被选取一次，得到每一张包含十字光条的棋盘格图像的第一类十字光条中心点和第二类十字光条中心点；

依据每一张包含十字光条的棋盘格图像的第一类十字光条中心点和第二类十字光条中心点，对光平面标定方程进行修正。

[权利要求 6]

根据权利要求5所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系，将该组目标图像中另一个目标图像的光条中心点的三维坐标系

转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标，包括：

选取一组目标图像；

定义该组目标图像中任意一个目标图像的相机坐标系为公共坐标系；

获取一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标，

另一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标；

基于一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标得到一个公共向量，基于另一个目标图像在公共坐标系中的两个光条交叉点的公共坐标得到另一个公共向量；

利用两个公共向量，将该组目标图像中两个目标图像的光条中心点的三维坐标系转换到公共坐标系，以得到每张光条中心图像中每一个光条中心点的公共坐标；

返回所述选取一组目标图像，直至每一组目标图像均被选取一次。

[权利要求 7]

根据权利要求6所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述依据失真轮廓投影校正法，将每一个光条中心点的公共坐标进行校准，得到每一个光条中心点校准后的公共坐标，包括：

选取一组目标图像；

将该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标向第二激光器射出的单线激光所形成的光平面投影，得到该组目标图像中每一个光条中心点的二维坐标；

依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，以得到对称面；

获取对称面与该组目标图像中每一个光条中心点的交点，以得到两个交点，求取两个交点的坐标；

将两个交点连接，得到钢轨纵向向量；

基于钢轨纵向向量，构建与钢轨断面平行的辅助平面；

将该组目标图像中每一个光条中心点向辅助平面投影，得到校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标；

输出校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标，并将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与该组目标图像相对应地存储；

返回所述选取一组目标图像，直至每一组目标图像均被选取一次。

[权利要求 8]

根据权利要求7所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，以得到对称面，包括：

依据道格拉斯-普克算法对该组目标图像中每一个光条中心点进行二维特征点定位，得到三对特征点；三对特征点分别为双侧单线激光在钢轨各自一侧轨头轮廓上的BL1点和BR1点、十字激光分别在钢轨左右侧轨头轮廓上的BL2点和BR2点以及单线激光分别在左右侧的轨颞点CL1点和CR1点；

计算BL1点和BR1点的中点坐标BM1，计算BL2点和BR2点的中点坐标BM2，计算CL1点和CR点的中点坐标CM1；

基于中点坐标BM1、中点坐标BM2和中点坐标CM1，拟合得到对称面。

[权利要求 9]

根据权利要求8所述的钢轨断面轮廓测量方法，其特征在于，所述采用双圆心坐标与标准轮廓的双圆心位置的匹配关系进行粗匹配得到ICP算法的初值，依据ICP算法将校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标与标准钢轨端面轮廓精配准，基于标准规定设置形影的标示线，将提取拟合标示线与测量轮廓的交点定位测点，计算得到钢轨轮廓测量指标，包括：

选取一组目标图像；

获取该组目标图像的校准后的该组目标图像中每一个光条中心点的公共坐标中轨头侧面轮廓斜率1:20直线特征点；

利用直线的端点坐标与标准轮廓直线的端点坐标变换，以轨头一侧轮廓直线段为匹配基准，轨颞点为基点进行粗配准，得到轨头粗配准后的结果；

获取轨头粗配准后的一侧轨腰，依据道格拉斯-普克算法对标准轮廓的一侧轨腰的两段圆弧端点和切点进行定位，以得到大圆弧对应的大圆心坐标与小圆弧对应的小圆心坐标；

获取标准轮廓的一侧轨腰上的大圆弧对应的大圆心坐标与小圆弧对应的小圆心坐标，定义其中一个圆心坐标为基点，利用大圆心坐标与小圆心坐标向量计算轨头粗配准后的轮廓到标准轮廓的刚体变换系数，对腰轨进行拟合，得到双圆心坐标拟合配准结果；

依据ICP算法对双圆心坐标拟合配准结果进行精配准，得到双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果；

基于得到的双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果，建立标示线，得到带有标示线的双圆心坐标拟合配准结果与标准轮廓的精配准结果；

提取距离标示线最近的5个测量点坐标，依据最小二乘法对提取的每一个测量点坐标拟合，得到每一个标示线的直线方程；

基于每一个标示线的直线方程，得到每一个测点坐标，将得到的每一个测点坐标与标准轮廓尺寸标准对比，得到每一个测点的检测结果，并相应的存储；

返回所述选取一组目标图像，直至每一组目标图像均被选取过一次。

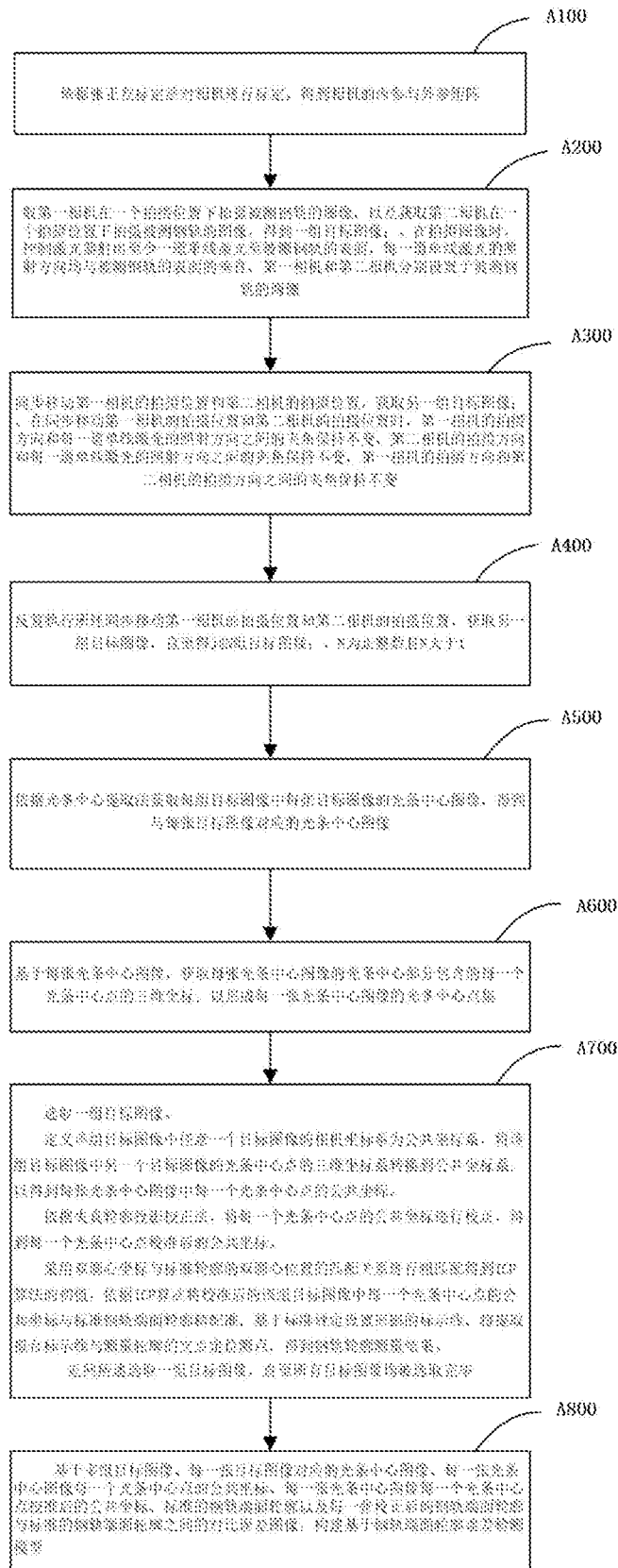
[权利要求 10]

一种钢轨断面轮廓测量系统，其特征在于，所述的钢轨断面轮廓测量系统包括：

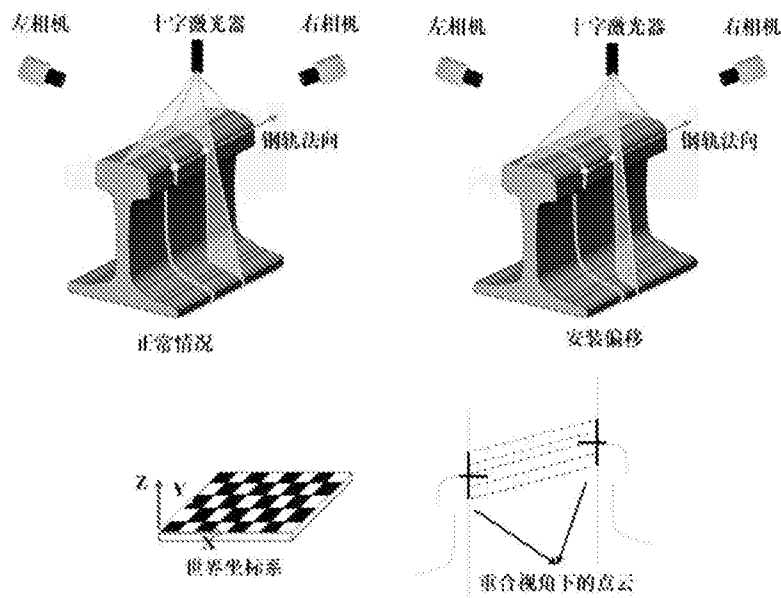
采集设备，用于采集被测钢轨在不同拍摄角度下的图像；所述采集设备包括光源发射装置和图像采集装置；

处理设备，与采集设备通信连接，所述处理设备用于执行如权利要求1至9中任意一项权利要求所述的钢轨断面轮廓测量方法。

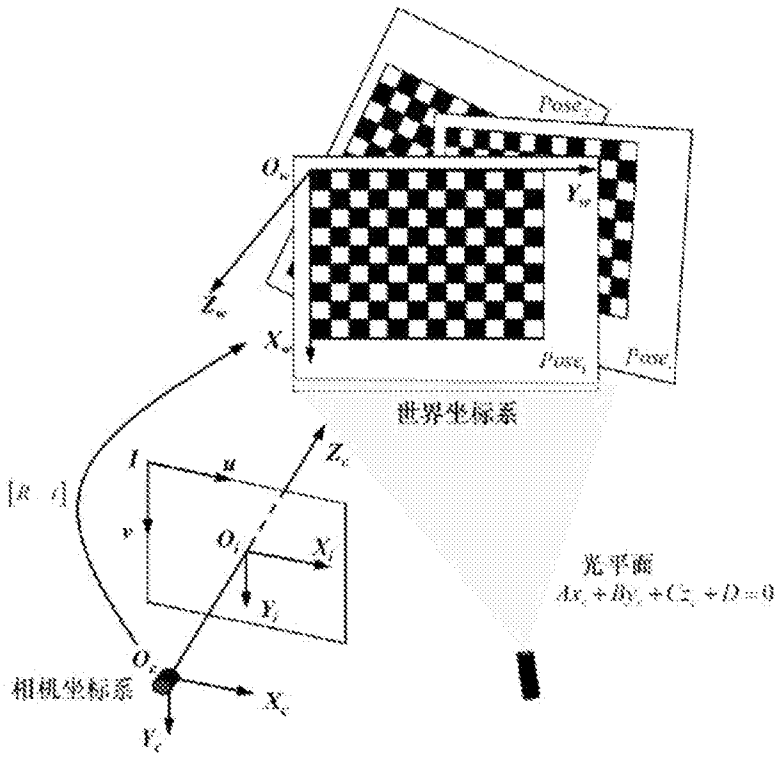
[图 1]

细则 26,
26.02.2024

[图 2]



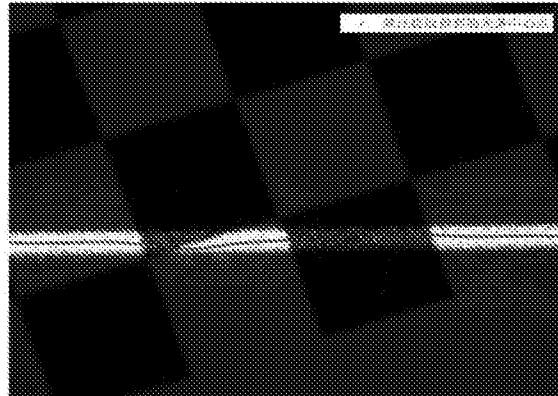
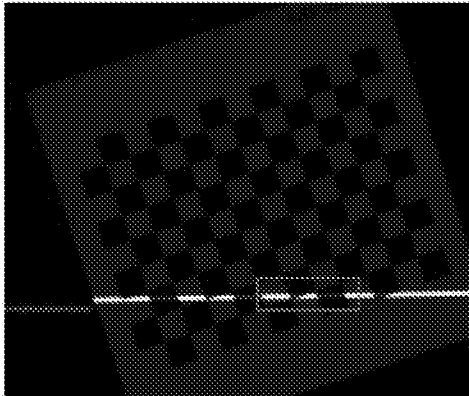
[图 3]



细则 26,
26.02.2024

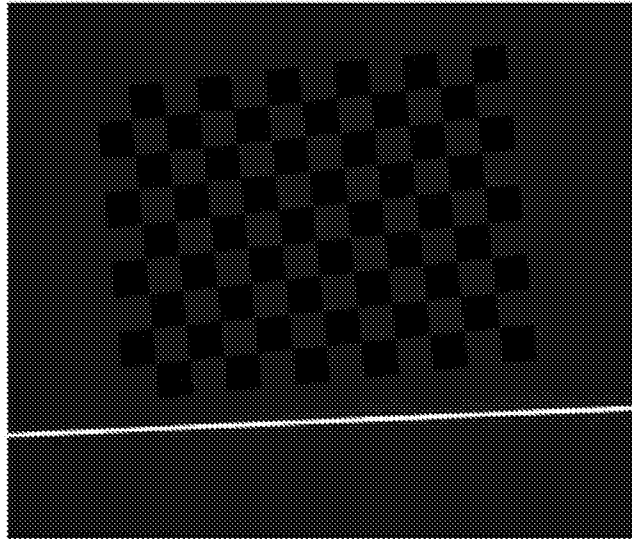
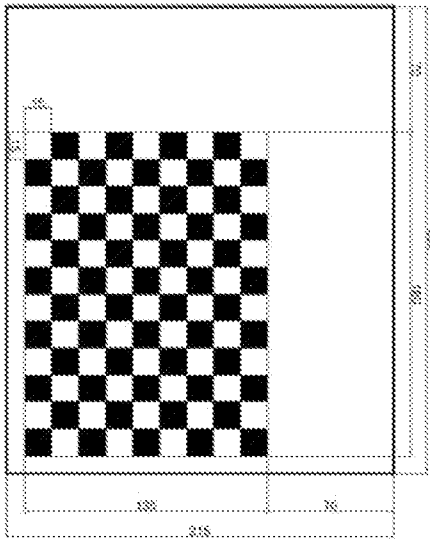
细则 26,
26.02.2024

[图 4]



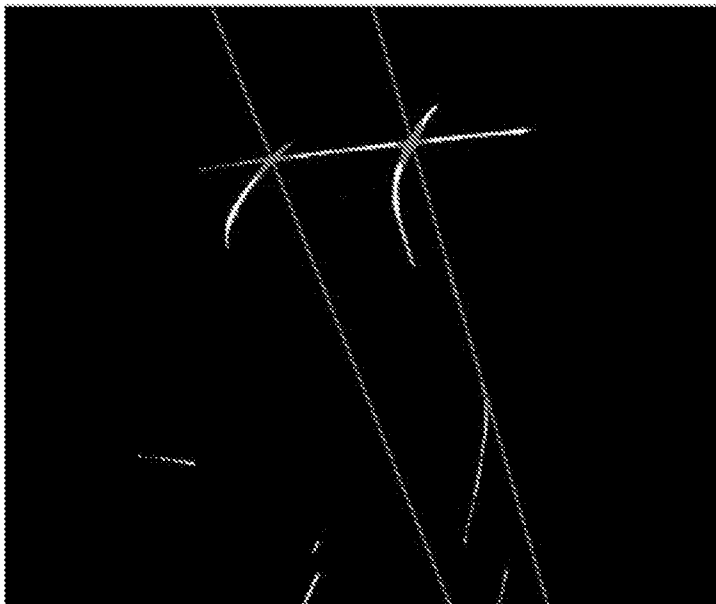
细则 26,
26.02.2024

[图 5]



细则 26,
26.02.2024

[图 6]

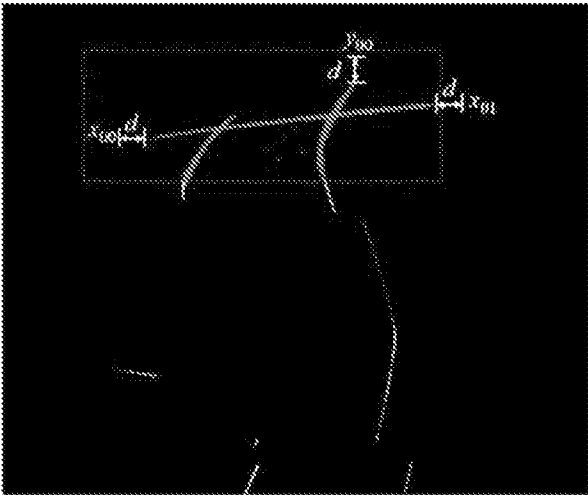


— 4444

● 4444

细则 26,
26.02.2024

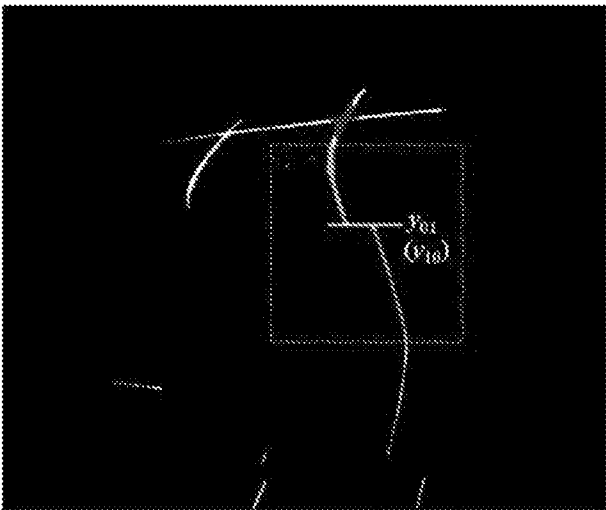
[图 7]



- 待选范围
- 根选轨头光条

细则 26,
26.02.2024

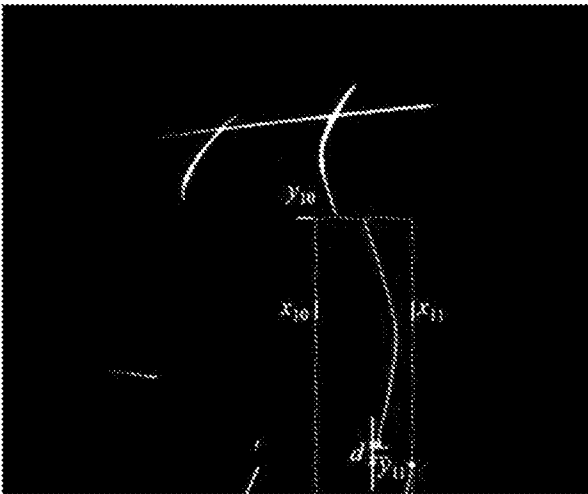
[图 8]



- 待选范围
- 交叉区域
- 根选光条
- 突变点

细则 26,
26.02.2024

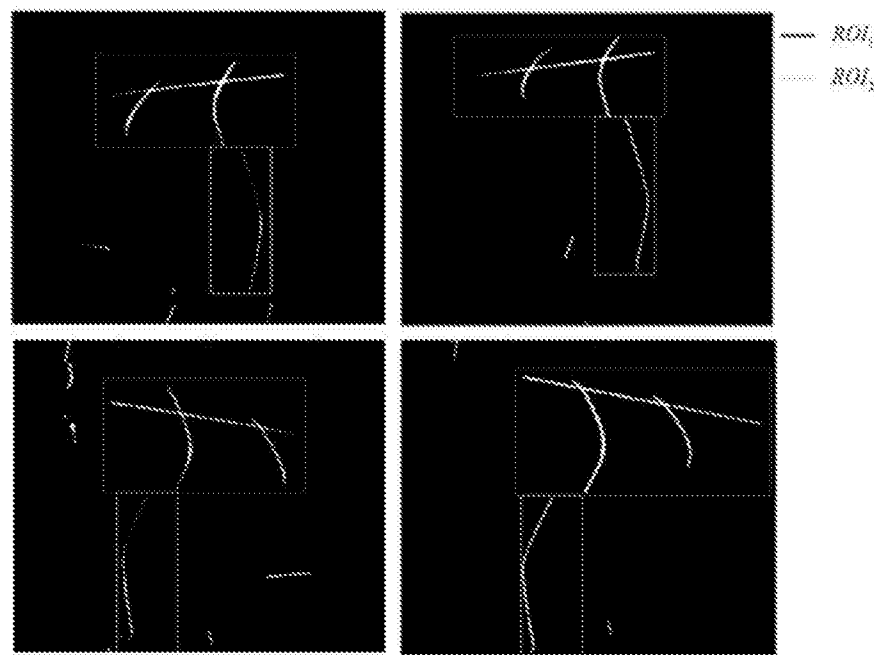
[图 9]



- 待选范围
- 根选光条
- 突变点

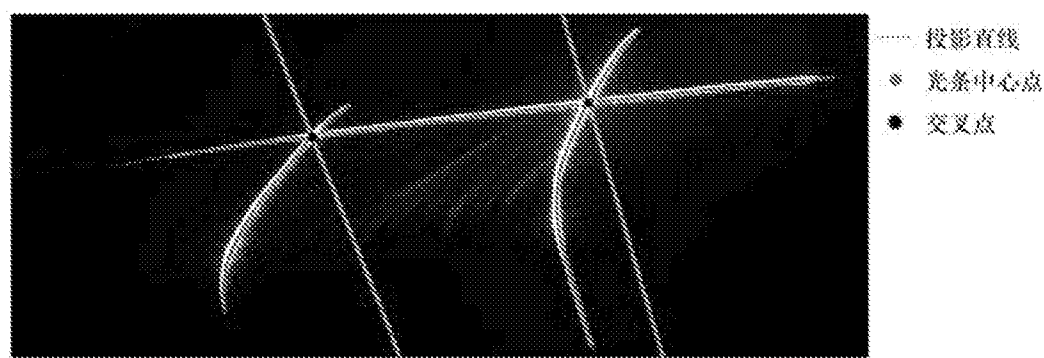
细则 26,
26.02.2024

[图 10]



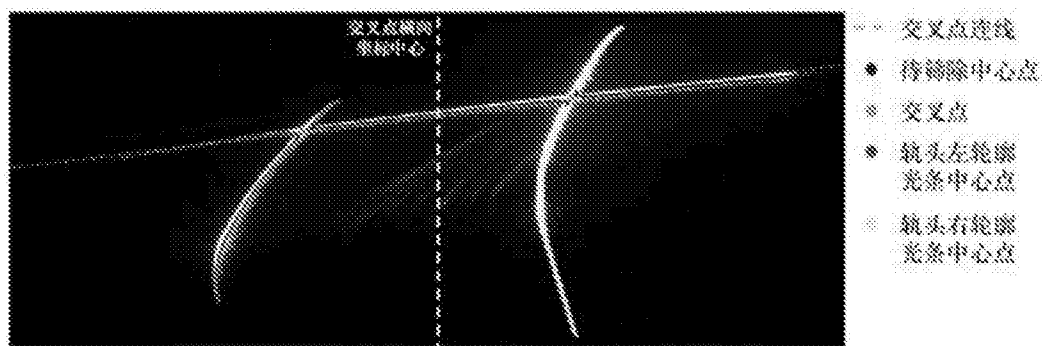
细则 26,
26.02.2024

[图 11]



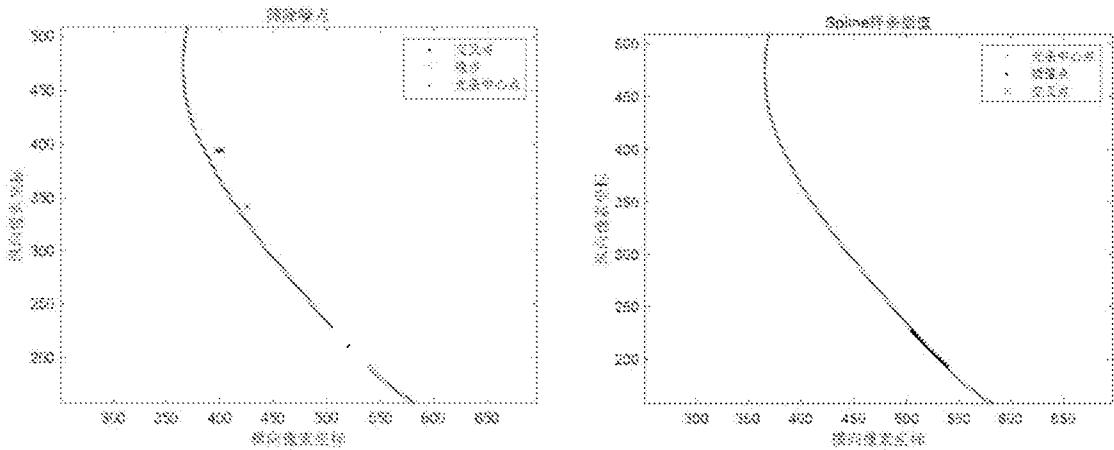
细则 26,
26.02.2024

[图 12]



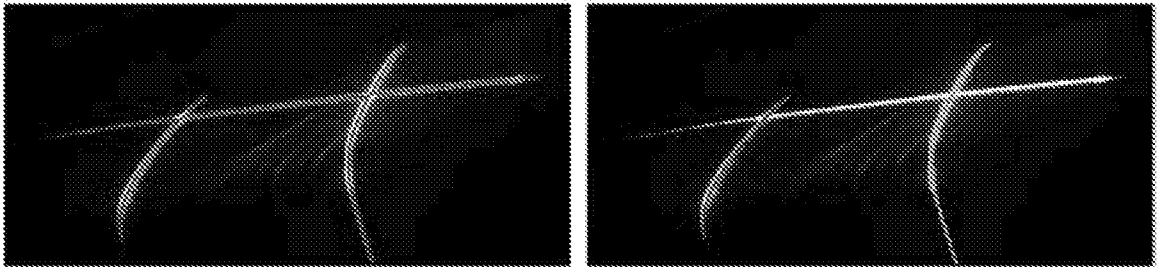
细则 26,
26.02.2024

[图 13]



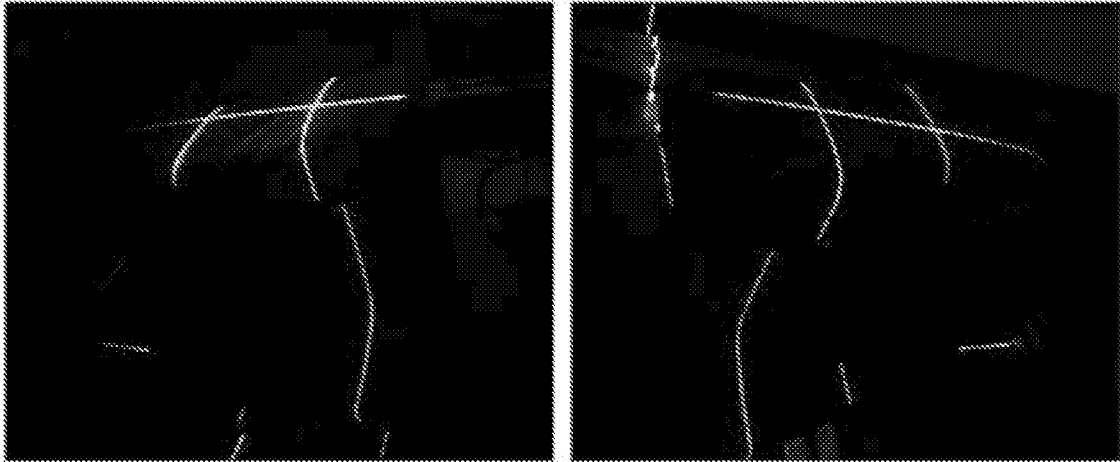
细则 26,
26.02.2024

[图 14]



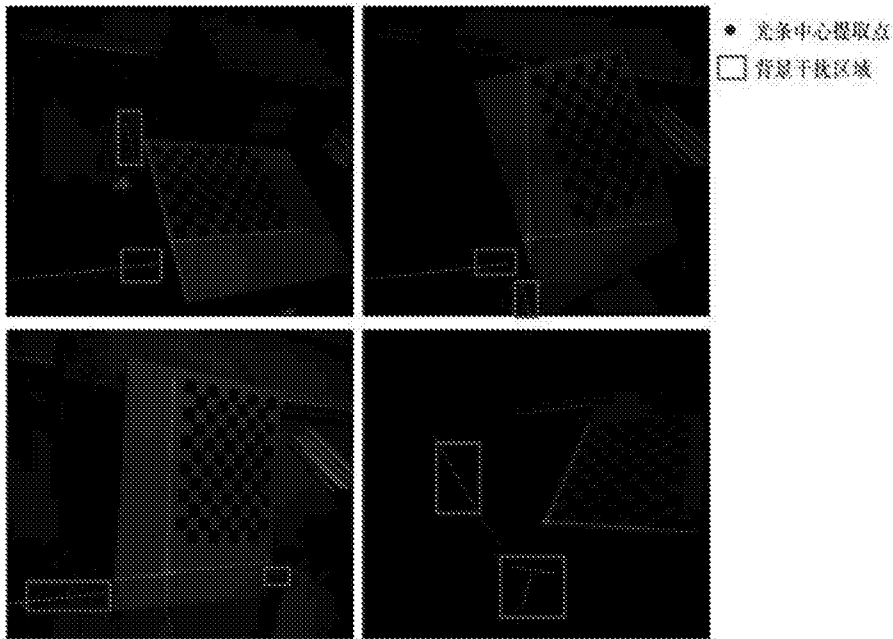
细则 26,
26.02.2024

[图 15]

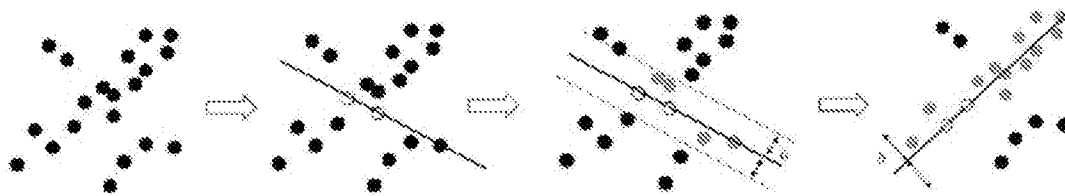


细则 26,
26.02.2024

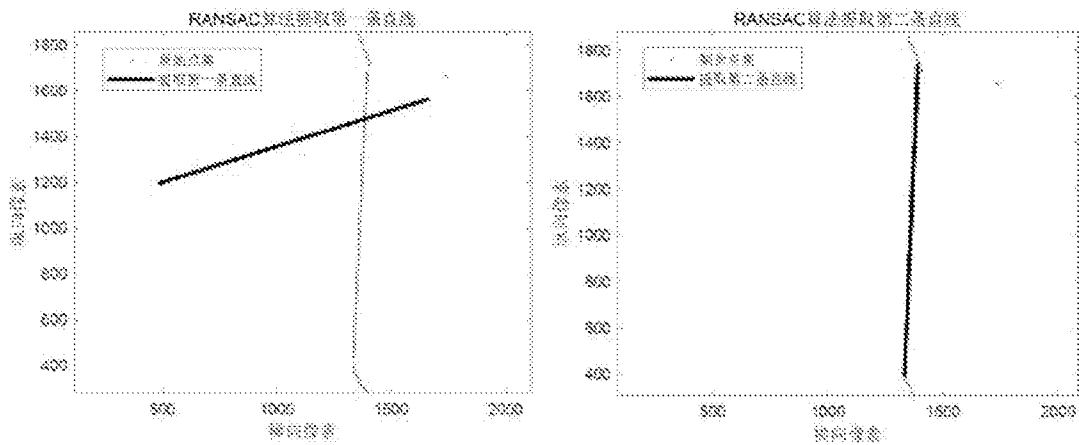
[图 16]

细则 26,
26.02.2024

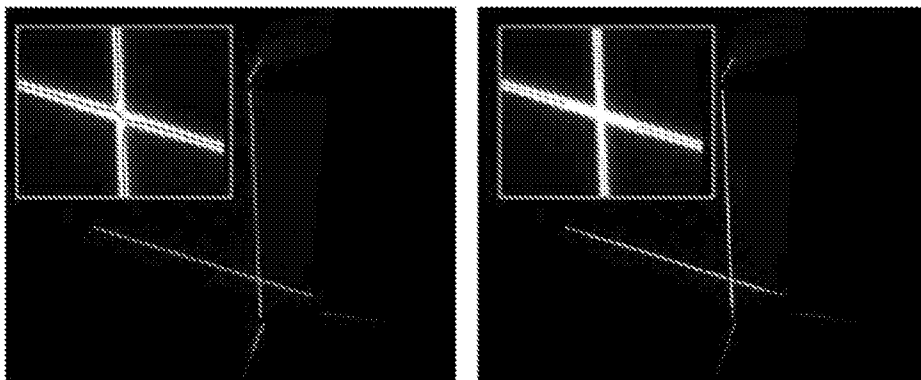
[图 17]

细则 26,
26.02.2024

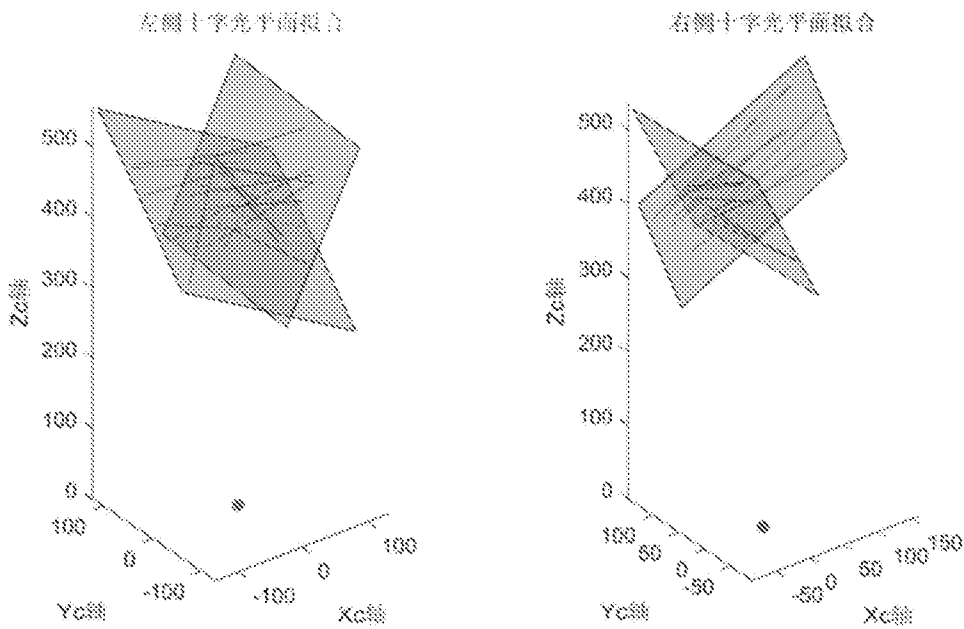
[图 18]

细则 26,
26.02.2024

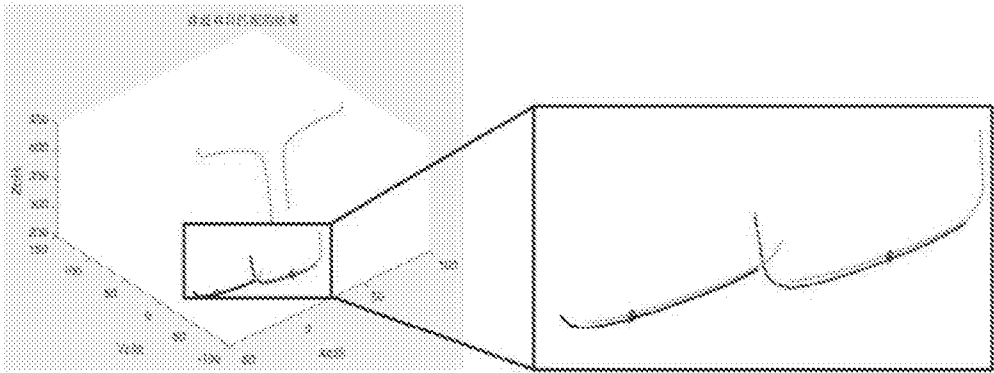
[图 19]

细则 26,
26.02.2024

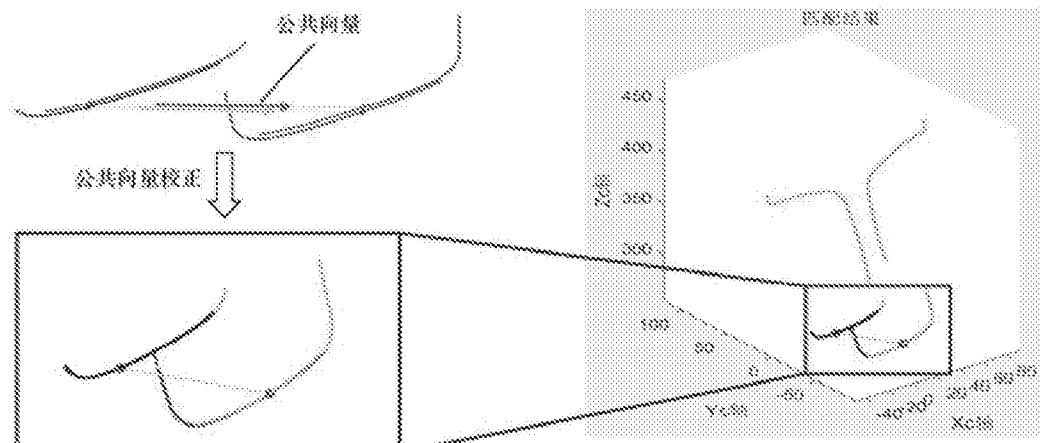
[图 20]



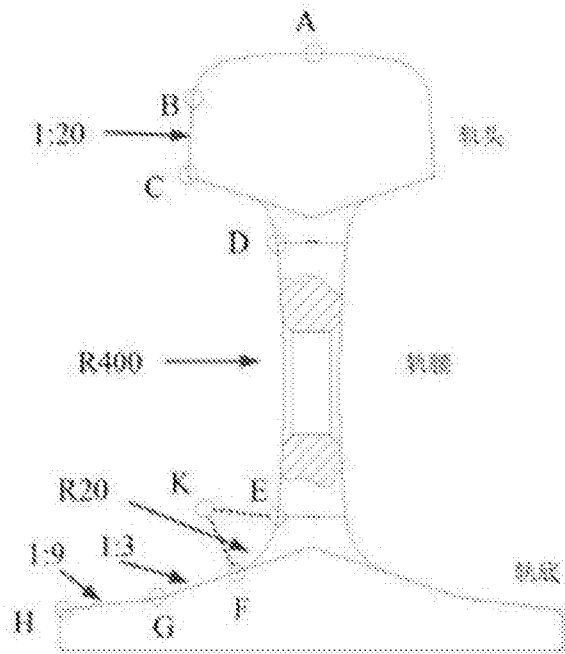
[图 21]



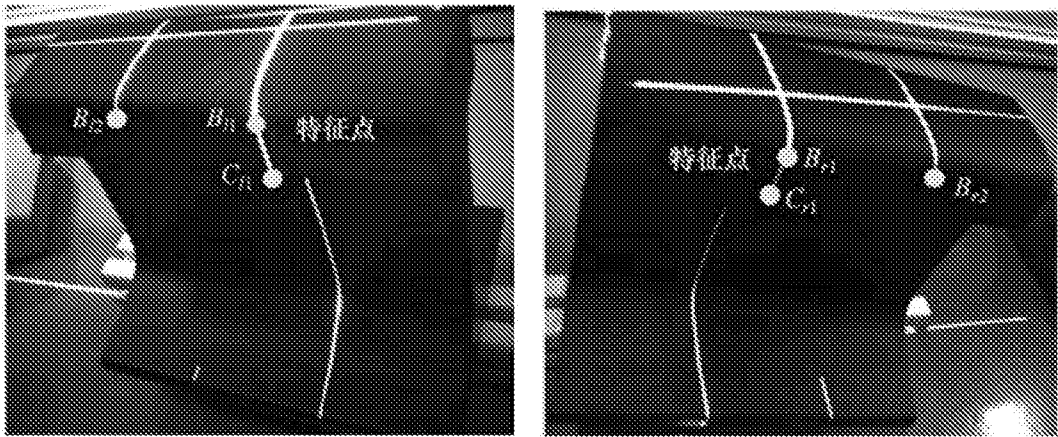
[图 22]



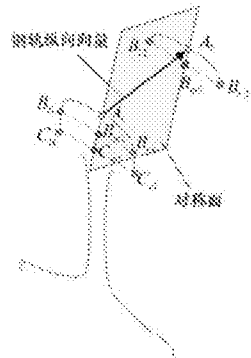
[图 23]



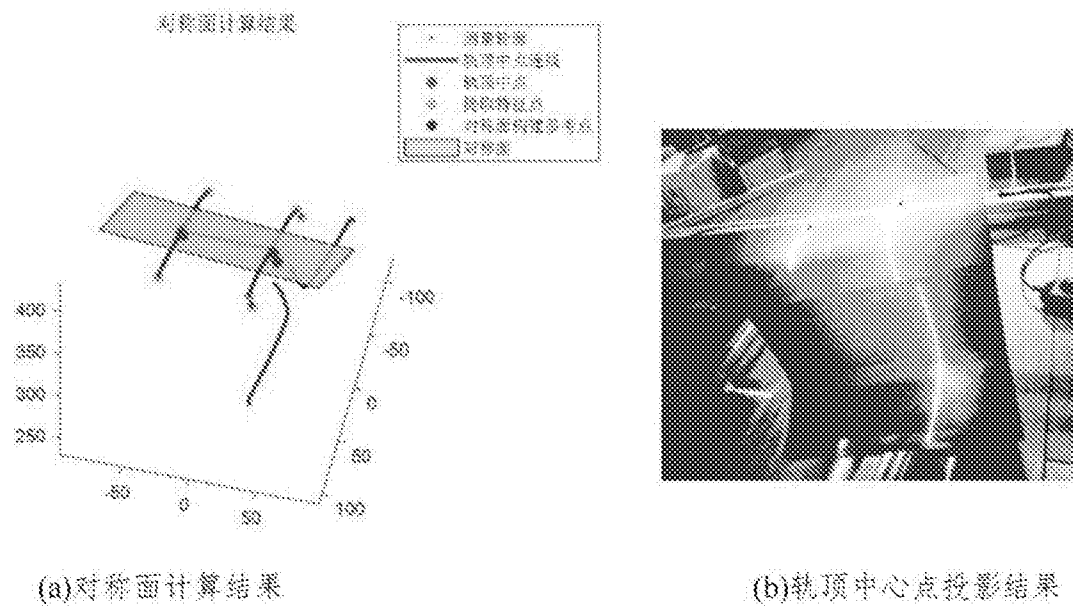
[图 24]



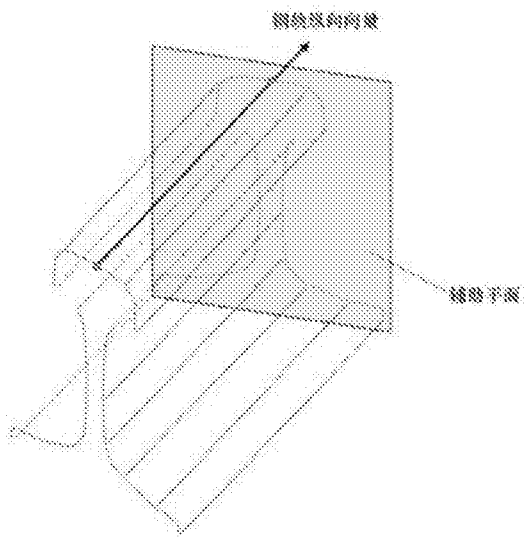
[图 25]



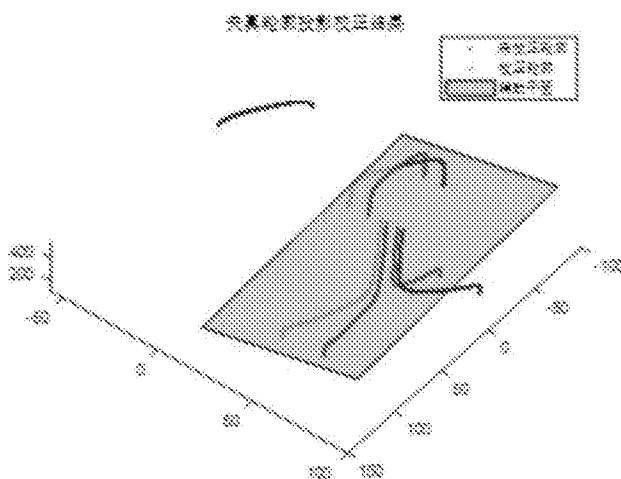
[图 29]



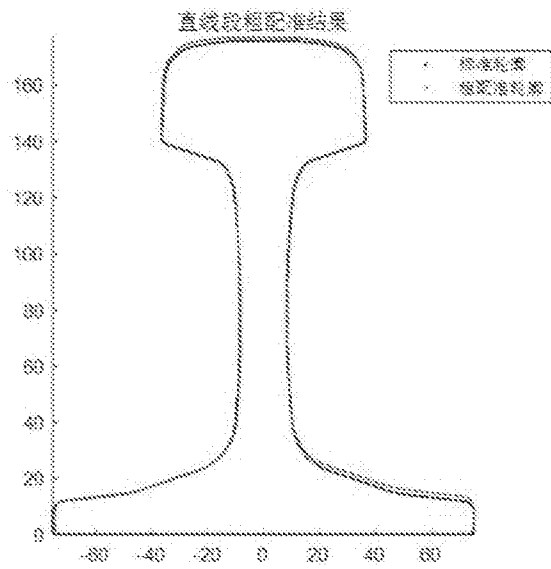
[图 30]



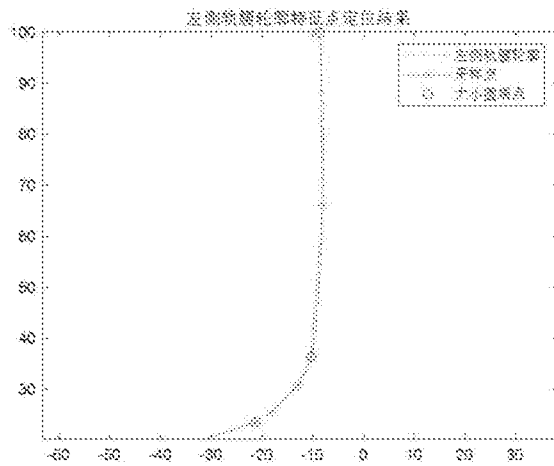
[图 31]



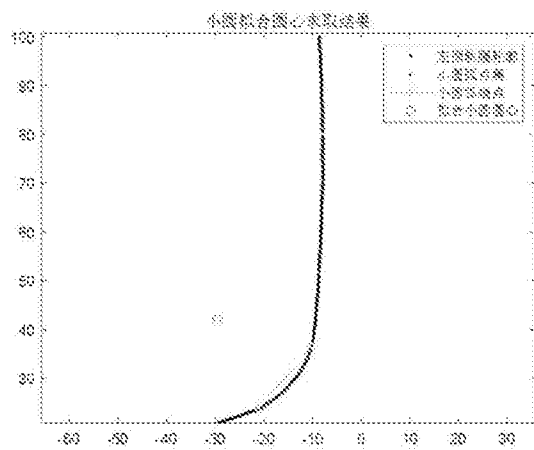
[图 32]



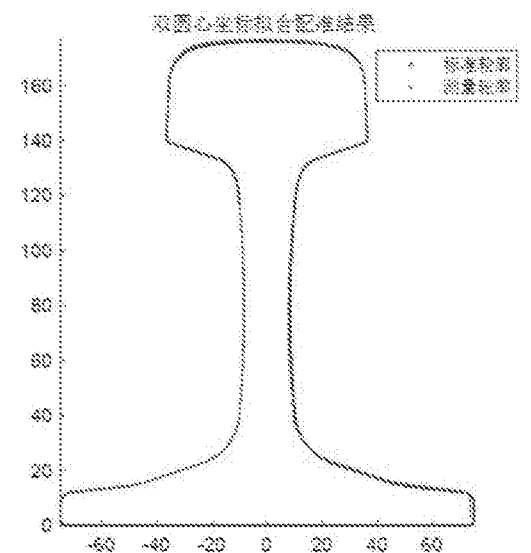
[图 33]



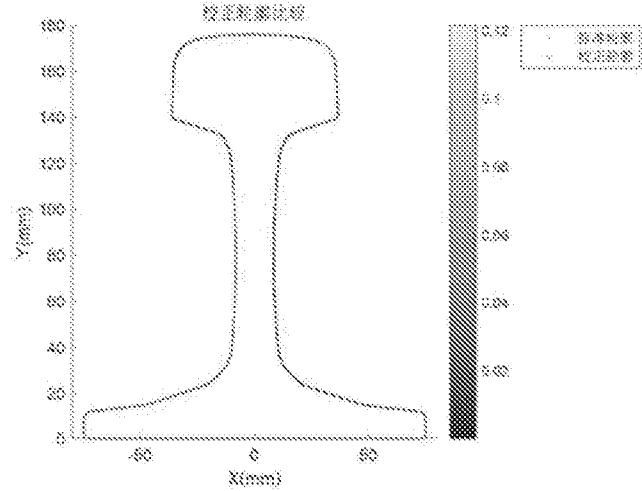
[图 34]



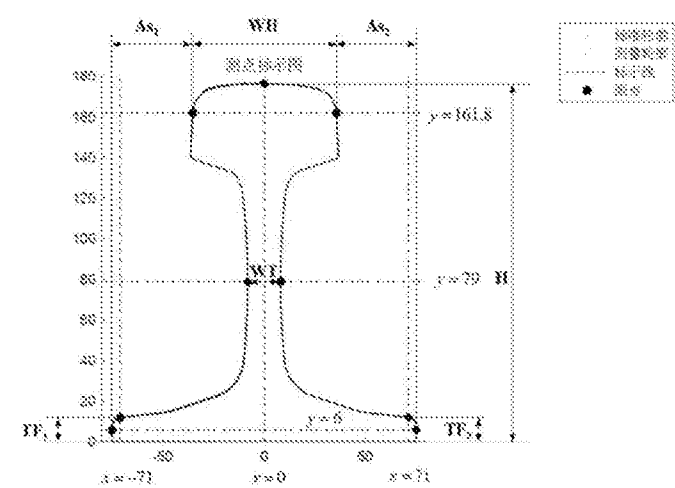
[图 35]



[图 36]



[图 37]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/139807

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/25(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, 万方, WANFANG, 百度, BAIDU: 钢轨, 轮廓, 相机, 摄像, 激光, 十字, 棋盘格, 移, 光条, 中心, 坐标, 转换, 失真, 投影, 校正, 校准, 标定, 双圆, 匹配, 配准, ICP, 迭代, 精, 粗, 标示线, 拟合, 标准, 误差, 模型, 训练, 光平面, ROI, 感兴趣, Hessian, 像素, 交叉, 去噪, 阈值, Spline, 样条, 插值, 补全, 扭曲, 弯, 折, RANSAC, 随机采样, 筛, 干扰, 类, 道格拉斯, 对称, 辅助, 纵向, 向量, 中点, 大圆; USTXT, WOTXT, EPTXT, VEN, IEEE: rail, outline, shape, camera, laser, cross, checker, move, striation, bar, centre, coordinate, transform, distortion, projection, revise, calibrate, demarcate, match, ICP, standard, criterion, error, model, train, ROI, interest, Hessian, pixel, denoising, Spline, interpolation, RANSAC, Douglas, auxiliary, circle

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 109017867 A (HUNAN UNIVERSITY) 18 December 2018 (2018-12-18) description, paragraphs 2-87, and figures 1-11	1-3, 10
Y	CN 109798844 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 24 May 2019 (2019-05-24) description, paragraphs 49-79	1-3, 10
Y	CN 112414318 A (HANGZHOU SHENHAO TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 February 2021 (2021-02-26) description, paragraphs 42-85, and figures 1-10	1-3, 10
A	CN 110615016 A (CHINA ACADEMY OF RAILWAY SCIENCES GROUP CO., LTD. et al.) 27 December 2019 (2019-12-27) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 August 2024

Date of mailing of the international search report

19 August 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/139807

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112614191 A (JIANGSU ZIKOO INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 06 April 2021 (2021-04-06) entire document	1-10
A	CN 104677305 A (ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY) 03 June 2015 (2015-06-03) entire document	1-10
A	CN 116091531 A (TIANJIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 09 May 2023 (2023-05-09) entire document	1-10
A	WO 2018046948 A1 (UNIVERSITY OF WARWICK) 15 March 2018 (2018-03-15) entire document	1-10
A	张晓宇 (ZHANG, Xiaoyu). "基于激光三维扫描的路面表观三维重构与构造深度指标提取 (Non-official translation: 3D Reconstruction of Road Surface and Extraction of Structural Depth Index Based on 3D Laser Scanning)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑 (China Master's Theses Full-Text Database, Engineering Science & Technology II), No. 6, 15 June 2022 (2022-06-15), ISSN: 1674-0246, pages 1-76	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/139807

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109017867	A	18 December 2018	CN	109017867	B	25 May 2021
CN	109798844	A	24 May 2019	CN	109798844	B	28 July 2020
CN	112414318	A	26 February 2021	CN	112414318	B	30 September 2022
CN	110615016	A	27 December 2019	CN	110615016	B	14 August 2020
CN	112614191	A	06 April 2021	CN	112614191	B	24 May 2024
CN	104677305	A	03 June 2015	CN	104677305	B	05 September 2017
CN	116091531	A	09 May 2023	None			
WO	2018046948	A1	15 March 2018	GB	201615376	D0	26 October 2016

A. 主题的分类 G01B11/25(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:G01B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献																				
在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS,CNXTXT,CNKI,万方,百度,钢轨,轮廓,相机,摄像,激光,十字,棋盘格,移,光条,中心,坐标,转换,失真,投影,校正,校准,标定,双圆,匹配,配准,ICP,迭代,精粗,标示线,拟合,标准,误差,模型,训练,光平面,ROI,感兴趣,Hessian,像素,交叉,去噪,阈值,Spline,样条,插值,补全,扭曲,弯,折,RANSAC,随机采样,筛,干扰,类,道格拉斯,对称,辅助,纵向,向量,中点,大圆 USTXT, WOTXT,EPTXT,VEN,IEEE:rail,outline,shape,camera,laser,cross,checker,move,striation,bar,centre,coordinate,transform, distortion,projection,revise,calibrate,demarcate,match,ICP,standard,criterion,error,model,train,ROI,interest,Hessian,pixel, denoising,Spline,interpolation,RANSAC,Douglas,auxiliary,circle																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109017867 A (湖南大学) 2018年12月18日 (2018 - 12 - 18) 说明书2-87段,图1-11</td> <td>1-3,10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109798844 A (北京交通大学) 2019年5月24日 (2019 - 05 - 24) 说明书49-79段</td> <td>1-3,10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 112414318 A (杭州申昊科技股份有限公司) 2021年2月26日 (2021 - 02 - 26) 说明书42-85段,图1-10</td> <td>1-3,10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110615016 A (中国铁道科学研究院集团有限公司等) 2019年12月27日 (2019 - 12 - 27) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112614191 A (江苏智库智能科技有限公司) 2021年4月6日 (2021 - 04 - 06) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 109017867 A (湖南大学) 2018年12月18日 (2018 - 12 - 18) 说明书2-87段,图1-11	1-3,10	Y	CN 109798844 A (北京交通大学) 2019年5月24日 (2019 - 05 - 24) 说明书49-79段	1-3,10	Y	CN 112414318 A (杭州申昊科技股份有限公司) 2021年2月26日 (2021 - 02 - 26) 说明书42-85段,图1-10	1-3,10	A	CN 110615016 A (中国铁道科学研究院集团有限公司等) 2019年12月27日 (2019 - 12 - 27) 全文	1-10	A	CN 112614191 A (江苏智库智能科技有限公司) 2021年4月6日 (2021 - 04 - 06) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	CN 109017867 A (湖南大学) 2018年12月18日 (2018 - 12 - 18) 说明书2-87段,图1-11	1-3,10																		
Y	CN 109798844 A (北京交通大学) 2019年5月24日 (2019 - 05 - 24) 说明书49-79段	1-3,10																		
Y	CN 112414318 A (杭州申昊科技股份有限公司) 2021年2月26日 (2021 - 02 - 26) 说明书42-85段,图1-10	1-3,10																		
A	CN 110615016 A (中国铁道科学研究院集团有限公司等) 2019年12月27日 (2019 - 12 - 27) 全文	1-10																		
A	CN 112614191 A (江苏智库智能科技有限公司) 2021年4月6日 (2021 - 04 - 06) 全文	1-10																		
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
★ 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期 2024年8月14日		国际检索报告邮寄日期 2024年8月19日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 陈琳 电话号码 (+86) 020-28958430																		

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 104677305 A (浙江理工大学) 2015年6月3日 (2015 - 06 - 03) 全文	1-10
A	CN 116091531 A (天津理工大学) 2023年5月9日 (2023 - 05 - 09) 全文	1-10
A	WO 2018046948 A1 (UNIV WARWICK) 2018年3月15日 (2018 - 03 - 15) 全文	1-10
A	张晓宇. "基于激光三维扫描的路面表观三维重构与构造深度指标提取" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技 II 辑, 第6期, 2022年6月15日 (2022 - 06 - 15), ISSN: 1674-0246, 第1-76页	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/139807

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109017867	A	2018年12月18日	CN 109017867 B	2021年5月25日
CN	109798844	A	2019年5月24日	CN 109798844 B	2020年7月28日
CN	112414318	A	2021年2月26日	CN 112414318 B	2022年9月30日
CN	110615016	A	2019年12月27日	CN 110615016 B	2020年8月14日
CN	112614191	A	2021年4月6日	CN 112614191 B	2024年5月24日
CN	104677305	A	2015年6月3日	CN 104677305 B	2017年9月5日
CN	116091531	A	2023年5月9日	无	
WO	2018046948	A1	2018年3月15日	GB 201615376 D0	2016年10月26日