



(21) 申请号 202311716129.8

(22) 申请日 2023.12.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117724112 A

(43) 申请公布日 2024.03.19

(73) 专利权人 安徽建筑大学
地址 230000 安徽省合肥市经济技术开发区紫云路292号

(72) 发明人 俞家勇 曹承功 李姬喆 贺岩
吕德亮 胡善江 陶邦一 罗远
侯春鹤

(74) 专利代理机构 上海笃学志远专利代理事务
所(普通合伙) 31541
专利代理师 陈飞

(51) Int.Cl.

G01S 17/88 (2006.01)

G01S 17/86 (2020.01)

G01S 7/497 (2006.01)

G01C 13/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 117745839 A, 2024.03.22

审查员 苏娜娜

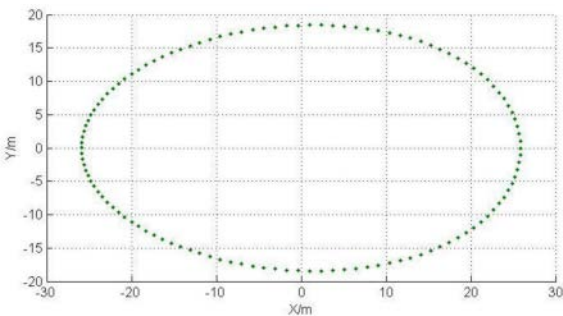
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法

(57) 摘要

本发明公开一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,涉及机载测深技术领域,包含以下步骤:a) 布设场地,依据设计方案,架设经过标定后的两台相机组建的立体量测系统和测深激光雷达;b) 设置机载测深激光雷达电机转速 $D(D \leq 50r/min)$ 进行开光扫描,同时利用立体量测系统完整拍摄下对应转速激光点的扫描轨迹,利用Hough方法检测出两张照片上对应激光点的扫描轨迹并进行拟合;c) 利用扫描点定位公式,求得每个扫描点对应的方向向量 V_s ;该方法可以解决机载测深激光雷达静态扫描角精确获取,实现测深激光雷达静态扫描角参数高精度获取。



1. 一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 具体包含以下步骤:

a) 布设场地, 依据设计方案, 架设经过标定后的两台相机组建的立体量测系统和测深激光雷达;

b) 设置机载测深激光雷达电机转速 D 进行开光扫描, $D \leq 50\text{r/min}$, 同时利用立体量测系统完整拍摄下对应转速激光点的扫描轨迹, 并利用Hough方法检测出两张照片上对应激光点的扫描轨迹并进行拟合, 获得扫描轨迹拟合方程 $F1, F2$;

c) 利用扫描点定位公式, 求得每个扫描点对应的方向向量 V_s , 该方向向量依据转换参数 $\varphi, \omega, \kappa, Dx, Dy, Dz$ 通过坐标转换转至立体相机坐标系获得对应方向向量 V_c ;

d) 将向量 V_c 根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独立坐标系下获得向量 Pa 和 Pb , 然后将光线向量 Pa 和 Pb 与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点 Ca 与 Cb ;

e) 将两交点 Ca 与 Cb 分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程中, 构建出包含扫描角参数与坐标转换参数 $\varphi, \omega, \kappa, Dx, Dy, Dz$ 的约束方程, 采用附有参数的条件平差作为平差模型, 依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α, β, θ ; 扫描角参数包括转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ 。

2. 根据权利要求1所述的一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 步骤a包括如下子步骤:

a1. 选择平整墙面作为扫描轨迹呈像参考平面, 扫描范围内平整度变化小于 1mm ;

a2. 在离平整墙面一定垂直距离且离地一定高度地方放置机载测深雷达, 确保设备放置后扫描轨迹能够完整显现在墙面上;

a3. 布设立体相机, 立体量测相机布设位置应保证立体量测相机坐标系与测深激光雷达自身轴系近似平行, 这样能够保证两坐标系转换角参数较小, 能够降低对初始值精度的要求;

a4. 架设全站仪, 建立独立局部坐标系, 坐标系轴向与测深激光雷达系统坐标系一致, 利用全站仪测量出立体量测相机坐标系与测深激光雷达坐标系初始转换参数。

3. 根据权利要求1所述的一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 步骤b包括如下子步骤:

b1. 开启机载测深激光雷达并开始数据记录工作, 设置转速 $D, D \leq 50\text{r/min}$, 使墙面呈现出扫描轨迹;

b2. 调整立体量测相机曝光参数和快门, 在机载测深激光雷达转速 D 模式下利用相机分别捕获完整扫描轨迹并进行相应的激光雷达数据记录;

b3. 通过基于Hough变换的椭圆检测方法从影像中提取出扫描点轨迹;

b4. 依据Hough变换方法检测出相片上拍摄的扫描点形成的轨迹, 利用最小二乘方法和蛋形曲线公式, 拟合两张照片拍摄的扫描轨迹点形成的拟合方程 $F1, F2$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 步骤c包括如下子步骤:

c1. 利用扫描点定位公式, 求得每个扫描点对应的方向向量 V_s ;

c2. 再将方向向量 V_s 依据激光雷达与立体量测系统坐标系间的转换参数 $\varphi, \omega, \kappa,$

Dx 、 Dy 、 Dz 通过坐标转换方式将 Vs 转至立体相机坐标系获得对应方向向量 Vc 。

5. 根据权利要求1所述的一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 所述步骤d包括如下子步骤:

d1. 将向量 Vc 分别根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独立坐标系下获得向量 Pa 和 Pb ;

d2. 然后将光线向量 Pa 和 Pb 与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点 Ca 与 Cb 。

6. 根据权利要求1所述的一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法, 其特征在于, 步骤e包括如下子步骤:

e1. 将两交点 Ca 与 Cb 分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程 $F1, F2$ 中, 构建出包含扫描角参数与坐标转换参数 φ 、 ω 、 κ 、 Dx 、 Dy 、 Dz 的约束方程, 扫描角参数包括转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ ;

e2. 采用附有参数的条件平差作为平差模型, 依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α 、 β 、 θ 。

一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机载测深技术领域,具体是一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,本研究得到国家自然科学基金(42106180)项目资助。

背景技术

[0002] 随着我国海洋活动急剧增加,海岸带、海岛礁、近岸水上水下地形、地形多变复杂潮间带等区域陆海过渡带一体化测量一直是国内外海洋测绘领域的一个难点问题。

[0003] 机载激光测深系统是海洋测绘先进技术的集中体现,具有高效、快速、陆海数据无缝获取等优势,是海岸带、海岛礁一体化测绘的首选方式。

[0004] 我国自主研发的机载激光测深系统已经具备工程应用能力,但存在光路系统的角度静态修正,光路系统中转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ 在扫描系统集成过程中利用自准直仪结合光学装校方案实现各个角度逐步校准,但是各个角度修正量会受上一步装调残留误差影响,这样会导致某些角度修正量与偏离真实修正值,而且系统集成后现有光学装校方法很难对光路系统的角度进行解耦精修正,无法对修正值进行检核。

[0005] 综上所述,研究机载测深激光雷达静态扫描角修正方法显得尤为必要。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,以解决上述背景技术中提出的技术问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0008] 一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,采用双相机立体量测原理进行模型构建,在机载测深激光雷达转速 D ($D \leq 50\text{r/min}$) 模式下对墙面进行扫描,通过立体量测相机获得两张包含扫描蛋型曲线扫描轨迹的照片以及对应时段扫描的波形数据后,以两张照片中的两个蛋形曲线建立立体像对约束,对于扫描数据轨迹应同时满足两张照片上的共线关系以及分别满足对应照片上的蛋型曲线方程,采用附有参数的条件平差作为平差模型,依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α 、 β 、 θ ,至此完成机载测深激光雷达静态扫描角精确修正。具体包含以下步骤:

[0009] 步骤a) 布设场地,依据设计方案,架设经过标定后的两台相机组建的立体量测系统和测深激光雷达;

[0010] 步骤b) 设置机载测深激光雷达电机转速 D ($D \leq 50\text{r/min}$) 进行开光扫描,同时利用立体量测系统完整拍摄下对应转速激光点的扫描轨迹,利用Hough方法检测出两张照片上对应激光点的扫描轨迹并进行拟合;

[0011] 步骤c) 利用扫描点定位公式,求得每个扫描点对应的方向向量 V_s ,该方向向量依据转换参数 φ 、 ω 、 κ 、 D_x 、 D_y 、 D_z 通过坐标转换转至立体相机坐标系获得对应方向向量 V_c ;

[0012] 步骤d) 将向量 V_c 根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独

立坐标系下获得向量Pa和Pb,然后将光线向量Pa和Pb与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点Ca与Cb;

[0013] 步骤e)将两交点Ca与Cb分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程中,构建出包含扫描角参数(转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ)与坐标转换参数 φ 、 ω 、 κ 、Dx、Dy、Dz的约束方程。采用附有参数的条件平差作为平差模型,依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α 、 β 、 θ ,至此完成机载测深激光雷达静态扫描角精确修正。

[0014] 作为本发明的进一步技术方案:所述模型构建中选择平整墙面作为扫描轨迹呈像参考平面,扫描范围内平整度变化小于1mm,在离平整墙面一定垂直距离且离地一定高度地方放置机载测深雷达,确保设备放置后扫描轨迹能够完整显现在墙面上。

[0015] 作为本发明的进一步技术方案:所述立体量测相机布设位置需要保证立体量测相机坐标系与测深激光雷达自身轴系近似平行。

[0016] 作为本发明的进一步技术方案:所述模型构建中需要架设全站仪,建立独立局部坐标系,坐标系轴向与测深激光雷达系统坐标系一致,利用全站仪测量出立体量测相机坐标系与测深激光雷达坐标系初始转换参数。

[0017] 作为本发明的进一步技术方案:所述数据的获取过程如下:

[0018] I、开启机载测深激光雷达并开始数据记录工作,设置转速D($D \leq 50\text{r/min}$),使墙面呈现出扫描轨迹,每次设置转换后等待相机拍摄照片;

[0019] II、调整立体量测相机曝光参数和快门,在机载测深激光雷达在转速D($D \leq 50\text{r/min}$)模式下利用相机分别捕获完整扫描轨迹影像数据并记录相应时间的雷达数据。

[0020] 作为本发明的进一步技术方案:所述静态扫描角参数包括转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ 。

[0021] 作为本发明的进一步技术方案:扫描角修正过程如下:

[0022] ①以某一组数据为例,当该组数据采集完成后对该组数据波形文件进行解析,获得距离解析文件,然后从立体量测相机中分别导出两张照片A和B;

[0023] ②分别对照片A和B利用Hough变换的椭圆检测方法从中提取出扫描点轨迹并进行拟合,获得两条蛋形曲线拟合方程F1,F2。

[0024] ③利用扫描点定位公式,求得每个扫描点对应的方向向量Vs;

[0025] ④再将方向向量Vs依据激光雷达与立体量测系统坐标系间的转换参数 φ 、 ω 、 κ 、Dx、Dy、Dz通过坐标转换方式将Vs转至立体相机坐标系获得对应方向向量Vc;

[0026] ⑤将向量Vc分别根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独立坐标系下获得向量Pa和Pb;

[0027] ⑥然后将光线向量Pa和Pb与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点Ca与Cb;

[0028] ⑦将两交点Ca与Cb分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程F1,F2中,构建出包含扫描角参数(转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ)与坐标转换参数 φ 、 ω 、 κ 、Dx、Dy、Dz的约束方程。

[0029] ⑧采用附有参数的条件平差作为平差模型,依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α 、 β 、 θ ;

[0030] 作为本发明的进一步技术方案:所述扫描点定位模型确定方法具体是:利用光线折射定律和光线追踪方法,以扫描部分中各个角度为理论基础建立起扫描点定位模型。

[0031] 作为本发明的进一步技术方案:扫描轨迹的自动化提取方法是:通过相机捕获蓝绿激光测深雷达扫描轨迹,利用自动化图像识别算法Hough变换的椭圆检测方法将扫描点转动轨迹从图像中提取出来。

[0032] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0033] 本发明在光线追踪模型的基础上,利用蓝绿激光可见特性、系统扫描轨迹蛋型曲线以及立体量测相机构建修正模型进行静态扫描角精校准,进而解决系统集成后光路系统角度解耦精修正问题。

附图说明

[0034] 图1为国产机载激光测深系统扫描轨迹图。

[0035] 图2为技术路线图。

[0036] 图3为静态扫描角参数和雷达坐标系建立图。

[0037] 图4为测深激光雷达实际扫描轨迹图。

[0038] 图5为测深激光雷达实际检测结果图。

[0039] 图6为一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法原理图。

[0040] 图7为入射光线与反射光线关系图。

具体实施方式

[0041] 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、完整的描述,显然,所描述的实施例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做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 本发明内容主要包括:

[0043] ①扫描点定位模型确定,根据国产机载蓝绿激光扫描结构,利用光线折射定律和光线追踪方法,以扫描部分中各个角度为理论基础建立起扫描点定位模型。

[0044] ②扫描轨迹自动化提取,通过相机捕获蓝绿激光测深雷达扫描轨迹,利用自动化图像识别算法将扫描点转动轨迹从图像中提取出来,为轨迹精确拟合、扫描角修正过程自动化处理提供技术保障。

[0045] ③一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,首先,使用扫描系统对某一立面进行扫描,在立面上呈现出完整的扫描轨迹曲线;其次,利用立体量测系统中的两台数码相机,设置相机曝光、快门值等参数分别对扫描轨迹进行拍摄获得扫描图案,并利用自动化提取算法从图像中提取出扫描轨迹;然后,根据扫描光线与平面相交点所形成的蛋型扫描轨迹,利用扫描轨迹经过坐标转换后应与立体量测相机拍摄的轨迹相符合共线这一关系,构建出一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法;最后,通过最小二乘方法计算各个角度精确参数。

[0046] 该项目研究目的是一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,实现机载测深雷达集成后的静态扫描角解耦精修正。解决当前国产机载蓝绿激光测深雷达产业化过程中,扫描角无法解耦精修正问题,提升该装备产业化中细节精度处理能力,突破和掌握精密测量与质量评估方法。

- [0047] 请参阅图1-图6,本发明公开了一种机载测深激光雷达静态扫描角修正方法,
- [0048] 首先,布设场地:
- [0049] a1.选择平整墙面作为扫描轨迹呈像参考平面,扫描范围内平整度变化小于1mm;
- [0050] a2.如图6所示,在离平整墙面一定垂直距离且离地一定高度地方放置机载测深雷达,确保设备放置后扫描轨迹能够完整显现在墙面上。
- [0051] a3.布设立体相机,立体量测相机布设位置应保证立体量测相机坐标系与测深激光雷达自身轴系近似平行,这样能够保证两坐标系转换角参数较小,一定程度上能够降低对初始值精度的要求;
- [0052] a4.架设全站仪,建立独立局部坐标系,坐标系轴向与测深激光雷达系统坐标系基本一致,利用全站仪测量出立体量测相机坐标系与测深激光雷达坐标系初始转换参数。
- [0053] 其中,进行数据获取:
- [0054] b1.开启机载测深激光雷达并开始数据记录工作,设置转速 D ($D \leq 50\text{r/min}$),使墙面(如图4)呈现出扫描轨迹;
- [0055] b2.调整立体量测相机曝光参数和快门,在机载测深激光雷达转速 D 模式下利用相机分别捕获完整扫描轨迹并进行相应的激光雷达数据记录。
- [0056] b3.通过基于Hough变换的椭圆检测方法从影像中提取出扫描点轨迹,如图5。
- [0057] b4.依据Hough变换方法检测出相片上拍摄的扫描点形成的轨迹,利用最小二乘方法和蛋形曲线公式,拟合两张照片拍摄的扫描轨迹点形成的拟合方程 F_1, F_2 ;
- [0058] 最后,进行扫描角静态修正:
- [0059] ①以某一组数据为例,当该组数据采集完成后对该组数据波形文件进行解析,获得距离解析文件,然后从立体量测相机中分别导出两张照片A和B;
- [0060] ②分别对照片A和B利用Hough变换的椭圆检测方法从中提取出扫描点轨迹并进行拟合,获得两条蛋形曲线拟合方程 F_1, F_2 。
- [0061] ③利用扫描点定位公式,求得每个扫描点对应的方向向量 V_s ;
- [0062] ④再将方向向量 V_s 依据激光雷达与立体量测系统坐标系间的转换参数 $\varphi, \omega, \kappa, D_x, D_y, D_z$ 通过坐标转换转方式将 V_s 转至立体相机坐标系获得对应方向向量 V_c ;
- [0063] ⑤将向量 V_c 分别根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独立坐标系下获得向量 P_a 和 P_b ;
- [0064] ⑥然后将光线向量 P_a 和 P_b 与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点 C_a 与 C_b ;
- [0065] ⑦将两交点 C_a 与 C_b 分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程 F_1, F_2 中,构建出包含扫描角参数(转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ)与坐标转换参数 $\varphi, \omega, \kappa, D_x, D_y, D_z$ 的约束方程。
- [0066] ⑧采用附有参数的条件平差作为平差模型,依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α, β, θ ;
- [0067] 工作原理如下:
- [0068] (1) 扫描点公式推导
- [0069] 在辅助坐标系下可得如图3所示结果;
- [0070] 入射光线 A_i :

$$[0071] \quad A_i = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha) \\ 0 \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0072] α 为转轴与发射激光光轴夹角；

[0073] 法线N：

$$[0074] \quad N = \begin{bmatrix} \sin(\beta) * \cos(\theta) \\ \sin(\beta) * \cos(\theta) \\ -\cos(\beta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0075] β 为转轴与转镜法线夹角， θ 为转镜零位角；

[0076] 首先将入射光线 A_i 反向，再将反向的入射光 $-A_i$ 线围绕法线N旋转180度，既得反射光线 A_r 的位置和方向，如图7所示：

[0077] 旋转矩阵 R_a 为：

$$[0078] \quad R_a = \begin{bmatrix} 2\varphi^2 - 1 & 2\varphi\omega & 2\varphi\kappa \\ 2\varphi\omega & 2\omega^2 - 1 & 2\omega\kappa \\ 2\varphi\kappa & 2\omega\kappa & 2\kappa^2 - 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0079] 其中 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 分别对应法线三个方向分量。

[0080] 则反射光线为：

$$[0081] \quad A_r = R_a * (-A_i) \quad (4)$$

[0082] 此时得到在辅助坐标系下反射光线方向向量，再绕Y轴旋转 α 角度，转至扫描坐标系下，即得到反射光线在扫描坐标系下方向向量。

$$[0083] \quad R_b = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & 0 & -\sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0084] 当获得激光到目标点的距离S后，则扫描点 P_s 定位公式：

$$[0085] \quad P_s = S * R_b * (R_a * (-A_i)) \quad (6)$$

[0086] 入射光 A_i 为转至反射光线对应的旋转矩阵 R_a ；

[0087] A_i 为入射光线反向；

[0088] R_b 为辅助坐标系下反射光线方向向量转至扫描坐标系对应的旋转矩阵；

[0089] (2) 蛋形曲线公式：

[0090] 由图4可以看出，扫描的轨迹在图像上呈现一个蛋型曲线结构，呈现“一头大”、“一头小”的蛋型曲线。构建出一种蛋形曲线函数为：

$$[0091] \quad \frac{(a_e x^2 + b_e x + c_e)^2}{(d_e x + e_e)^2} + \left(\frac{y}{f_e}\right)^2 = 1 \quad (7)$$

[0092] 式中 $a_e, b_e, c_e, d_e, e_e, f_e$ 为蛋形曲线参数。

[0093] (3) Hough变换检测扫描轨迹：从扫描轨迹可知，国产机载测深雷达扫描图案是一个蛋形曲线，但同时也接近椭圆。实际扫描轨迹如图5所示，从图中可以看出，通过控制相机

曝光与快门参数,扫描轨迹在相片中清晰可见,能够与背景非常好地区分出来,由此可以通过基于Hough变换的椭圆检测方法从影像中提取出扫描点轨迹。

[0094] 随机Hough变换采用的是多对一的映射,这种随机采样会带来大量无效的计算,当点数很大时,算法的性能急剧下降,可以利用椭圆的几何特征降低参数的维度提高算法效率与准确度。在此基础上,针对Hough需进行改进,改进依赖定理如下:

[0095] 设平面上有一个椭圆,点c为椭圆中心,任取平面上一点p(不同于点c),点p距椭圆上点的最大距离一定大于点c距椭圆上点的最大距离。

[0096] 基于上述定理,首先对图像进行边缘检测,得到二值化的边缘轮廓图,将边缘图上的点坐标存入数组A。其次对图像上的每一点,计算与上一步所得数组A中点的距离,得到每一点距数组A中点的最大距离,所有点中最大距离对应最小的点,即是椭圆中心(P、Q),该最大距离即是椭圆长轴长度a。然后将数组A中每一点的数值和刚才得到的三个椭圆参数P、Q、a代入椭圆方程(8)中。

$$[0097] \quad \frac{[(x-P)\cos(\theta)+(y-Q)\sin(\theta)]^2}{a^2} + \frac{[-(x-P)\sin(\theta)+(y-Q)\cos(\theta)]^2}{b^2} = 1 \quad (8)$$

[0098] 其中:a、b为椭圆的长轴和短轴,P、Q为椭圆中心坐标, θ 为椭圆的旋转角度。

[0099] 最后,在对参数b、 θ 进行统计,得到峰值超过一定阈值的一组参数即为椭圆,从而实现扫描轨迹自动化检测。检测结果如图5:

[0100] (4) 扫描角静态修正方法如图6所示:

[0101] 激光雷达定位方程中既包含角度信息,也包含距离信息,为降低距离误差对角度影响,采用双相机立体量测原理进行模型构建。在机载测深激光雷达较低转速模式下($D < 50\text{rpm}$)对墙面进行扫描,通过立体相机获得两张包含扫描蛋型曲线扫描轨迹的照片以及对对应时段扫描的波形数据后,以两张照片中的两个蛋形曲线建立立体像对约束,对于扫描数据轨迹应同时满足在两张照片上的共线关系以及分别满足对应照片上的蛋型曲线方程;

[0102] 处理过程分为以下几个步骤:

[0103] ①以某一组数据为例,当该组数据采集完成后对该组数据波形文件进行解析,获得距离解析文件,然后从立体量测相机中分别导出两张照片A和B;

[0104] ②分别对照片A和B利用Hough变换的椭圆检测方法从中提取出扫描点轨迹并进行拟合,获得两条蛋形曲线拟合方程F1,F2。

[0105] ③利用扫描点定位公式,求得每个扫描点对应的方向向量Vs;

[0106] ④再将方向向量Vs依据激光雷达与立体量测系统坐标系间的转换参数 φ 、 ω 、 κ 、Dx、Dy、Dz通过坐标转换方式将Vs转至立体相机坐标系获得对应方向向量Vc;

[0107] 所有坐标转换矩阵均采用欧拉角模型的旋转矩阵,该矩阵由 φ 、 ω 、 κ 三个欧拉角表示:

$$[0108] \quad R_s(\varepsilon) = R_x(\varphi)R_y(\omega)R_z(\kappa)$$

[0109] 其中, $R_x(\varphi)$ 为绕x轴的旋转矩阵, φ 为绕X轴转动角度, $R_y(\omega)$ 为绕y轴的旋转矩阵, ω 为绕Y轴转动角度, $R_z(\kappa)$ 为绕z轴的旋转矩阵, κ 为绕Z轴转动角度,3个独立旋转矩阵如下式所示:

$$[0110] \quad R_x(\varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}$$

$$[0111] \quad R_y(\omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & -\sin \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega & 0 & \cos \omega \end{bmatrix}$$

$$[0112] \quad R_z(\kappa) = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0113] 坐标转换模型如下：

$$[0114] \quad \begin{bmatrix} X_i' \\ Y_i' \\ Z_i' \end{bmatrix}_{V_c} = R_s \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}_{V_s} + \begin{bmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{bmatrix}$$

[0115] Dx, Dy, Dz 为平移参数, X_i', Y_i', Z_i' 为转换后坐标, X_i, Y_i, Z_i 转换前坐标;

[0116] ⑤将向量 V_c 分别根据两个相机在立体相机坐标系下的外方位元素转至各相机独立坐标系下获得向量 Pa 和 Pb ;

[0117] ⑥然后将光线向量 Pa 和 Pb 与各自所在相机的像平面相交求解出对应像点 Ca 与 Cb ;

[0118] ⑦将两交点 Ca 与 Cb 分别代入各相片上对应的蛋形曲线方程 $F1, F2$ 中, 构建出包含扫描角参数 (转轴与发射激光光轴夹角 α 、转轴与转镜法线夹角 β 、转镜零位角 θ) 与坐标转换参数 $\varphi, \omega, \kappa, Dx, Dy, Dz$ 的约束方程。

[0119] ⑧采用附有参数的条件平差作为平差模型, 依据最小二乘准则迭代求解静态扫描角参数 α, β, θ 。

[0120] 对于本领域技术人员而言, 显然本发明不限于上述示范性实施例的细节, 而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下, 能够以其他的具体形式实现本发明。因此, 无论从哪一点来看, 均应将实施例看作是示范性的, 而且是非限制性的, 本发明的范围由所附权利要求要求而不是上述说明限定, 因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

[0121] 此外, 应当理解, 虽然本说明书按照实施方式加以描述, 但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案, 说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见, 本领域技术人员应当将说明书作为一个整体, 各实施例中的技术方案也可以经适当组合, 形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

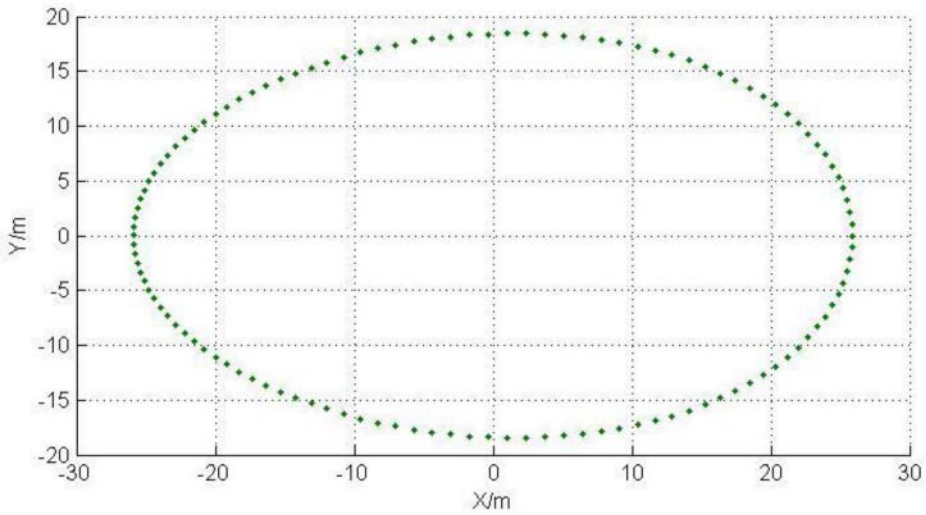


图1

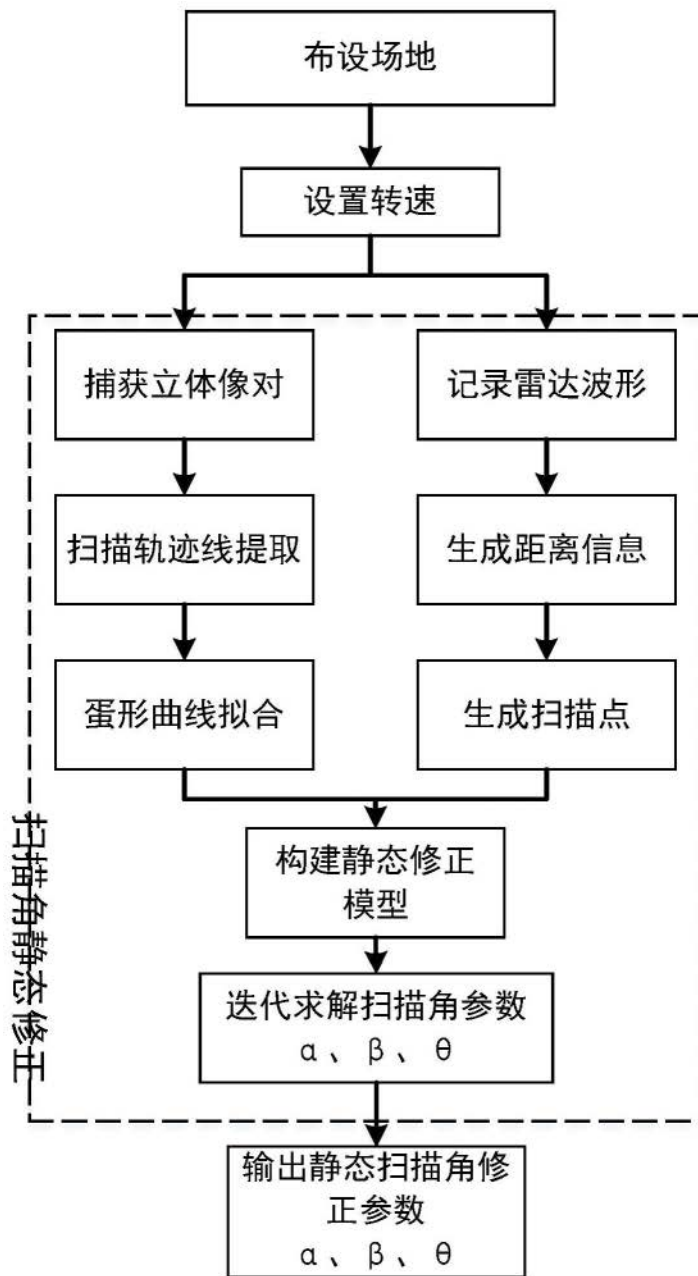


图2

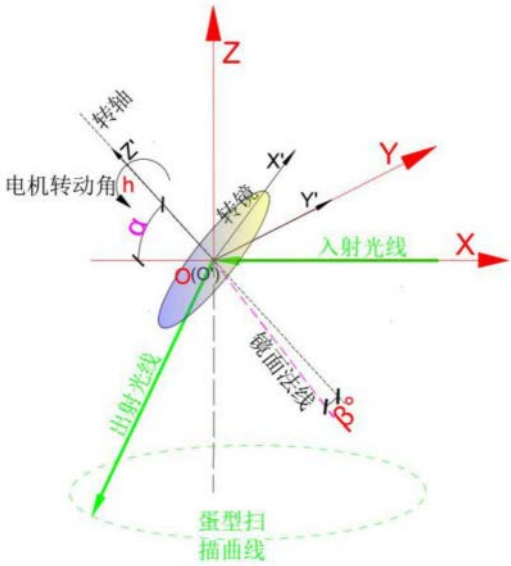


图3

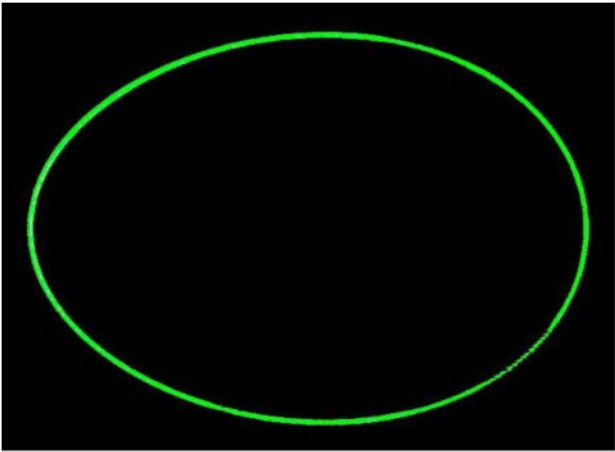


图4

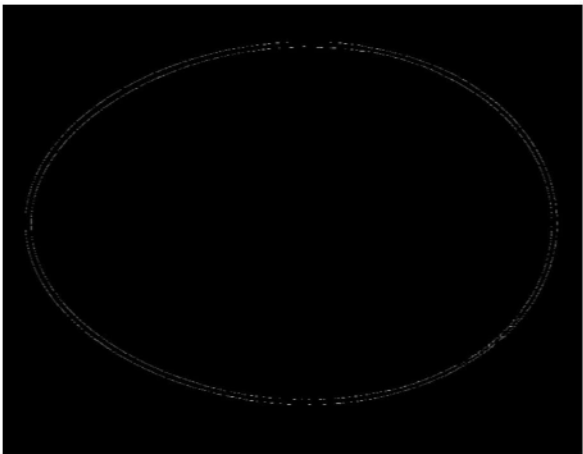


图5

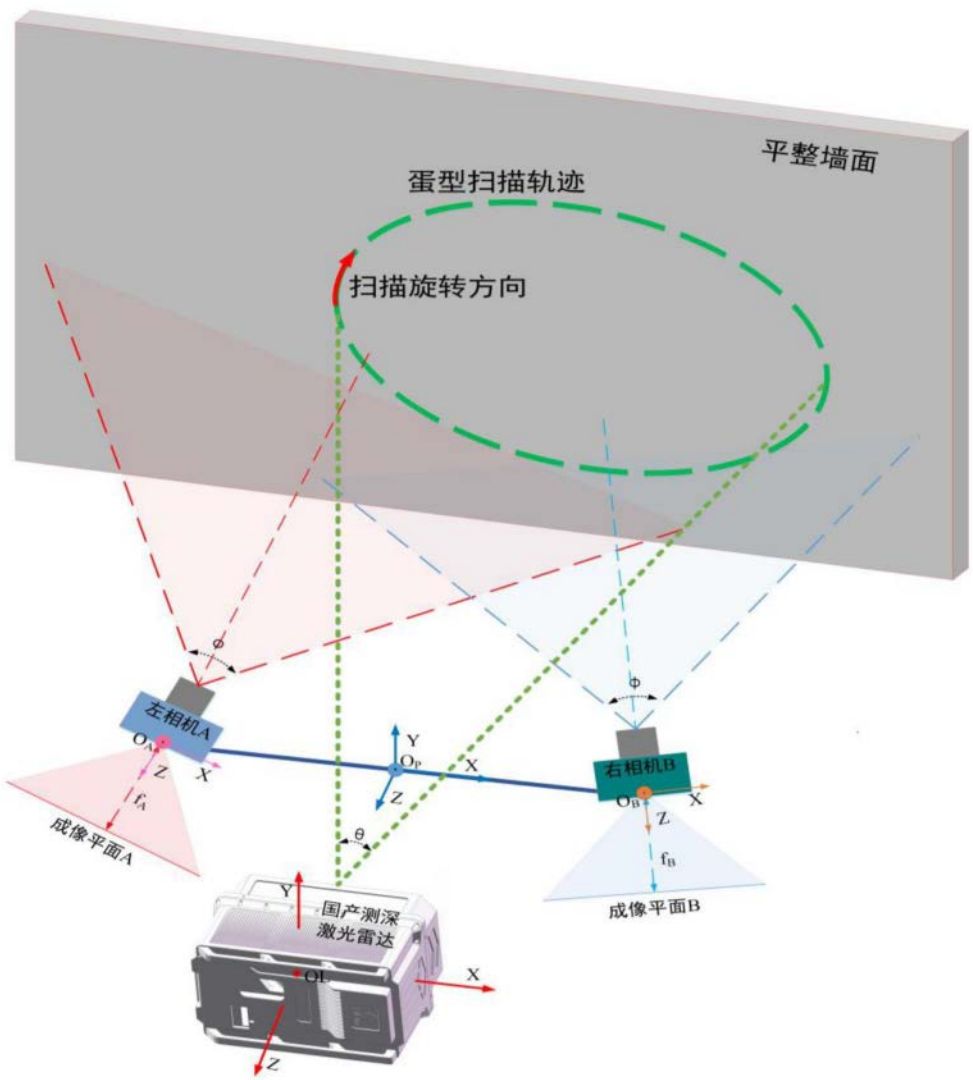


图6

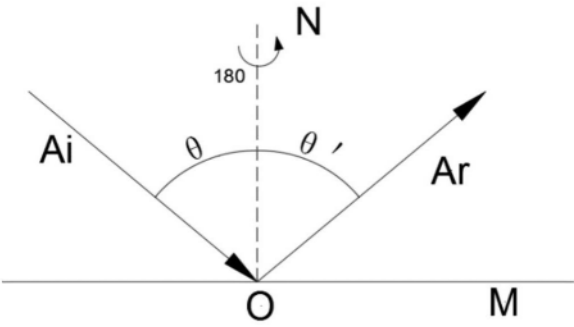


图7