

(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
2024 年 10 月 3 日 (03.10.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/197815 A1

(51) 国际专利分类号:

G01C 21/20 (2006.01) **G01S 7/48** (2006.01)

G01C 21/00 (2006.01) **G01S 17/86** (2020.01)

G01C 21/16 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/085476

(22) 国际申请日: 2023 年 3 月 31 日 (31.03.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

202310296460.2 2023年3月24日 (24.03.2023) CN

(71) 申请人: 华侨大学 (HUAQIAO UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国福建省泉州市丰泽区域华北路
269号, Fujian 362000 (CN)。

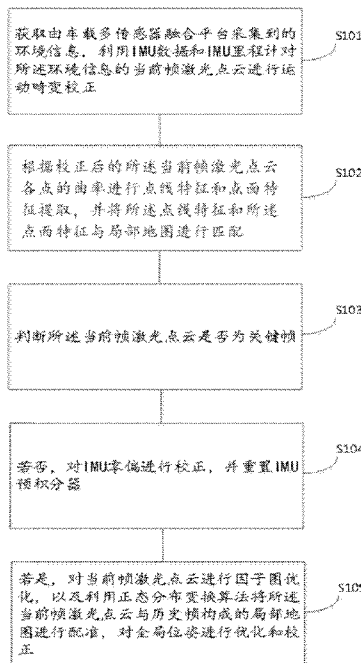
(72) 发明人: 任好玲 (REN, Haoling); 中国福建省泉州市
丰泽区域华北路, Fujian 362000 (CN)。 吴江东
(WU, Jiangdong); 中国福建省泉州市丰泽区域华北
路, Fujian 362000 (CN)。 林添良 (LIN, Tianliang);
中国福建省泉州市丰泽区域华北路, Fujian 362000
(CN)。 缪骋 (MIU, Cheng); 中国福建省泉州市丰泽
区域华北路, Fujian 362000 (CN)。 姚瑜 (YAO, Yu);
中国福建省泉州市丰泽区域华北路, Fujian 362000
(CN)。 张春晖 (ZHANG, Chunhui); 中国福建省泉
州市丰泽区域华北路, Fujian 362000 (CN)。 林
元正 (LIN, Yuanzheng); 中国福建省泉州市丰泽
区域华北路, Fujian 362000 (CN)。

(74) 代理人: 厦门智慧呈睿知识产权代理事务所 (普
通 合 伙) (XIAMEN WISDOM INTELLECTUAL
PROPERTY FIRM (GENERAL PARTNERSHIP)); 中

(54) Title: ENGINEERING MACHINERY MAPPING METHOD AND DEVICE, AND READABLE STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质

[图 1]



S101 Acquire environmental information collected by a vehicle-mounted multi-sensor fusion platform, and perform motion distortion correction on the current frame of a laser point cloud of the environmental information by using IMU data and an IMU odometer

S102 Read a mirror-image file written into the current version of firmware, wherein the mirror-image file comprises a user data mirror-image file, and a feature file in an OTA differential intermediate package corresponding to the current version of firmware

S103 Determine whether the current frame of the laser point cloud is a key frame

S104 If not, correct an IMU bias, and reset an IMU pre-integrator

S105 If so, perform factor graph optimization on the current frame of the laser point cloud, perform, by using a normal distribution transformation algorithm, registration on the current frame of the laser point cloud and a local map consisting of historical frames, and optimize and correct a global pose

(57) Abstract: Provided in the present invention are an engineering machinery mapping method and device, and a readable storage medium. The key points of the technical solution lie in: performing motion distortion correction on the current frame of a laser point cloud by using IMU data and an IMU odometer; extracting point-line and point-plane features according to the curvature of each point of the current frame of the laser point cloud, and matching a local map with the current frame of the laser point cloud; performing factor graph optimization on a key frame; correcting an IMU bias according to an outputted laser odometer, resetting an IMU pre-integrator,

[见续页]



国福建省厦门市集美区集美大道 1302 号, Fujian 361000 (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))。

and outputting the IMU odometer; and when the current frame of the laser point cloud satisfies a loop closure detection condition, performing loop closure detection on the current frame of the laser point cloud by using a normal distribution transformation algorithm, and updating a global pose. In this way, a mapping problem in an engineering machinery degradation scenario is solved, and rapid mapping and positioning in a large scenario are realized.

(57) 摘要: 本发明提供了一种工程机械的建图方法、设备、及可读存储介质, 其技术方案要点是利用IMU数据和IMU里程计对当前帧激光点云进行运动畸变校正, 根据所述当前帧激光点云各点曲率提取点线、点面特征, 将局部地图与所述当前帧激光点云进行匹配, 并对关键帧进行因子图优化。根据输出的激光里程计对IMU零偏进行校正, 对IMU预积分器进行重置, 输出IMU里程计。当所述当前帧激光点云满足回环检测条件时, 利用正态分布变换算法对所述当前帧激光点云进行回环检测, 并更新全局位姿, 解决了工程机械退化场景下的建图问题, 并实现了大场景下的快速建图与定位。

说明书

发明名称: 一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质技术领域

[0001] 本发明涉运动建图领域，特别涉及一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质。

背景技术

[0002] 工程机械在工程建设领域有着广泛的应用，随着全球科技的不断发展，工程机械智能化已成为未来的发展趋势。工程机械智能化包括了产品及施工智能化、制造智能化、服务智能化和管理智能化，而工程机械无人驾驶属于产品及施工智能化范畴，其指代的是工程机械在无人干预的情况下，能够自主完成相应的行走和作业任务。

[0003] 一般认为，无人驾驶工程机械包括环境感知、整车定位、决策规划、运动控制和自动作业五大模块。其中，整车定位是实现决策规划、运动控制和自动作业的基础。不同于普通乘用车，工程机械工况复杂、作业环境恶劣，单一传感器并不能满足工程机械整车高精度、高鲁棒性定位需求。

[0004] 目前无人驾驶整车技术主要应用在汽车领域，在工程机械领域的相关技术研究相对较少。现有的无人驾驶工程机械整车定位技术多以单传感器定位为主，其存在建图速度慢、建图易退化、定位鲁棒性低等问题。

[0005] 有鉴于此，提出本申请。

[0006] 发明内容

[0007] 本发明公开了一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质，旨在解决工程机械建图速度慢、建图易退化、定位鲁棒性低等问题

[0008] 本发明第一实施例提供了一种工程机械的建图方法，包括：

[0009] 获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；

[0010] 根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配；

- [0011] 判断所述当前帧激光点云是否为关键帧；
- [0012] 若否，对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器；
- [0013] 若是，对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。
- [0014] 优选地，所述获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正，具体为：
- [0015] 对所述IMU数据进行预积分，获取激光雷达从所述当前帧激光点云结束扫描时刻到起始扫描时刻的坐标变换矩阵；
- [0016] 利用所述坐标变换矩阵对所述当前帧激光点云进行运动畸变校正；其中，所述坐标变换矩阵为：

$$T_i^k = \frac{t_i - t_k}{t_{k+1} - t_k} T_{k+1}^k;$$

$$P_k^i = T_i^k P_i$$

- [0017] 其中， T_i^k 为当前帧激光点云各点相对于起始扫描时刻的坐标变换矩阵， T_{k+1}^k 为激光雷达从扫描终止时刻到扫描起始时刻的坐标变换矩阵， t_i 为当前帧激光点云各点在扫描周期内的测量时间， t_k 为扫描起始时刻， t_{k+1} 为扫描终止时刻， P_k^i 为当前帧激光点云各点在起始扫描时刻激光雷达坐标系下的坐标， P_i 为当前帧激光点云各点在当前时刻激光雷达坐标系下的坐标。

- [0018] 优选地，所述根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配，具体为：

- [0019] 调用曲率计算模型，生成当前帧激光点云各点曲率，所述曲率计算模型具体如下：

$$K = \left(\sum_{j=-5}^{11} (d_i - d_{i+j}) \right)^2$$

- [0020] 其中， K 为激光点云第 i 点的曲率， d_i 为第 i 点距离激光雷达坐标系原点的距离， $d_{i+j}(j=-5, -4, \dots, 5)$ 为第 i 点前后五个激光点距离激光雷达坐标系原点的距离；

[0021] 根据预设的曲率阈值对所述当前帧激光点云进行特征提取和划分，所述当前帧激光点云各点曲率大于所述曲率阈值的点判定为角点，反之则判定为面点；

[0022] 对所述角点和面点进行体素滤波，生成当前帧特征点云；

[0023] 利用kd树在所述局部地图中寻找与所述当前帧特征点云中的角点特征最相近的点并连接成线，并生成所述当前帧特征点云中的角点到该线的距离，计算模型具体如下：

$$d_e = \frac{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,j}^W \end{pmatrix} \right| \times \left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,l}^W \end{pmatrix} \right|}{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,j}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,l}^W \end{pmatrix} \right|} ;$$

[0024] 其中， $\mathbf{x}_{k+1,i}^W$ 为k+1时刻的当前帧特征点云中的第i个角点在世界坐标系下的坐标点， $\mathbf{x}_{k,j}^W$ 和 $\mathbf{x}_{k,l}^W$ 为第i个角点在局部地图中对应的边线特征上的两个世界坐标系下的坐标点；

[0025] 对于当前帧特征点云中的面点特征，利用kd树在所述局部地图中寻找与之最相近的五点，并构建如下平面方程：

[0026] $Ax + By + Cz + D = 0$ ；

[0027] 其中，A、B、C、D为平面方程系数，x、y、z为所述局部地图中与所述当前帧特征点云面点特征最相近的五点坐标；

[0028] 将局部地图中与当前帧特征点云面点特征对应的五点坐标代入平面方程中，以获得所述平面方程的系数，并根据平面方程系数求解出当前帧特征点云的面点到局部地图特征平面的距离，计算模型如下：

$$d_H = \frac{Ax_p + By_p + Cz_p + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

[0029] 其中， $\mathbf{x} = [x_p, y_p, z_p]^T$ 为当前帧特征点云中的面点在世界坐标系下的坐标；

[0030] 根据当前帧激光点云角点与局部地图对应的边线特征的距离和当前帧激光点云面点与局部地图对应的平面特征的距离构建如下残差方程：

$$f = D(\mathbf{x}_{k+1,i}^W, m) = D(G(\mathbf{x}_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W), m)$$

$$\mathbf{x}_{k+1,i}^W = G(\mathbf{x}_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W) = R \cdot \mathbf{x}_{k+1,i}^L + t$$

[0031] 其中, $x_{k+1,i}^W$ 为当前帧特征点云第i点在世界坐标系下的坐标, $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第i点在激光雷达坐标系下的坐标, T_{k+1}^W 为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵, m则为世界坐标系下的局部地图, R和t分别为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的旋转矩阵和平移矩阵;

[0032] 利用所述残差方程结合列文伯格算法构建如下迭代方程:

$$(J^T J + \mu I) \cdot \Delta T = -J^T f$$

$$J = \frac{\partial f}{\partial T_{k+1}^W} = \frac{\partial D(G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W), m)}{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W)} \cdot \frac{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W)}{\partial T_{k+1}^W}$$

[0033] 其中, J为残差方程相对于迭代变量的雅可比矩阵, μ 为对角更新算子, I为单位矩阵, ΔT 为单次迭代变量增量, f为残差方程, $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第i点在激光雷达坐标系下的坐标, T_{k+1}^W 为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵, m则为世界坐标系下的局部地图;

[0034] 计算特征匹配的残差总和, 计算模型如下:

$$d = \sum_{i=1}^m d_{ei} + \sum_{j=1}^n d_{Hj};$$

[0035] 其中, d_{ei} 为当前帧特征点云第i个角点与局部地图对应边线特征的残差值, d_{Hj} 为当前帧特征点云第j个面点与局部地图对应平面特征的残差值, m和n分别为当前帧特征点云中角点和面点的数量;

[0036] 根据特征匹配的残差总和进行对角更新算子更新, 当残差总和过大, 则增大对角算子, 反之则减小对角算子。

[0037] 优选地, 所述对IMU零偏进行校正, 并重置IMU预积分器, 具体为:

[0038] 分别定义用于优化IMU零偏的预积分器和用于计算所述IMU里程计预积分器;

[0039] 获取激光里程计并更新因子图, 并判断更新后的因子图中因子树是否超过预设值, 若超过则重新构建因子图;

[0040] 将当前帧激光点云与上一帧激光点云之间的IMU原始数据预积分因子、零偏因子以及当前帧激光里程计因子加入更新后的因子图中;

- [0041] 以用于优化IMU零偏的预积分器估计的位姿和速度作为当前帧位姿因子、当前帧速度因子的估计值，以上一帧优化的零偏作为当前帧零偏因子的估计值，进行因子图优化，生成优化更新后的速度和零偏；
- [0042] 利用优化更新后的零偏，重置用于优化IMU零偏的预积分器；
- [0043] 对所述优化更新后的速度和零偏进行检验，如果不满足检验要求则重新构建因子图进行优化；
- [0044] 利用所述优化更新后的零偏重置所述用于计算所述IMU里程计预积分器，并对所述当前帧激光点云时刻后的IMU原始数据进行预积分，得到预积分结果；
- [0045] 利用所述因子图优化得到的所述当前帧激光点云时刻的状态和IMU零偏，结合所述预积分结果，对所述当前帧激光点云时刻后的状态进行估计，并作为高频里程计输出。
- [0046] 优选地，所述对当前前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正，具体为：
- [0047] 在判断到当前帧激光点云为关键帧时，基于激光里程计调用回环检测线程；
- [0048] 根据所述回环检测线程判断历史关键帧集合中是否有与所述当前关键帧相近的历史关键帧；
- [0049] 若有，则判断相近的历史关键帧与当前关键帧的时间戳间隔是否大于阈值，若大于阈值，则利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵；
- [0050] 利用所述相对坐标变换矩阵优化和校正所述全局位姿。
- [0051] 优选地，所述利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵，具体为：
- [0052] 将相近的历史关键帧作为目标点云进行栅格化，在各栅格均符合正态分布下，计算出所述各栅格激光点云分布的概率密度函数，其计算模型如下：

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(x-\bar{q})^T \Sigma^{-1} (x-\bar{q})}{2\sigma^2}}$$

[0053] 其中，D为向量维数， $\vec{q}$ 为均值向量， Σ 为随机向量的协方差矩阵；

[0054] 将目标点云放入各栅格中，计算所述各栅格中激光点云数据的均值，其计算模型如下：

$$\vec{q} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \vec{x}_k$$

[0055] 其中， $\vec{x}_{k=1,2,3,\dots,m}$ 为单个栅格内的点云所有点的坐标；

[0056] 利用协方差计算公式计算出各栅格中点云数据的协方差，其计算模型如下：

$$\Sigma = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (\vec{x}_k - \vec{q})(\vec{x}_k - \vec{q})^T$$

[0057] 将当前关键帧放入各栅格中作为正态分布变换算法点云配准的源点云，计算源点云各点在各栅格的概率，其计算模型体如下：

$$p(\vec{x}) = \frac{1}{2^{\frac{D}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(\vec{x}-\vec{q})^T \Sigma^{-1} (\vec{x}-\vec{q})}{2}}$$

[0058] 将源点云各点在各栅格的概率相乘得到最大似然函数，当所述最大似然函数达到最大值时，此时的相对坐标变换矩阵为最优解，其计算模型体如下：

$$\psi = \prod_{k=1}^n p(\vec{x})$$

$$\vec{x} = R_{3 \times 3} \vec{x}_i + t_{3 \times 1} = T \vec{x}_i$$

[0059] 其中， $R_{3 \times 3}$ 为源点云相对于目标点云的旋转矩阵， $t_{3 \times 1}$ 为源点云相对于所述目标点云的平移矩阵， T 为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵， $\vec{x}$ 为源点云各点在目标点云坐标系下的坐标， $\vec{x}_i$ 为源点云各点在自身坐标系下的坐标；

[0060] 将最大似然函数两端取对数化，其计算模型体如下：

$$-\log \psi = -\sum_{k=1}^n \log(p(\vec{x}))$$

[0061] 利用牛顿迭代法对最大似然函数的最大值进行求解，将源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵作为迭代变量，通过不断沿梯度下降的方向更新迭代变量来求解最大似然函数最大值对应的所述坐标变换矩阵，其计算模型体如下：

$$H\Delta\vec{p} = -\vec{g}$$

$$T = T + \Delta T$$

[0062] 其中，H为最大似然函数的黑塞矩阵， $\vec{g}$ 为最大似然函数的梯度向量，T为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵。

[0063] 本发明第二实施例提供了一种工程机械的建图装置，包括：

[0064] 畸变校正单元，用于获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；

[0065] 地图匹配单元，用于根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配；

[0066] 判断单元，用于判断所述当前帧激光点云是否为关键帧；

[0067] IMU校正单元，用于对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器；

[0068] 全局优化单元，用于对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。

[0069] 本发明第三实施例提供了一种工程机械的建图设备，包括存储器以及处理器，所述存储器内存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述处理器执行，以实现如上任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[0070] 本发明第四实施例提供了一种计算机可读存储介质，其特征在于，存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述计算机可读存储介质所在设备的处理器执行，以实现如上任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[0071] 基于本发明实施例提供的一种工程机械的建图方法、设备、及可读存储介质，其技术方案要点是利用IMU数据和IMU里程计对当前帧激光点云进行运动畸变校正，根据所述当前帧激光点云各点曲率提取点线、点面特征，将局部地图与所述当前帧激光点云进行匹配，并对关键帧进行因子图优化。根据输出的激光里程计对IMU零偏进行校正，对IMU预积分器进行重置，输出IMU里程计。当所述当前帧激光点云满足回环检测条件时，利用正态分布变换算法对所述当前帧激光点云进行回环检测，并更新全局位姿，解决了工程机械退化场景下的建图问题，并实现了大场景下的快速建图与定位。

附图说明

[0072] 图1是本发明第一实施例提供的一种工程机械的建图方法的流程示意图；

[0073] 图2是本发明第二实施例提供的一种工程机械的建图装置的模块示意图。

具体实施方式

[0074] 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。

[0075] 为了更好的理解本发明的技术方案，下面结合附图对本发明实施例进行详细描述。

[0076] 应当明确，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。

[0077] 在本发明实施例中使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的，而非旨在限制本发明。在本发明实施例和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式，除非上下文清楚地表示其他含义。

[0078] 应当理解，本文中使用的术语“和/或”仅仅是一种描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如，A和/或B，可以表示：单独存在A，同时存在A和B，单独存在B这三种情况。另外，本文中字符“/”，一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

[0079] 取决于语境，如在此所使用的词语“如果”可以被解释成为“在……时”或“当……时”或“响应于确定”或“响应于检测”。类似地，取决于语境，短语“如果确定”或“如果检测(陈述的条件或事件)”可以被解释成为“当确定时”或“响应于确定”或“当检测(陈述的条件或事件)时”或“响应于检测(陈述的条件或事件)”。

[0080] 实施例中提及的“第一\第二”仅仅是是区别类似的对象，不代表针对对象的特定排序，可以理解地，“第一\第二”在允许的情况下可以互换特定的顺序或

先后次序。应该理解“第一\第二”区分的对象在适当情况下可以互换，以使这里描述的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。

[0081] 以下结合附图对本发明的具体实施例做详细说明。

[0082] 本发明公开了一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质，旨在解决工程机械建图速度慢、建图易退化、定位鲁棒性低等问题

[0083] 请参阅图1，本发明第一实施例提供了一种工程机械的建图方法，其可由工程机械的建图设备来执行，特别的，由建图设备内的一个或者多个处理器来执行，以至少实现如下步骤：

[0084] S101,获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；

[0085] 在本实施例中，所述建图设备可以为台式电脑、笔记本电脑、服务器、工作站等具有数据处理分析能力的终端，其中，所述建图设备内可安装有相应的操作系统以及应用软件，并通过操作系统以及应用软件的结合来实现本实施例所需的功能；其中，所述多传感器融合平台可以包括IMU传感器、激光雷达、激光里程计等传感设备。

[0086] 需要说明的是，激光雷达一帧点云数据是由激光雷达扫描一圈(360°)获得的，但在扫描一圈的周期里面，整车也是在高速运动的。这就导致不同扫描角度得到的点云坐标在扫描起始坐标系下的值是不准确的；

[0087] 具体地，在本实施例中，可以先对所述IMU数据进行预积分，获取激光雷达从所述当前帧激光点云结束扫描时刻到起始扫描时刻的坐标变换矩阵，其中，变换矩阵相当于每一扫描时刻相对于扫描起始时刻，整车的旋转量和平移量，然后把旋转和平移量转换为4*4的齐次坐标变换矩阵。

[0088] 利用所述坐标变换矩阵对所述当前帧激光点云进行运动畸变校正；其中，所述坐标变换矩阵为：

$$T_i^k = \frac{t_i - t_k}{t_{k+1} - t_k} T_{k+1}^k;$$

$$P_k^i = T_i^k P_i$$

[0089] 其中, T_i^k 为当前帧激光点云各点相对于起始扫描时刻的坐标变换矩阵, T_{k+1}^k 为激光雷达从扫描终止时刻到扫描起始时刻的坐标变换矩阵, t_i 为当前帧激光点云各点在扫描周期内的测量时间, t_k 为扫描起始时刻, t_{k+1} 为扫描终止时刻, P_i^k 为当前帧激光点云各点在起始扫描时刻激光雷达坐标系下的坐标, P_i 为当前帧激光点云各点在当前时刻激光雷达坐标系下的坐标。

[0090] S102,根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取,并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配;

[0091] 需要说明的是,地图本身就是由各帧提取的特征所组成的,匹配的作用就是获取当前帧相对于地图的坐标变换矩阵,利用该坐标变换矩阵能够准确把当前帧拼接全局地图上;

[0092] 具体地,在本实施例中,

[0093] 调用曲率计算模型,生成当前帧激光点云各点曲率,所述曲率计算模型具体如下:

$$K = \left(\sum_{j=-5}^{11} (d_i - d_{i+j}) \right)^2$$

[0094] 其中, K 为激光点云第 i 点的曲率, d_i 为第 i 点距离激光雷达坐标系原点的距离, $d_{i+j} (j=-5, -4, \dots, 5)$ 为第 i 点前后五个激光点距离激光雷达坐标系原点的距离;

[0095] 根据预设的曲率阈值对所述当前帧激光点云进行特征提取和划分,所述当前帧激光点云各点曲率大于所述曲率阈值的点判定为角点,反之则判定为面点;

[0096] 对所述角点和面点进行体素滤波,生成当前帧特征点云;

[0097] 利用kd树在所述局部地图中寻找与当前帧特征点云中的角点特征最相近的点并连接成线,并生成所述当前帧特征点云中的角点到该线的距离,计算模型具体如下:

$$d_e = \frac{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,j}^W \end{pmatrix} \right| \times \left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,l}^W \end{pmatrix} \right|}{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,j}^W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^W \\ \mathbf{x}_{k,l}^W \end{pmatrix} \right|};$$

[0098] 其中, $\tilde{x}_{k+1,i}^w$ 为k+1时刻的当前帧特征点云中的第i个角点在世界坐标系下的坐标点, $x_{k,j}^w$ 和 $x_{k,i}^w$ 为第i个角点在局部地图中对应的边线特征上的两个世界坐标系下的坐标点;

[0099] 对于当前帧特征点云中的面点特征, 利用kd树在所述局部地图中寻找与之最相近的五点, 并构建如下平面方程:

$$Ax+By+Cz+D=0;$$

[0100] 其中, A、B、C、D为平面方程系数, x、y、z为所述局部地图中与所述当前帧特征点云面点特征最相近的五点坐标;

[0101] 将局部地图中与当前帧特征点云面点特征对应的五点坐标代入平面方程中, 以获得所述平面方程的系数, 并根据平面方程系数求解出当前帧特征点云的面点到局部地图特征平面的距离, 计算模型如下:

$$d_H = \frac{Ax_p + By_p + Cz_p + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

[0102] 其中, $x=[x_p, y_p, z_p]^T$ 为当前帧特征点云中的面点在世界坐标系下的坐标;

[0103] 根据当前帧激光点云角点与局部地图对应的边线特征的距离和当前帧激光点云面点与局部地图对应的平面特征的距离构建如下残差方程:

$$f = D(x_{k+1,i}^w, m) = D(G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^w), m)$$

$$x_{k+1}^w = G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^w) = R \cdot x_{k+1,i}^L + t$$

[0104] 其中, $x_{k+1,i}^w$ 为当前帧特征点云第i点在世界坐标系下的坐标, $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第i点在激光雷达坐标系下的坐标, T_{k+1}^w 为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵, m则为世界坐标系下的局部地图, R和t分别为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的旋转矩阵和平移矩阵;

[0105] 利用所述残差方程结合列文伯格算法构建如下迭代方程:

$$(J^T J + \mu I) \cdot VT = -J^T f$$

$$J = \frac{\partial f}{\partial T_{k+1}^w} = \frac{\partial D(G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^w), m)}{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^w)} \cdot \frac{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^w)}{\partial T_{k+1}^w}$$

[0106] 其中, J 为残差方程相对于迭代变量的雅可比矩阵, μ 为对角更新算子, I 为单位矩阵, ΔT 为单次迭代变量增量, f 为残差方程, $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第 i 点在激光雷达坐标系下的坐标, T_{k-1}^w 为当前帧特征点云第 i 点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵, m 则为世界坐标系下的局部地图;

[0107] 计算特征匹配的残差总和, 计算模型如下:

$$d = \sum_{i=1}^m d_{ei} + \sum_{j=1}^n d_{Hj};$$

[0108] 其中, d_{ei} 为当前帧特征点云第 i 个角点与局部地图对应边线特征的残差值, d_{Hj} 为当前帧特征点云第 j 个面点与局部地图对应平面特征的残差值, m 和 n 分别为当前帧特征点云中角点和面点的数量;

[0109] 根据特征匹配的残差总和进行对角更新算子更新, 当残差总和过大, 则增大对角算子, 反之则减小对角算子。

[0110] S103,判断所述当前帧激光点云是否为关键帧;

[0111] 需要说明的是, 关键帧是以距离作为判定条件的, 例如当前帧与上一关键帧的距离超过 d , 则判定当前帧为关键帧, 在本实施例中, 可以通过激光里程计采集到的数据来判定, 当然, 在其他实施例中, 还可以通过其他方式来判定, 这里不做具体限定, 但这些方案均本发明的保护范围内。

[0112] S104, 在判断到当前帧激光点云为非关键帧时, 对IMU零偏进行校正, 并重置IMU预积分器;

[0113] 分别定义用于优化IMU零偏的预积分器和用于计算所述IMU里程计预积分器;

[0114] 获取激光里程计并更新因子图, 并判断更新后的因子图中因子树是否超过预设值(预设值可以但不仅限于100), 若超过则重新构建因子图;

[0115] 将当前帧激光点云与上一帧激光点云之间的IMU原始数据预积分因子、零偏因子以及当前帧激光里程计因子加入更新后的因子图中;

[0116] 以用于优化IMU零偏的预积分器估计的位姿和速度作为当前帧位姿因子、当前帧速度因子的估计值, 以上一帧优化的零偏作为当前帧零偏因子的估计值, 进行因子图优化, 生成优化更新后的速度和零偏;

[0117] 利用优化更新后的零偏, 重置用于优化IMU零偏的预积分器;

- [0118] 对所述优化更新后的速度和零偏进行检验，如果不满足检验要求则重新构建因子图进行优化；
- [0119] 利用所述优化更新后的零偏重置所述用于计算所述IMU里程计预积分器，并对所述当前帧激光点云时刻后的IMU原始数据进行预积分，得到预积分结果；
- [0120] 利用所述因子图优化得到的所述当前帧激光点云时刻的状态和IMU零偏，结合所述预积分结果，对所述当前帧激光点云时刻后的状态进行估计，并作为高频里程计输出。
- [0121] S105，在判断到当前帧激光点云为关键帧时，对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。
- [0122] 具体地，在本实施例中：
- [0123] 在判断到当前帧激光点云为关键帧时，基于激光里程计调用回环检测线程，需要说明的是，即使在检测到当前帧为关键帧时，还需基于激光里程计来判定是否调用回环检测线程，避免对每一关键帧进行回环检测，导致算力不足的问题；
- [0124] 根据所述回环检测线程判断历史关键帧集合中是否有与所述当前关键帧相近的历史关键帧；
- [0125] 若有，则判断相近的历史关键帧与当前关键帧的时间戳间隔是否大于阈值，若大于阈值，则利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵；
- [0126] 利用所述相对坐标变换矩阵优化和校正所述全局位姿。
- [0127] 在本发明一个可能的实施例中，所述利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵，具体为：
- [0128] 将相近的历史关键帧作为目标点云进行栅格化，在各栅格均符合正态分布下，计算出所述各栅格激光点云分布的概率密度函数，其计算模型如下：
- $$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(x-\bar{q})^T \Sigma^{-1} (x-\bar{q})}{2\sigma^2}}$$
- [0129] 其中，D为向量维数， $\bar{q}$ 为均值向量， Σ 为随机向量的协方差矩阵；

[0130] 将目标点云放入各栅格中，计算所述各栅格中激光点云数据的均值，其计算模型如下：

$$\bar{q} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \vec{x}_k$$

[0131] 其中， $\vec{x}_{k=1,2,3,\dots,m}$ 为单个栅格内的点云所有点的坐标；

[0132] 利用协方差计算公式计算出各栅格中点云数据的协方差，其计算模型如下：

$$\Sigma = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (\vec{x}_k - \bar{q})(\vec{x}_k - \bar{q})^T$$

[0133] 将当前关键帧放入各栅格中作为正态分布变换算法点云配准的源点云，计算源点云各点在各栅格的概率，其计算模型体如下：

$$p(\vec{x}) = \frac{1}{2^{\frac{3}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(\vec{x}-\bar{q})^T \Sigma^{-1} (\vec{x}-\bar{q})}{2}}$$

[0134] 将源点云各点在各栅格的概率相乘得到最大似然函数，当所述最大似然函数达到最大值时，此时的相对坐标变换矩阵为最优解，其计算模型体如下：

$$\psi = \prod_{k=1}^n p(\vec{x})$$

$$\vec{x} = R_{3 \times 3} \vec{x}_i + t_{3 \times 1} = T \vec{x}_i$$

[0135] 其中， $R_{3 \times 3}$ 为源点云相对于目标点云的旋转矩阵， $t_{3 \times 1}$ 为源点云相对于所述目标点云的平移矩阵， T 为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵， $\vec{x}$ 为源点云各点在目标点云坐标系下的坐标， $\vec{x}_i$ 为源点云各点在自身坐标系下的坐标；

[0136] 将最大似然函数两端取对数化，其计算模型体如下：

$$-\log \psi = -\sum_{k=1}^n \log(p(\vec{x}))$$

[0137] 利用牛顿迭代法对最大似然函数的最大值进行求解，将源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵作为迭代变量，通过不断沿梯度下降的方向更新迭代变量来求解最大似然函数最大值对应的所述坐标变换矩阵，其计算模型体如下：

$$H \Delta \bar{p} = -\bar{g}$$

$$T = T + \Delta T$$

[0138] 其中， H 为最大似然函数的黑塞矩阵， $\vec{g}$ 为最大似然函数的梯度向量， T 为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵。

[0139] 请参阅图2，本发明第二实施例提供了一种工程机械的建图装置，包括：

[0140] 畸变校正单元201，用于获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；

[0141] 地图匹配单元202，用于根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配；

[0142] 判断单元203，用于判断所述当前帧激光点云是否为关键帧；

[0143] IMU校正单元204，用于对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器；

[0144] 全局优化单元205，用于对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。

[0145] 本发明第三实施例提供了一种工程机械的建图设备，包括存储器以及处理器，所述存储器内存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述处理器执行，以实现如上任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[0146] 本发明第四实施例提供了一种计算机可读存储介质，其特征在于，存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述计算机可读存储介质所在设备的处理器执行，以实现如上任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[0147] 基于本发明实施例提供的一种工程机械的建图、方法、设备、及可读存储介质，其技术方案要点是利用IMU数据和IMU里程计对当前帧激光点云进行运动畸变校正，根据所述当前帧激光点云各点曲率提取点线、点面特征，将局部地图与所述当前帧激光点云进行匹配，并对关键帧进行因子图优化。根据输出的激光里程计对IMU零偏进行校正，对IMU预积分器进行重置，输出IMU里程计。当所述当前帧激光点云满足回环检测条件时，利用正态分布变换算法对所

述当前帧激光点云进行回环检测，并更新全局位姿，解决了工程机械退化场景下的建图问题，并实现了大场景下的快速建图与定位。

[0148] 示例性地，本发明第三实施例和第四实施例中所述的计算机程序可以被分割成一个或多个模块，所述一个或者多个模块被存储在所述存储器中，并由所述处理器执行，以完成本发明。所述一个或多个模块可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，该指令段用于描述所述计算机程序在所述实现一种工程机械的建图设备中的执行过程。例如，本发明第二实施例中所述的装置。

[0149] 所称处理器可以是中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)，还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等，所述处理器是所述一种工程机械的建图方法的控制中心，利用各种接口和线路连接整个所述实现对一种工程机械的建图方法的各个部分。

[0150] 所述存储器可用于存储所述计算机程序和/或模块，所述处理器通过运行或执行存储在所述存储器内的计算机程序和/或模块，以及调用存储在存储器内的数据，实现一种工程机械的建图方法的各种功能。所述存储器可主要包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序(比如声音播放功能、文字转换功能等)等；存储数据区可存储根据手机的使用所创建的数据(比如音频数据、文字消息数据等)等。此外，存储器可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器，例如硬盘、内存、插接式硬盘、智能存储卡(Smart Media Card, SMC)、安全数字(Secure Digital, SD)卡、闪存卡(Flash Card)、至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。

[0151] 其中，所述实现的模块如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序来指令相

关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一个计算机可读存储介质中，该计算机程序在被处理器执行时，可实现上述各个方法实施例的步骤。其中，所述计算机程序包括计算机程序代码，所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括：能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是，所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减，例如在某些司法管辖区，根据立法和专利实践，计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

[0152] 需说明的是，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。另外，本发明提供的装置实施例附图中，模块之间的连接关系表示它们之间具有通信连接，具体可以实现为一条或多条通信总线或信号线。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下，即可以理解并实施。

[0153] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

权利要求书

[权利要求 1]

一种工程机械的建图方法，其特征在于，包括：
获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；
根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配；
判断所述当前帧激光点云是否为关键帧；
若否，对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器；
若是，对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。

[权利要求 2]

根据权利要求1所述的一种工程机械的建图方法，其特征在于，所述获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正，具体为：
对所述IMU数据进行预积分，获取激光雷达从所述当前帧激光点云结束扫描时刻到起始扫描时刻的坐标变换矩阵；
利用所述坐标变换矩阵对所述当前帧激光点云进行运动畸变校正；
其中，所述坐标变换矩阵为：

$$T_i^k = \frac{t_i - t_k}{t_{k+1} - t_k} T_{k+1}^k;$$

$$P_k^i = T_i^k P_i$$

其中， T_i^k 为当前帧激光点云各点相对于起始扫描时刻的坐标变换矩阵， T_{k+1}^k 为激光雷达从扫描终止时刻到扫描起始时刻的坐标变换矩阵， t_i 为当前帧激光点云各点在扫描周期内的测量时间， t_k 为扫描起始时刻， t_{k+1} 为扫描终止时刻， P_i 为当前帧激光点云各点在起始

扫描时刻激光雷达坐标系下的坐标， P_i 为当前帧激光点云各点在当前时刻激光雷达坐标系下的坐标。

[权利要求 3]

根据权利要求1所述的一种工程机械的建图方法，其特征在于，所述根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配，具体为：

调用曲率计算模型，生成当前帧激光点云各点曲率，所述曲率计算模型具体如下：

$$K = \left(\sum_{j=-5}^{11} (d_i - d_{i+j}) \right)^2$$

其中， K 为激光点云第 i 点的曲率， d_i 为第 i 点距离激光雷达坐标系原点的距离， $d_{i+j}(j=-5,-4,\dots,5)$ 为第 i 点前后五个激光点距离激光雷达坐标系原点的距离；

根据预设的曲率阈值对所述当前帧激光点云进行特征提取和划分，所述当前帧激光点云各点曲率大于所述曲率阈值的点判定为角点，反之则判定为面点；

对所述角点和面点进行体素滤波，生成当前帧特征点云；

利用kd树在所述局部地图中寻找与所述当前帧特征点云中的角点特征最相近的点并连接成线，并生成所述当前帧特征点云中的角点到该线的距离，计算模型具体如下：

$$d_e = \frac{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^w \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,j}^w \end{pmatrix} \right| \times \left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^w \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,l}^w \end{pmatrix} \right|}{\left| \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,j}^w \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,l}^w \end{pmatrix} \right|} ;$$

其中， $\begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k+1,i}^w \end{pmatrix}$ 为 $k+1$ 时刻的当前帧特征点云中的第 i 个角点在世界坐标系下的坐标点， $\begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,j}^w \end{pmatrix}$ 和 $\begin{pmatrix} \mathbf{0}^w \\ \mathbf{x}_{k,l}^w \end{pmatrix}$ 为第 i 个角点在局部地图中对应的边线特征上的两个世界坐标系下的坐标点；

对于当前帧特征点云中的面点特征，利用kd树在所述局部地图中寻找与之最相近的五点，并构建如下平面方程：

$$Ax+By+Cz+D=0;$$

其中，A、B、C、D为平面方程系数，x、y、z为所述局部地图中与所述当前帧特征点云面点特征最相近的五点坐标；

将局部地图中与当前帧特征点云面点特征对应的五点坐标代入平面方程中，以获得所述平面方程的系数，并根据平面方程系数求解出当前帧特征点云的面点到局部地图特征平面的距离，计算模型如下：

$$d_H = \frac{Ax_p + By_p + Cz_p + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

其中， $x=[x_p, y_p, z_p]^T$ 为当前帧特征点云中的面点在世界坐标系下的坐标；

根据当前帧激光点云角点与局部地图对应的边线特征的距离和当前帧激光点云面点与局部地图对应的平面特征的距离构建如下残差方程：

$$f = D(x_{k+1,i}^W, m) = D(G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W), m)$$

$$x_{k+1}^W = G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W) = R \cdot x_{k+1,i}^L + t$$

其中， $x_{k+1,i}^W$ 为当前帧特征点云第i点在世界坐标系下的坐标， $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第i点在激光雷达坐标系下的坐标， T_{k+1}^W 为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵，m则为世界坐标系下的局部地图，R和t分别为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的旋转矩阵和平移矩阵；

利用所述残差方程结合列文伯格算法构建如下迭代方程：

$$(J^T J + \mu I) \cdot VT = -J^T f$$

$$J = \frac{\partial f}{\partial T_{k+1}^W} = \frac{\partial D(G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W), m)}{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W)} \cdot \frac{\partial G(x_{k+1,i}^L, T_{k+1}^W)}{\partial T_{k+1}^W}$$

其中，J为残差方程相对于迭代变量的雅可比矩阵， μ 为对角更新算子，I为单位矩阵， ΔT 为单次迭代变量增量，f为残差方程， $x_{k+1,i}^L$ 为当前帧特征点云第i点在激光雷达坐标系下的坐标， T_{k+1}^W 为当前帧特征点云第i点从激光雷达坐标系变换到世界坐标系下的坐标变换矩阵，m则为世界坐标系下的局部地图；

计算特征匹配的残差总和，计算模型如下：

$$d = \sum_{i=1}^m d_{ei} + \sum_{j=1}^n d_{Hj} ;$$

其中， d_{ei} 为当前帧特征点云第i个角点与局部地图对应边线特征的残差值， d_{Hj} 为当前帧特征点云第j个面点与局部地图对应平面特征的残差值，m和n分别为当前帧特征点云中角点和面点的数量；根据特征匹配的残差总和进行对角更新算子更新，当残差总和过大，则增大对角算子，反之则减小对角算子。

[权利要求 4]

根据权利要求1所述的一种工程机械的建图方法，其特征在于，所述对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器，具体为：

分别定义用于优化IMU零偏的预积分器和用于计算所述IMU里程计预积分器；

获取激光里程计并更新因子图，并判断更新后的因子图中因子树是否超过预设值，若超过则重新构建因子图；

将当前帧激光点云与上一帧激光点云之间的IMU原始数据预积分因子、零偏因子以及当前帧激光里程计因子加入更新后的因子图中；

以用于优化IMU零偏的预积分器估计的位姿和速度作为当前帧位姿因子、当前帧速度因子的估计值，以上一帧优化的零偏作为当前帧零偏因子的估计值，进行因子图优化，生成优化更新后的速度和零偏；

利用优化更新后的零偏，重置用于优化IMU零偏的预积分器；

对所述优化更新后的速度和零偏进行检验，如果不满足检验要求则重新构建因子图进行优化；

利用所述优化更新后的零偏重置所述用于计算所述IMU里程计预积分器，并对所述当前帧激光点云时刻后的IMU原始数据进行预积分，得到预积分结果；

利用所述因子图优化得到的所述当前帧激光点云时刻的状态和IMU零偏，结合所述预积分结果，对所述当前帧激光点云时刻后的状态进行估计，并作为高频里程计输出。

[权利要求 5]

根据权利要求1所述的一种工程机械的建图方法，其特征在于，所述对当前前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正，具体为：

在判断到当前帧激光点云为关键帧时，基于激光里程计调用回环检测线程；

根据所述回环检测线程判断历史关键帧集合中是否有与所述当前关键帧相近的历史关键帧；

若有，则判断相近的历史关键帧与当前关键帧的时间戳间隔是否大于阈值，若大于阈值，则利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵；

利用所述相对坐标变换矩阵优化和校正所述全局位姿。

[权利要求 6]

根据权利要求5所述的一种工程机械的建图方法，其特征在于，所述利用正态分布变换算法对所述当前关键帧与相近的历史关键帧进行匹配，生成相对坐标变换矩阵，具体为：

将相近的历史关键帧作为目标点云进行栅格化，在各栅格均符合正态分布下，计算出所述各栅格激光点云分布的概率密度函数，其计算模型如下：

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(x-\bar{q})^T \Sigma^{-1} (x-\bar{q})}{2\sigma^2}}$$

其中，D为向量维数， $\vec{q}$ 为均值向量， Σ 为随机向量的协方差矩阵；

将目标点云放入各栅格中，计算所述各栅格中激光点云数据的均值，其计算模型如下：

$$\vec{q} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \vec{x}_k$$

其中， $\vec{x}_{k=1,2,3,\dots,m}$ 为单个栅格内的点云所有点的坐标；

利用协方差计算公式计算出各栅格中点云数据的协方差，其计算模型如下：

$$\Sigma = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (\vec{x}_k - \vec{q})(\vec{x}_k - \vec{q})^T$$

将当前关键帧放入各栅格中作为正态分布变换算法点云配准的源点云，计算源点云各点在各栅格的概率，其计算模型体如下：

$$p(\vec{x}) = \frac{1}{2^{\frac{3}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{(\vec{x}-\vec{q})^T \Sigma^{-1} (\vec{x}-\vec{q})}{2}}$$

将源点云各点在各栅格的概率相乘得到最大似然函数，当所述最大似然函数达到最大值时，此时的相对坐标变换矩阵为最优解，其计算模型体如下：

$$\psi = \prod_{k=1}^n p(\vec{x})$$

$$\vec{x} = R_{3 \times 3} \vec{x}_i + t_{3 \times 1} = T \vec{x}_i$$

其中， $R_{3 \times 3}$ 为源点云相对于目标点云的旋转矩阵， $t_{3 \times 1}$ 为源点云相对于所述目标点云的平移矩阵，T为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵， $\vec{x}$ 为源点云各点在目标点云坐标系下的坐标， $\vec{x}_i$ 为源点云各点在自身坐标系下的坐标；

将最大似然函数两端取对数化，其计算模型体如下：

$$-\log \psi = -\sum_{k=1}^n \log(p(\bar{x}))$$

利用牛顿迭代法对最大似然函数的最大值进行求解，将源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵作为迭代变量，通过不断沿梯度下降的方向更新迭代变量来求解最大似然函数最大值对应的所述坐标变换矩阵，其计算模型体如下：

$$H\Delta\bar{p} = -\bar{g}$$

$$T = T + \Delta T$$

其中，H为最大似然函数的黑塞矩阵， $\bar{g}$ 为最大似然函数的梯度向量，T为源点云相对于目标点云的坐标变换矩阵。

[权利要求 7]

一种工程机械的建图装置，其特征在于，包括：

畸变校正单元，用于获取由车载多传感器融合平台采集到的环境信息，利用IMU数据和IMU里程计对所述环境信息的当前帧激光点云进行运动畸变校正；

地图匹配单元，用于根据校正后的所述当前帧激光点云各点的曲率进行点线特征和点面特征提取，并将所述点线特征和所述点面特征与局部地图进行匹配；

判断单元，用于判断所述当前帧激光点云是否为关键帧；

IMU校正单元，用于对IMU零偏进行校正，并重置IMU预积分器；

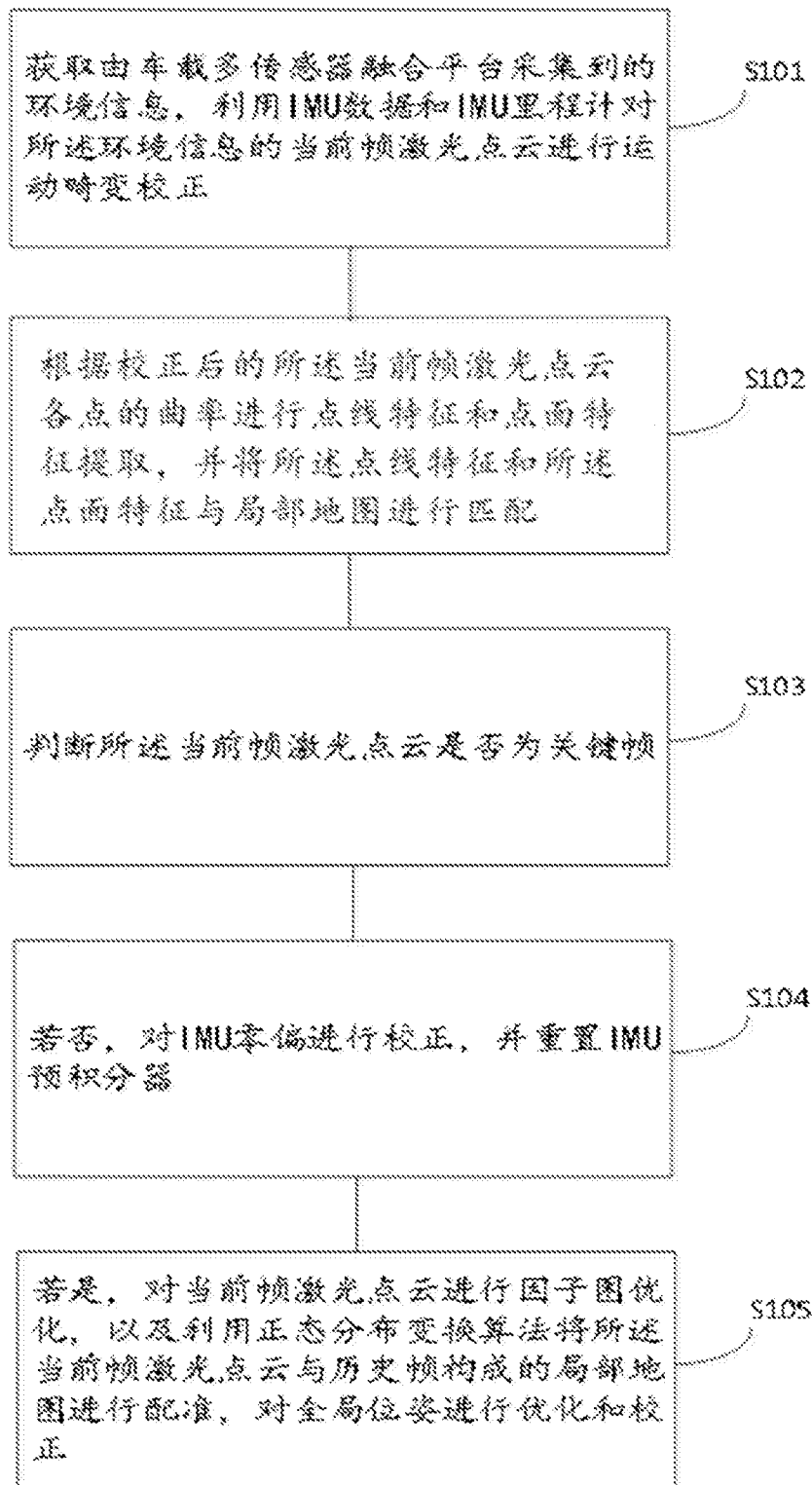
全局优化单元，用于对当前帧激光点云进行因子图优化，以及利用正态分布变换算法将所述当前帧激光点云与历史帧构成的局部地图进行配准，对全局位姿进行优化和校正。

[权利要求 8]

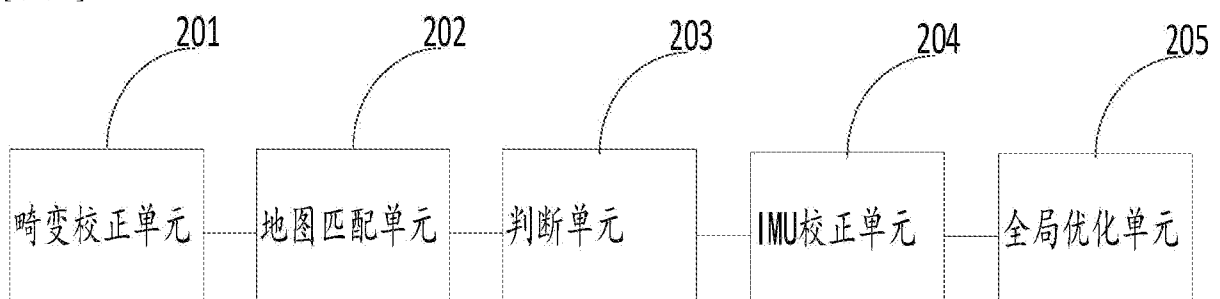
一种工程机械的建图设备，其特征在于，包括存储器以及处理器，所述存储器内存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述处理器执行，以实现如权利要求1至6任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[权利要求 9] 一种计算机可读存储介质，其特征在于，存储有计算机程序，所述计算机程序能够被所述计算机可读存储介质所在设备的处理器执行，以实现如权利要求1至6任意一项所述的一种工程机械的建图方法。

[图 1]



[图 2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/085476

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G01C21/20(2006.01)i; G01C21/00(2006.01)i; G01C21/16(2006.01)i; G01S7/48(2006.01)i; G01S17/86(2020.01)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:G01C G01S		
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; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT; IEEE: 华侨大学, 激光点云, 激光雷达, 惯性测量单元, 激光里程计, IMU里程计, 当前帧, 畸变校正, 预积分, 旋转, 平移, 曲率, 角点, 面点, 地图, kd树, 距离, 残差, 列文伯格, 关键帧, 零偏, 校正, 重置, IMU预积分器, 因子图, 正态分布变换, 配准, laser point cloud, laser radar, inertial measurement unit, IMU, laser odometer, inertial odometer		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 115480579 A (HUAQIAO UNIVERSITY) 16 December 2022 (2022-12-16) description, paragraphs [0085]-[0181], and figures 1-5	1-9
A	CN 115077519 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 20 September 2022 (2022-09-20) entire document	1-9
A	CN 115494533 A (WEICHAI POWER CO., LTD.) 20 December 2022 (2022-12-20) entire document	1-9
A	CN 113029137 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 25 June 2021 (2021-06-25) entire document	1-9
A	CN 114526745 A (TAIYUAN WEIGE CHUANSHI AUTOMOBILE TECHNOLOGY CO., LTD.) 24 May 2022 (2022-05-24) entire document	1-9
☒ 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		Date of mailing of the international search report
13 June 2023		01 July 2023
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		
		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/085476

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 11450016 B1 (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 20 September 2022 (2022-09-20) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/085476

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	115480579	A	16 December 2022	None	
CN	115077519	A	20 September 2022	None	
CN	115494533	A	20 December 2022	None	
CN	113029137	A	25 June 2021	None	
CN	114526745	A	24 May 2022	None	
US	11450016	B1	20 September 2022	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/085476

A. 主题的分类

G01C21/20(2006.01)i; G01C21/00(2006.01)i; G01C21/16(2006.01)i; G01S7/48(2006.01)i; G01S17/86(2020.01)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:G01C G01S

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;CNTXT;CNKI;VEN;USTXT;EPTXT;WOTXT;IEEE:华侨大学, 激光点云, 激光雷达, 惯性测量单元, 激光里程计, IMU里程计, 当前帧, 畸变校正, 预积分, 旋转, 平移, 曲率, 角点, 面点, 地图, kd树, 距离, 残差, 列文伯格, 关键帧, 零偏, 校正, 重置, IMU预积分器, 因子图, 正态分布变换, 配准, laser point cloud, laser radar, inertial measurement unit, IMU, laser odometer, inertial odometer

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 115480579 A (华侨大学) 2022年12月16日 (2022 - 12 - 16) 说明书第[0085]-[0181]段, 附图1-5	1-9
A	CN 115077519 A (南京航空航天大学) 2022年9月20日 (2022 - 09 - 20) 全文	1-9
A	CN 115494533 A (潍柴动力股份有限公司) 2022年12月20日 (2022 - 12 - 20) 全文	1-9
A	CN 113029137 A (清华大学 等) 2021年6月25日 (2021 - 06 - 25) 全文	1-9
A	CN 114526745 A (太原市威格传世汽车科技有限责任公司) 2022年5月24日 (2022 - 05 - 24) 全文	1-9
A	US 11450016 B1 (UNIV GUANGDONG TECHNOLOGY) 2022年9月20日 (2022 - 09 - 20) 全文	1-9

☐ 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

2023年6月13日

国际检索报告邮寄日期

2023年7月1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

黄传霞

电话号码 (+86) 0512-88997015

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/085476

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	115480579	A	2022年12月16日	无	
CN	115077519	A	2022年9月20日	无	
CN	115494533	A	2022年12月20日	无	
CN	113029137	A	2021年6月25日	无	
CN	114526745	A	2022年5月24日	无	
US	11450016	B1	2022年9月20日	无	