

(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 5 日 (05.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/112232 A1

(51) 国际专利分类号:

G01S 7/48 (2006.01) G01S 17/88 (2006.01)
G06T 7/73 (2017.01) G01C 22/00 (2006.01)
G06T 7/207 (2017.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/081903

(22) 国际申请日: 2024 年 3 月 15 日 (15.03.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202311627956.X 2023 年 11 月 30 日 (30.11.2023) CN

(71) 申请人: 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: 朱建科 (ZHU, Jianke); 中国浙江省杭州
市西湖区余杭塘路 866 号 310058 (CN)。 郑

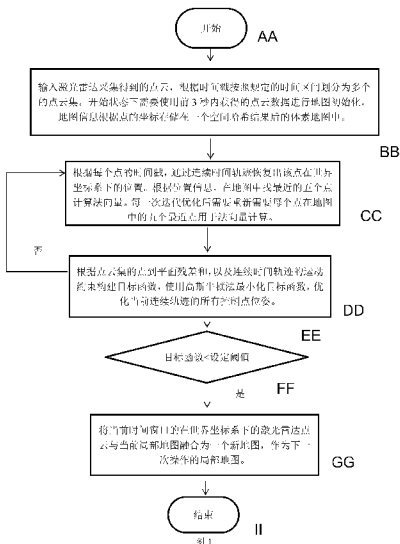
鑫 (ZHENG, Xin); 中国浙江省杭州市西湖区
余杭塘路 866 号 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公
司等 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO.,
LTD. et al.); 中国浙江省杭州市西湖区古墩路 701
号紫金广场 B 座 1103 室 310030 (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。

(54) Title: LIDAR ODOMETER METHOD USING PIECEWISE LINEAR CONTINUOUS TIME TRAJECTORY

(54) 发明名称: 一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法



AA Start
BB Input point cloud acquired by a LiDAR; on the basis of timestamps, divide the point cloud into multiple point cloud sets according to specified time intervals, wherein in the initial state, point cloud data acquired within the first three seconds needs to be used for map initialization, and, on the basis of point coordinates, map information is stored in a voxel map obtained after a spatial hashing result
CC On the basis of the timestamp of each point, and by means of a continuous time trajectory, recover the position of the point in a world coordinate system; on the basis of the location information, find five nearest points in the map to calculate a normal vector, wherein after each iteration optimization, five nearest points to each point in the map are required again for normal vector calculation
DD On the basis of the sum of point-to-plane residuals of the point cloud sets, and motion constraints of the continuous time trajectory, construct an objective function; use the Gauss-Newton method to minimize the objective function and optimize poses of all control points of the current continuous trajectory
EE Objective function < set threshold
FF Merge LiDAR point cloud of the current time window in the world coordinate system with the current local map into a new map to be used as a local map for the next operation
GG End
HH No
II Yes

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a LiDAR odometry method using a piecewise linear continuous time trajectory. The present invention comprises the following steps: first, using a time window to divide an initial LiDAR point cloud time sequence so as to obtain LiDAR point cloud sub-sequences under a plurality of time windows, and constructing an initial local point cloud map; and then, on the basis of the initial local point cloud map, optimizing LiDAR poses of the LiDAR point cloud sub-sequences under the time windows to obtain an overall continuous time trajectory and a final local point cloud map. The present invention achieves high-precision motion estimation for LiDARs, has high robustness and real-time performance, is applicable to the fields such as robot navigation, simultaneous localization and mapping, automated driving, and provides a relatively simple and efficient solution that can effectively handle the characteristics of LiDARs as streaming sensors.

(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))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法。本发明包括以下步骤: 首先, 利用时间窗口将初始激光雷达点云时间序列进行划分后, 获得多个时间窗口下的激光雷达点云子序列, 以及构建初始局部点云地图; 接着, 基于初始局部点云地图, 对各时间窗口下的激光雷达点云子序列进行激光雷达位姿的优化, 获得总的连续时间轨迹以及最终的局部点云地图。本发明实现了激光雷达的高精度运动估计, 具备高鲁棒性和实时性, 适用于机器人导航、同时定位与建图和自动驾驶等领域, 提供了一个相对简单且高效的解决方案, 能够有效地处理激光雷达作为流式传感器的特性。

一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法

技术领域

本发明涉及机器人领域的同时定位与建图相关技术，具体关于仅依赖激光雷达的输入信息，使用分段线性连续时间轨迹的里程计方法。

背景技术

在许多机器人应用中，激光雷达里程计是一个至关重要的组件。由于激光雷达出色的距离感测能力，激光雷达里程计在 GPS 受限环境中的机器人导航和路径规划中起到了关键作用。

经过近些年的探索和发展，仅依靠单一激光雷达传感器的方法缺乏精确性和鲁棒性。多传感器融合的方法被广泛认为是实际应用中的最佳解决方案。尤其是紧密耦合结合了来自惯性测量单元（IMU）的信息的激光雷达-惯性里程计（LiDAR-inertial Odometry，简称 LIO），在实践中有着大量应用。与现有仅依赖于激光雷达信息的方法相比，LIO 方法在两个方面提供了优势：一是高频率的 IMU 状态有助于更准确的运动补偿；另一个优势是 IMU 通过直接施加运动约束来增强系统的鲁棒性。然而，稳定的 LIO 在很大程度上依赖于 IMU 参数的准确校准，而且 IMU 数据对温度变化和机械冲击非常敏感。此外，即使是目前最先进的 LIO 系统也难以处理动力学状态超出 IMU 测量范围的情况。

事实上，激光雷达是一个伴随着连续运动的流式传感器，用于捕获场景结构。过去关于激光雷达里程计的研究将运动轨迹表示为一系列的离散时间姿态，断开了采集到的几何信息和传感器运动之间的固有联系。因此当前仅使用激光雷达信息输入的里程计方法的精度远低于多传感器融合里程计方法。

发明内容

为了解决背景技术中存在的问题，本发明提供了一种新颖的连续时间轨迹参数化方法，用于激光雷达里程计的运动估计。本发明适用于各种类型的激光雷达，包括多线扫描和非重复扫描雷达，以及单个或多个雷达系统的不同配置。

本发明采用的技术方案包括如下步骤：

一、一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法

S1：利用时间窗口将初始激光雷达点云时间序列进行划分后，获得多个时间窗口下的激光雷达点云子序列，以及构建初始局部点云地图；

S2：对每个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行线性参数化后，获得初始连续时间轨迹；

S3: 根据当前连续时间轨迹和当前局部点云地图, 计算当前时间窗口中的各点对应的点到平面误差并组成点面误差约束, 并建立轨迹平滑性约束;

S4: 基于点面误差约束和轨迹平滑性约束, 使用高斯-牛顿法进行最小化求解目标函数后, 估计获得当前时间窗口内的连续时间轨迹并更新;

S5: 重复 S3 和 S4, 根据更新的连续时间轨迹进行当前时间窗口内的位姿迭代优化, 直至目标函数小于预设阈值, 获得当前时间窗口的最优连续时间轨迹以及对应的在世界坐标系下的激光雷达点云; 并且将当前时间窗口的在世界坐标系下的激光雷达点云加入当前局部点云地图中;

S6: 重复 S2-S5, 依次对各个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行激光雷达位姿的优化, 获得总的连续时间轨迹。

所述 S3 中, 对于当前时间窗口中的每个点, 每个点对应的点到平面误差的计算步骤具体为:

首先, 利用当前连续时间轨迹获取到当前点 p_i 对应时刻的激光雷达在世界坐标系下的位置 T_i , 在当前局部点云地图中寻找与当前点最近的若干点并将若干点中最近的点记为 q_i , 利用主成分分析方法计算若干点对应的法向量 n_i , 最后利用以下公式计算获得每个点对应的点到平面误差:

$$e_i = n_i^T (T_i p_i - q_i)$$

其中, e_i 表示当前点 p_i 对应的点到平面误差, T 表示转置。

所述 S3 中, 轨迹平滑性约束的公式如下:

$$e_{v_k} = \mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1} - \check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$$

其中, e_{v_k} 表示时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束, $\mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1}$ 表示时间窗口 k 内的广义速度, $\check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 表示时间窗口 k 的伪速度测量; $\mathbf{T}_{k-1}$ 和 $\mathbf{T}_k$ 分别为当前窗口 k 的开始时刻位姿和结束时刻位姿; $\check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 和 $\check{\mathbf{T}}_{k-1}$ 分别为上一个时间窗口 $k-1$ 内完成优化后的开始时刻位姿和结束时刻位姿。

所述目标函数的公式如下:

$$E = \sum e_i^T e_i + \sum e_{v_k}^T e_{v_k}$$

其中, E 表示轨迹总误差, e_i 表示当前时间窗口中当前点 p_i 对应的点到平面误差, e_{v_k} 表示当前时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束, T 表示转置。

二、一种计算机设备

计算机设备包括存储器和处理器, 所述存储器存储有计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现所述方法的步骤。

三、一种计算机可读存储介质

计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现所述的方法的步骤。

本发明的有益效果是：

本发明提出了分段线性连续时间轨迹的运动表示方法。整段时间区间内的运动可以根据运动情况，划分为多段时间区间，每段时间区间内的运动可以使用简单的线性插值表示。这种分段的轨迹表示方式解决了线性插值无法表示复杂运动的问题，从而为后续里程计的估计提供了简洁和高效的数学表示。

本发明在完成激光雷达里程计中点云注册部分时，额外考虑了每个点的时间戳信息，从而利用前面提出的连续时间轨迹表示方式，省去了额外点云去畸变的步骤，减少对其他传感器的依赖。

本发明在里程计优化部分，根据连续轨迹的平滑性引入了运动约束，可以在系统动力学状态超出一般 IMU 测量范围的情况下，实现稳定的注册。

本发明采用的连续时间表示方式提供了一种统一的里程计框架，可以适用于不用扫描类型的激光雷达传感器，也可以同时融合多个异步的激光雷达传感器。

附图说明

图 1 是本发明实施例的一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法的总体流程图。

图 2 是本发明实施例的连续时间轨迹的激光雷达里程计方法框架。

具体实施方式

下面将结合本发明中的附图，对本发明的技术方案进行清晰、完整的描述。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做创造性劳动的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。

为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，接下来将参照附图对本发明实施例进行详细的说明。

如图 1 和图 2 所示，本发明包括以下步骤：

S1：利用时间窗口将初始激光雷达点云时间序列进行划分后，获得多个时间窗口下的激光雷达点云子序列，以及构建初始局部点云地图；

具体地：将初始激光雷达点云时间序列表示为 $T(t)$ ，其中 t 是时间变量，关注时间范围为 $[t_0, t_K)$ 内的轨迹。每个时间点对应一个激光雷达的位姿，用 Tt 表示。所有的位姿都是世界坐标系下的表示，其中世界坐标系是激光雷达的起始位置。位姿具体为三维刚体变换地平移和旋转。为了处理快速运动，本发明将时间窗口分成了 K 个等时间间隔距的小段 $\{[t_{k-1}, t_k)\}_{k=1}^K$ ，从而将初始激光雷

达点云时间序列划分成 K 个点云子集，每个点云子集中包含这段时间区间内采集到地激光雷达点云数据。在开始阶段，直接利用前 3 秒获得的点云数据构建初始局部点云地图。地图结构采用体素哈希表，每个点信息根据三维坐标的哈希值存储在对应的体素中。

S2: 根据其初始位姿 $\mathbf{T}_{k-1}$ 和结束位姿 $\mathbf{T}_k$ 对每个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行线性参数化后，获得初始连续时间轨迹；在每个分段 $[t_{k-1}, t_k)$ 中，运动由初始位姿 $\mathbf{T}_{k-1}$ 和结束位姿 $\mathbf{T}_k$ 线性参数化轨迹，每个点可以根据时间戳信息线性插值出自身在世界坐标系下地位置。

S3: 根据当前连续时间轨迹和当前局部点云地图，计算当前时间窗口 k 中的各点对应的点到平面误差并组成点面误差约束，并建立轨迹平滑性约束；

S3 中，对于当前时间窗口 k 中的每个点，每个点对应的点到平面误差的计算步骤具体为：

首先，假设第 k 个时间窗口 $[t_{k-1}, t_k)$ 中有一个点 p_i ，对应采集时刻的时间戳为 t_i 。利用当前连续时间轨迹获取到当前点 p_i 对应时刻的激光雷达在世界坐标系下的位置 T_i ，位置 T_i 根据当前时间窗口对应的开始时刻位姿 $\mathbf{T}_{k-1}$ 和结束时刻位姿 $\mathbf{T}_k$ 线性插值获得，计算公式如下：

$$\tau = \text{Log}(\mathbf{T}_{k-1}^{-1} \mathbf{T}_k), \quad \mathbf{T}_i = \mathbf{T}_{k-1} \text{Exp}(\alpha_i \tau)$$

$$\alpha_i = (t_i - t_{k-1}) / (t_k - t_{k-1})$$

其中，Log 和 Exp 分别为三维空间刚性变换的对数映射和指数映射， α_i 表示时间比例系数， τ 表示位姿变换对应的切空间向量。

然后根据位置 T_i ，在当前局部点云地图中寻找与当前点最近的若干点，并将若干点中最近的点记为 q_i ，利用主成分分析方法计算若干点对应的法向量 n_i ，最后利用以下公式计算获得每个点对应的点到平面误差：

$$e_i = n_i^T (T_i p_i - q_i)$$

其中， e_i 表示当前点 p_i 对应的点到平面误差， T 表示转置。

这个误差用于衡量激光雷达测量数据与地图之间的几何关系，从而用于运动估计。点面误差约束考虑了连续时间轨迹的连续性，使得本发明可以更准确地估计激光雷达的运动。

S3 中，轨迹平滑性约束的公式如下：

$$\mathbf{e}_{v_k} = \mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1} - \check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$$

其中， $\mathbf{e}_{v_k}$ 表示时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束， $\mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1}$ 表示时间窗口 k 内的广义速度， $\check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 表示时间窗口 k 的伪速度测量，由上一段的位

姿估计值组成，用于衡量相邻分段内的轨迹变化； $\mathbf{T}_{k-1}$ 和 $\mathbf{T}_k$ 分别为当前窗口 k 的开始时刻位姿和结束时刻位姿，在优化过程中会进行更新； $\check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 和 $\check{\mathbf{T}}_{k-1}$ 分别为上一个时间窗口 $k-1$ 内完成优化后的开始时刻位姿和结束时刻位姿，在当前窗口 k 的优化中保持不变。

S4：基于点面误差约束和轨迹平滑性约束，使用高斯-牛顿法进行最小化求解目标函数后，估计获得当前时间窗口 k 内的连续时间轨迹并更新；

目标函数的公式如下：

$$E = \sum e_i^\top e_i + \sum e_{v_k}^\top e_{v_k}$$

其中， E 表示轨迹总误差， e_i 表示当前时间窗口中当前点 p_i 对应的点到平面误差， e_{v_k} 表示当前时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束， $\top$ 表示转置。

利用迭代高斯牛顿方法最小化上述目标函数，获得最终的位姿估计结果。本发明列出了优化过程中需要的显形式雅阁比矩阵，用于提升优化效率。

其中，平面误差 e_i 对应的雅阁比矩阵为：

$$\begin{aligned} \frac{\partial e_i}{\partial [\mathbf{T}_{k-1} \quad \mathbf{T}_k]} &= \frac{\partial e_i}{\partial \mathbf{T}_i} \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{T}_i}{\partial \mathbf{T}_{k-1}} & \frac{\partial \mathbf{T}_i}{\partial \mathbf{T}_k} \end{bmatrix}, \\ \frac{\partial e_i}{\partial \mathbf{T}_i} &= \mathbf{n}_i^\top [\mathbf{R}_i \quad -\mathbf{R}_i[\mathbf{p}_i]_\times], \\ \frac{\partial \mathbf{T}_i}{\partial \mathbf{T}_{k-1}} &= (1 - \alpha_i) \mathbf{J}_r((\alpha_i - 1)\boldsymbol{\tau}) \mathbf{J}_l^{-1}(\boldsymbol{\tau}), \\ \frac{\partial \mathbf{T}_i}{\partial \mathbf{T}_k} &= \alpha_i \mathbf{J}_r(\alpha_i \boldsymbol{\tau}) \mathbf{J}_r^{-1}(\boldsymbol{\tau}). \end{aligned}$$

其中， $\mathbf{J}_r$ 和 $\mathbf{J}_l$ 分别为三维空间下的右雅阁比矩阵和左雅阁比矩阵， $\mathbf{R}_i$ 表示旋转矩阵。

平滑约束 e_{v_k} 的雅阁比矩阵为：

$$\frac{\partial e_{v_k}}{\partial \mathbf{T}_{k-1}} = -\mathbf{J}_l^{-1}(\boldsymbol{\tau}), \quad \frac{\partial e_{v_k}}{\partial \mathbf{T}_k} = \mathbf{J}_r^{-1}(\boldsymbol{\tau}).$$

S5：重复 S3 和 S4，根据更新的连续时间轨迹进行当前时间窗口内的位姿迭代优化，直至目标函数小于预设阈值，获得当前时间窗口的最优连续时间轨迹以及对应的在世界坐标系下的激光雷达点云；并且将当前时间窗口的在世界坐标系下的激光雷达点云加入当前局部点云地图中；

S6：重复 S2-S5，依次对各个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行激光雷

达位姿的优化，获得总的连续时间轨迹，即时间 t_K 内的位姿。

该方法适用于机器人导航、同时定位与建图和自动驾驶等领域。本发明具备对机器人进行高精度的激光雷达运动估计的功能，适用于各种类型的激光雷达和运动情况，并具有较高的鲁棒性和实时性。本发明可在机器人导航、同时定位与建图和自动驾驶等领域得到广泛应用。

最后所应说明的是，以上实施例和阐述仅用以说明本发明的技术方案而非进行限制。本领域的普通技术人员应当理解，可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换，不脱离本发明技术方案公开的精神和范围的，其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

权利要求书

1、一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1：利用时间窗口将初始激光雷达点云时间序列进行划分后，获得多个时间窗口下的激光雷达点云子序列，以及构建初始局部点云地图；

S2：对每个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行线性参数化后，获得初始连续时间轨迹；

S3：根据当前连续时间轨迹和当前局部点云地图，计算当前时间窗口中的各点对应的点到平面误差并组成点面误差约束，并建立轨迹平滑性约束；

S4：基于点面误差约束和轨迹平滑性约束，使用高斯-牛顿法进行最小化求解目标函数后，估计获得当前时间窗口内的连续时间轨迹并更新；

S5：重复 S3 和 S4，根据更新的连续时间轨迹进行当前时间窗口内的位姿迭代优化，直至目标函数小于预设阈值，获得当前时间窗口的最优连续时间轨迹以及对应的在世界坐标系下的激光雷达点云；并且将当前时间窗口的在世界坐标系下的激光雷达点云加入当前局部点云地图中；

S6：重复 S2-S5，依次对各个时间窗口下的激光雷达点云子序列进行激光雷达位姿的优化，获得总的连续时间轨迹。

2、根据权利要求 1 所述的一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法，其特征在于，所述 S3 中，对于当前时间窗口中的每个点，每个点对应的点到平面误差的计算步骤具体为：

首先，利用当前连续时间轨迹获取到当前点 p_i 对应时刻的激光雷达在世界坐标系下的位置 T_i ，在当前局部点云地图中寻找与当前点最近的若干点并将若干点中最近的点记为 q_i ，利用主成分分析方法计算若干点对应的法向量 n_i ，最后利用以下公式计算获得每个点对应的点到平面误差：

$$e_i = n_i^T (T_i p_i - q_i)$$

其中， e_i 表示当前点 p_i 对应的点到平面误差， T 表示转置。

3、根据权利要求 1 所述的一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法，其特征在于，所述 S3 中，轨迹平滑性约束的公式如下：

$$\mathbf{e}_{v_k} = \mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1} - \check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$$

其中， $\mathbf{e}_{v_k}$ 表示时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束， $\mathbf{T}_k \ominus \mathbf{T}_{k-1}$ 表示时间窗口 k 内的广义速度， $\check{\mathbf{T}}_{k-1} \ominus \check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 表示时间窗口 k 的伪速度测量； $\mathbf{T}_{k-1}$ 和 $\mathbf{T}_k$ 分

别为当前窗口 k 的开始时刻位姿和结束时刻位姿； $\check{\mathbf{T}}_{k-2}$ 和 $\check{\mathbf{T}}_{k-1}$ 分别为上一个时间窗口 $k-1$ 内完成优化后的开始时刻位姿和结束时刻位姿。

4、根据权利要求 1 所述的一种使用分段线性连续时间轨迹的激光雷达里程计方法，其特征在于，所述目标函数的公式如下：

$$E = \sum e_i^T e_i + \sum e_{v_k}^T e_{v_k}$$

其中， E 表示轨迹总误差， e_i 表示当前时间窗口中当前点 p_i 对应的点到平面误差， e_{v_k} 表示当前时间窗口 k 内的轨迹平滑性约束， T 表示转置。

5、一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 4 中任一项所述方法的步骤。

6、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法的步骤。

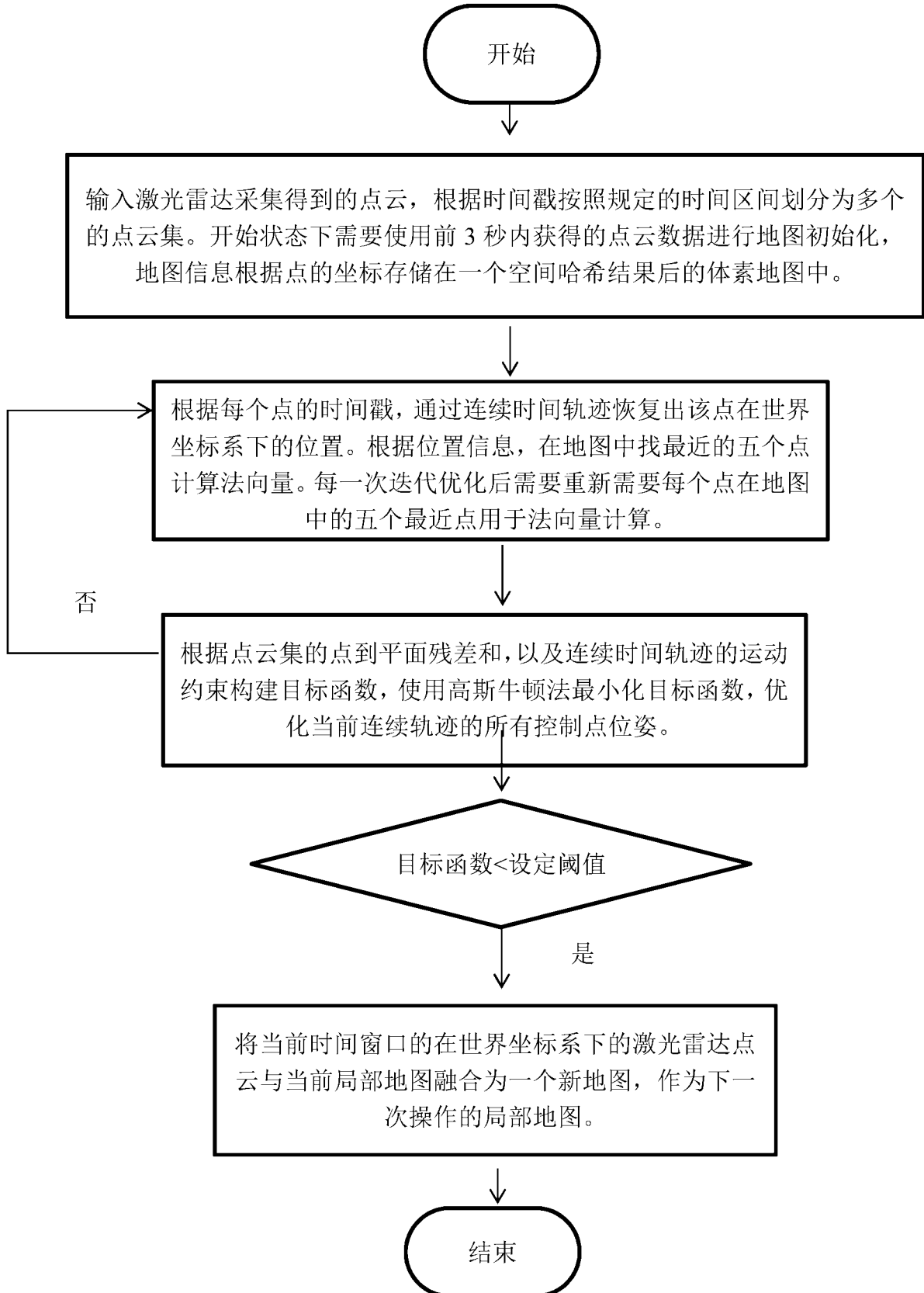


图 1

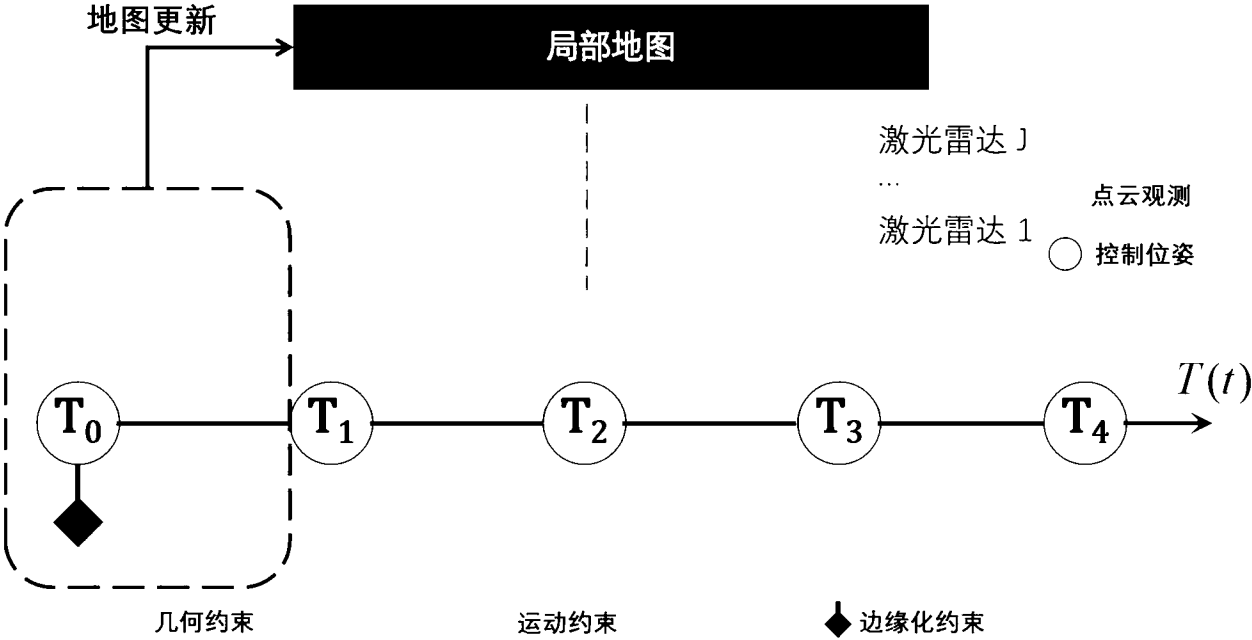


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/081903

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S7/48(2006.01)i; G06T7/73(2017.01)n; G06T7/207(2017.01)n; G01S17/88(2006.01)n; G01C22/00(2006.01)n

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)

G01S7/-,G06T7/-,G01S17/-,G01C22/-

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)

CNTXT, ENTXT, ENTXTC, WPABS: 激光, 激光雷达, 里程, 连续时间, 浙江大学, 郑鑫, 朱建科, LiDAR, Odometry, Continuous Time, zhejiang university

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 117665748 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 08 March 2024 (2024-03-08) claims 1-6	1-6
X	ZHENG, Xin. "Traj-LO: In Defense of LiDAR-Only Odometry Using an Effective Continuous-Time Trajectory" <i>arXiv</i> , 12 October 2023 (2023-10-12), section III	1-6
A	CN 115407358 A (HANGZHOU JIXIAN TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 November 2022 (2022-11-29) entire document	1-6
A	DE 102020003662 A1 (DAIMLER AG.) 06 August 2020 (2020-08-06) entire document	1-6
A	WO 2023016392 A1 (ZHEJIANG HUARAY TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 February 2023 (2023-02-16) entire document	1-6



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

13 June 2024

Date of mailing of the international search report

17 June 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
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2024/081903

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	117665748	A	08 March 2024	None			
CN	115407358	A	29 November 2022	None			
DE	102020003662	A1	06 August 2020	None			
WO	2023016392	A1	16 February 2023	EP	4359822	A1	01 May 2024
				KR	20240047400	A	12 April 2024

A. 主题的分类

G01S7/48(2006.01)i; G06T7/73(2017.01)n; G06T7/207(2017.01)n; G01S17/88(2006.01)n; G01C22/00(2006.01)n

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)

G01S7/-,G06T7/-,G01S17/-,G01C22/-

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))

CNTEXT,ENTEXT,ENTXTC,WPABS:激光,激光雷达,里程,连续时间,浙江大学,郑鑫,朱建科,LiDAR,Odometry,Continuous Time,zhejiang univercity

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
PX	CN 117665748 A (浙江大学) 2024年3月8日 (2024 - 03 - 08) 权利要求1-6	1-6
X	Xin Zheng. "Traj-LO: In Defense of LiDAR-Only Odometry Using an Effective Continuous-Time Trajectory" arXiv, 2023年10月12日 (2023 - 10 - 12), 第III节	1-6
A	CN 115407358 A (杭州极线科技有限公司) 2022年11月29日 (2022 - 11 - 29) 全文	1-6
A	DE 102020003662 A1 (DAIMLER AG.) 2020年8月6日 (2020 - 08 - 06) 全文	1-6
A	WO 2023016392 A1 (ZHEJIANG HUARAY TECH. CO. LTD.) 2023年2月16日 (2023 - 02 - 16) 全文	1-6

☐ 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6月13日

国际检索报告邮寄日期

2024年6月17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

王晓琼

电话号码 (+86) 028-62967974

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/081903

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	117665748	A	2024年3月8日	无			
CN	115407358	A	2022年11月29日	无			
DE	102020003662	A1	2020年8月6日	无			
WO	2023016392	A1	2023年2月16日	EP	4359822	A1	2024年5月1日
				KR	20240047400	A	2024年4月12日