

(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
2019 年 3 月 28 日 (28.03.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/057146 A1

(51) 国际专利分类号:
G05D 1/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/106910

(22) 国际申请日: 2018 年 9 月 21 日 (21.09.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710868757.6 2017年9月22日 (22.09.2017) CN

(71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(72) 发明人: 温丰 (WEN, Feng); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。薛常亮 (XUE, Changliang); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。付宇新 (FU, Yuxin); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(74) 代理人: 北京龙双利达知识产权代理有限公司 (LONGSUN LEAD IP LTD.); 中国北京市海淀区北清路68号院3号楼101, Beijing 100094 (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

(54) Title: DATA PROCESSING METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 一种处理数据的方法和装置

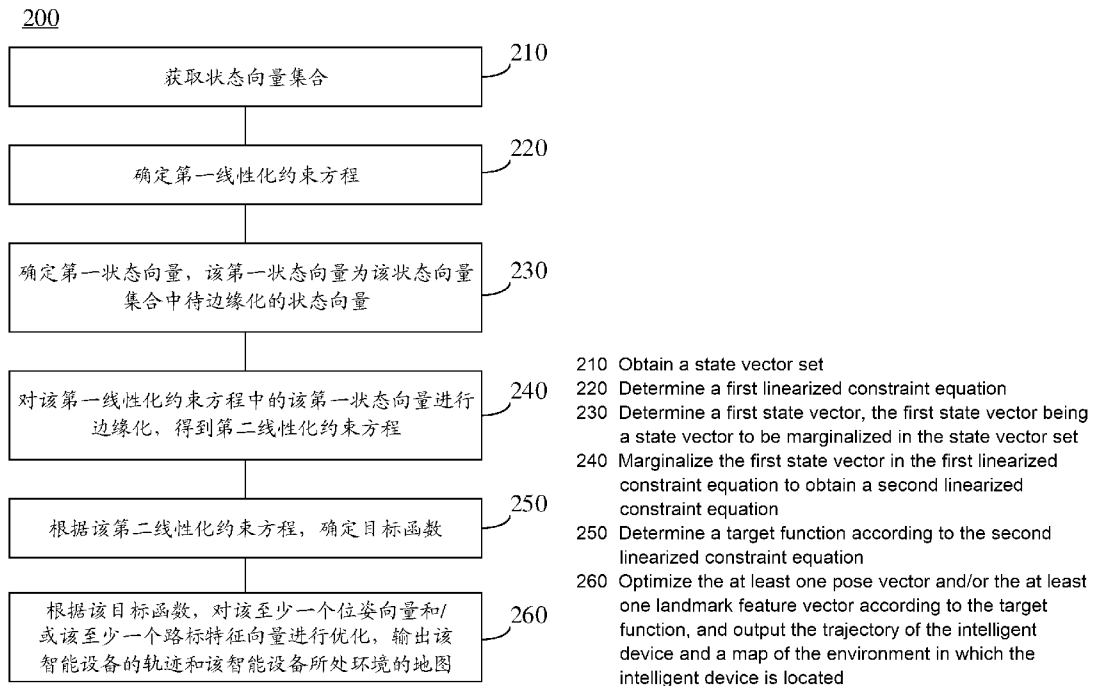


图 2

(57) Abstract: A data processing method and device. The method comprises: obtaining a state vector set (210), the state vector set comprising a pose vector of an intelligent device and/or landmark feature vector of an environment in which the intelligent device is located; determining a first linearized constraint equation (220); determining a first state vector, the first state vector being a state vector to be marginalized in the state vector set (230); marginalizing the first state vector in the first linearized constraint equation to obtain a second linearized constraint equation (240); determining a target function according to the second linearized constraint equation

JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))。

(250); and optimizing the at least one pose vector and/or the at least one landmark feature vector according to the target function, and outputting the trajectory of the intelligent device and a map of the environment in which the intelligent device is located (260). The data processing method facilitates reducing computational resources and computational time overhead, and improves the operation efficiency of an entire SLAM process.

(57) 摘要: 一种处理数据的方法和装置, 该方法包括: 获取状态向量集合(210), 该状态向量集合包括智能设备的位姿向量和/或该智能设备所处环境的路标特征向量; 确定第一线性化约束方程(220); 确定第一状态向量, 该第一状态向量为该状态向量集合中待边缘化的状态向量(230); 对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程(240); 根据该第二线性化约束方程, 确定目标函数(250); 根据该目标函数, 对该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量进行优化, 输出该智能设备的轨迹和该智能设备所处环境的地图(260)。该处理数据的方法, 有助于降低计算资源和计算时间开销, 提升整个SLAM过程的运行效率。

一种处理数据的方法和装置

5 本申请要求于2017年9月22日提交中国专利局、申请号为201710868757.6、申请名称为“一种处理数据的方法和装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

10 本申请涉及人工智能领域，并且更具体地，涉及一种处理数据的方法和装置。

背景技术

15 同时定位与地图构建（Simultaneous Localization And Mapping, SLAM）技术是机器人能够探索未知环境所依赖的关键能力。机器人在没有环境先验信息的情况下，利用自身搭载的传感器（摄像头、激光等）对环境中的特征进行观测，在移动过程中对环境进行持续建模，进而对系统状态向量——环境特征位置与机器人位姿进行估计，同时完成地图构建与自定位。

20 随着机器人在场景中不断移动，以及运动场景的不断扩大，环境特征位置和机器人位姿的数量都会持续增加，导致在通过滤波器或者非线性方法求解时的计算量以及内存开销持续增大，大大降低SLAM过程的实时性，甚至最终造成系统不可正常运行。

25 目前比较常用的是一种基于舒尔补的边缘化方法，在经典SLAM框架中，将后端优化之后的状态向量——机器人位姿和路标特征点，通过舒尔补持续的进行边缘化处理，并将通过边缘化后的状态向量构建新的目标函数作为下一次优化的输入，但是基于舒尔补的边缘化方法在后端优化之后，后端需要对所有的状态向量全部进行优化，并且在边缘化状态向量时，需要对信息矩阵求逆，计算资源和计算时间的开销相对较高。

 因此，如何降低SLAM状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销，提升整个SLAM过程的运行效率成为了一个亟待解决的问题。

发明内容

30 本申请提供一种处理数据的方法，在优化之前先对状态向量进行边缘化处理，有助于降低SLAM状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销，从而提升整个SLAM过程的运行效率，避免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

35 第一方面，提供了一种处理数据的方法，包括：获取智能设备的状态向量集合，所述状态向量集合包括所述智能设备的至少一个位姿向量和/或所述智能设备所处环境的至少一个路标特征向量，所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量用于所述智能设备的定位和所述智能设备所处环境的地图构建；确定第一线性化约束方程，该第一线性化约束方程表示该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的线性化约束关系；确定第一状态向量，所述第一状态向量为所述状态向量集合中待边缘化的状态向量；

对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程, 该第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系, 所述第二状态向量为所述状态向量集合中除所述第一状态向量以外的状态向量; 根据所述第二线性化约束方程, 确定该状态向量的最大似然估计的目标函数; 根据所述目标函数, 对所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量进行优化, 输出所述智能设备的轨迹和所述智能设备所处环境的地图。

因此, 本申请实施例的处理数据的方法, 在优化之前先对状态向量进行边缘化处理, 有助于降低 SLAM 状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销, 从而提升整个 SLAM 过程的运行效率, 避免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

在本申请实施例中, 可以选择至少一个位姿向量中的至少部分作为待边缘化的状态向量, 也可以选择至少一个路标特征向量中的至少部分作为待边缘化的状态向量, 还可以至少一个位姿向量和至少一个路标特征向量中的至少部分作为待边缘化的状态向量。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程, 包括: 根据所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, 对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化, 得到所述第二线性化约束方程。

本申请实施例的处理数据的方法, 通过零空间对状态向量进行边缘化处理, 在不丢失信息的前提下, 去掉状态向量中的非关键状态向量, 避免所有的状态向量全部进行优化, 有助于降低 SLAM 状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销, 从而提升整个 SLAM 过程的运行效率, 避免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述根据所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, 对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化, 得到所述第二线性化约束方程, 包括: 确定所述第一状态向量的雅克比矩阵; 根据所述第一状态向量的雅克比矩阵, 确定所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间; 将所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间左乘所述第一线性化约束方程, 得到所述第二线性化约束方程。

在一些可能的实现方式中, 通过公式

$$H_m^T U_m = 0$$

确定所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间, 其中, H_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵, U_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间。

在一些可能的实现方式中, 所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间为:

$$U_m = I - H_m (H_m^T H_m)^{-1} H_m^T$$

其中, I 为单位矩阵。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述第二线性化约束方程为:

$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T n$$

其中, $\tilde{x}_u$ 为所述第二状态向量的误差向量, H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵, U_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量, n 为高斯白噪声向量。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程之前, 所述方法还包括: 根据所

述第一状态向量, 对所述第一线性化约束方程进行重排列, 重排列后的所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量和所述第二状态向量分离。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述重排列后的所述第一线性化约束方程为:

$$\tilde{z} \approx H_u \tilde{x}_u + H_m \tilde{x}_m + n$$

其中, $\tilde{x}_u$ 为第二状态向量的误差向量, $\tilde{x}_m$ 为所述第一状态向量的误差向量, H_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵, H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵, $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量, n 为高斯白噪声向量。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述方法还包括: 根据所述目标函数, 确定信息矩阵, 所述信息矩阵为下一次处理数据的约束条件。

在一些可能的实现方式中, 所述目标函数为:

$$\min_{\tilde{x}_u} \|z' - H_u' \tilde{x}_u\|_{R^{-1}}^2$$

其中, $z' = U_m^T \tilde{z}$, $H_u' = U_m^T H_u$, R 为 $U_m^T n$ 的协方差。

结合第一方面, 在第一方面的某些实现方式中, 所述确定所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的第一线性化约束方程之前, 所述方法还包括: 确定所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的非线性化约束方程; 根据所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的雅克比矩阵, 对所述非线性化约束方程进行线性化, 得到所述第一线性化约束方程。

在一些可能的实现方式中, 通过高斯-牛顿法对所述非线性化约束方程进行线性优化, 得到第一线性化约束方程。

在一些可能的实现方式中, 所述方法还包括: 根据该目标函数, 确定信息矩阵, 该信息矩阵用于优化并更新该第二状态向量, 并基于优化更新后的第二状态向量, 构建新的约束项, 该约束项用于对下一次处理数据时建立的线性化约束方程进行约束。

在一些可能的实现方式中, 所述信息矩阵为:

$$\Sigma = H_u'^T R^{-1} H_u'$$

其中, Σ 为所述信息矩阵。

在一些可能的实现方式中, 对第二状态向量进行图优化, 对第二状态向量进行更新

$\hat{x}_u^\oplus = \tilde{x}_u + \hat{x}_u$ 并根据得到信息矩阵构建下一次图优化的先验约束:

$$\left\| x_u - \hat{x}_u^\oplus \right\|_{\Sigma^{-1}}^2$$

该先验约束作为下一次数据处理时新的约束加入整个位姿图中, 从而完善整个图优化。

其中, $\tilde{x}_u$ 为要保留的状态向量的误差向量, $\hat{x}_u$ 为要保留的状态向量上一次的估计值, $\hat{x}_u^\oplus$ 为要保留的状态向量更新后的估计值。本申请实施例的处理数据的方法, 在对目标函数优化之前先通过零空间对状态向量进行边缘化处理, 在不丢失信息的前提下, 去掉状态向量中的非关键状态向量, 避免所有的状态向量全部进行优化, 有助于降低 SLAM 状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销, 从而提升整个 SLAM 过程的运行效率, 避

免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

第二方面，提供了一种处理数据的装置，用于执行第一方面或第一方面任一种可能的实现方式。具体地，该处理数据的装置可以包括用于执行第一方面或第一方面任一种可能的实现方式中的方法的单元。

- 5 第三方面，提供了一种处理数据装置，包括：存储器、处理器和通信接口，所述存储器用于存储计算机程序，所述处理器用于从所述存储器中调用并运行所述计算机程序，使得所述处理数据的装置执行上述第一方面或第一方面任一种可能实现方式中的方法。

具体地，所述处理器用于：

- 10 获取智能设备的状态向量集合，所述状态向量集合包括所述智能设备的至少一个位姿向量和/或所述智能设备所处环境的至少一个路标特征向量，所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量用于所述智能设备的定位和所述智能设备所处环境的地图构建；

确定第一线性化约束方程，该第一线性化约束方程表示该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的线性化约束关系；

- 15 确定第一状态向量，所述第一状态向量为所述状态向量集合中待边缘化的状态向量；对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到第二线性化约束方程，该第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系，所述第二状态向量为所述状态向量集合中除所述第一状态向量以外的状态向量；

根据所述第二线性化约束方程，确定该状态向量的最大似然估计的目标函数；

- 20 根据所述目标函数，对所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量进行优化，输出所述智能设备的轨迹和所述智能设备所处环境的地图。

第四方面，提供了一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括：计算机程序（也可以称为代码，或指令），当所述计算机程序在计算机上运行时，使得所述计算机执行上述第一方面或第一方面中任一种可能实现方式中的方法。

- 25 第五方面，提供了一种计算机可读存储介质，用于存储计算机程序，该计算机程序包括用于执行第一方面或第一方面任一种可能实现方式的方法的指令。

本申请实施例在对目标函数优化之前先通过零空间对状态向量进行边缘化处理，在不丢失信息的前提下，去掉状态向量中的非关键状态向量，避免所有的状态向量全部进行优化，有助于降低 SLAM 状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销，从而提升整个 SLAM 过程的运行效率，避免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

30

附图说明

图 1 是本申请实施例的技术方案的一种应用场景的示意图。

图 2 是本申请实施例的处理数据的方法的示意性流程图。

- 35 图 3 是本申请实施例的零空间边缘化方法的示意性流程图。

图 4 是本申请实施例的处理数据的方法的另一示意性流程图。

图 5 是本申请实施例的零空间边缘化方法的另一示意性流程图。

图 6 是本申请实施例的处理数据的方法的再一示意性流程图。

图 7 是本申请实施例的基于零空间的边缘化方法和基于舒尔补的边缘化方法的计算

过程比较。

图 8 是本申请实施例的处理数据的装置的示意性框图。

图 9 是本申请实施例的处理数据的装置的另一示意性框图。

5 具体实施方式

下面将结合附图，对本申请中的技术方案进行描述。

在对本申请实施例的技术方案介绍之前，首先介绍几个关键术语的定义。

零空间：已知 A 为一个 $m \times n$ 的矩阵。 A 的零空间（nullspace），又称核（kernel），是一组由下列公式定义的 n 维向量：

$$\ker(A) = \{\mathbf{x} \in \mathbb{C}^n : A\mathbf{x} = \mathbf{0}\}$$

即线性方程组 $A\mathbf{x} = \mathbf{0}$ 的所有解 $\mathbf{x}$ 的集合。

雅克比矩阵：雅克比矩阵是一阶偏导数以一定的方式排列成的矩阵，设有 m 个 n 元函数组成的函数组： $y_i(x_1, x_2, \dots, x_n) (i=1, 2, \dots, m)$ ，称之为函数组。对这个函数组取一阶导数，获得下面的雅克比矩阵：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \frac{\partial y_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial y_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial y_2}{\partial x_1} & \frac{\partial y_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial y_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial y_m}{\partial x_1} & \frac{\partial y_m}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial y_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

本申请实施例适用于同时定位与地图构建（Simultaneous Localization And Mapping, SLAM）领域以及任何用于非线性估计问题中的状态边缘化处理的智能设备（Intelligent Equipment）中。

应理解，智能设备是指任何一种具有计算处理能力的设备、器械或者机器，本申请实施例中的智能设备可以是机器人（Robot）、自动驾驶汽车（Autonomous Vehicles）、无人机（Unmanned Aerial Vehicle）、智能家居（Smart Home）和手机终端等，本申请对该智能设备并不做任何限定。

图 1 示出了本申请实施例的技术方案的一种应用场景的示意图，如图 1 所示，本申请实施例的技术方案适用于机器人的 SLAM 系统 100 中，该 SLAM 系统包括前端（Front-end）110 和后端（Back-end）120，其中，前端 110 主要完成传感器的数据采集和数据关联，而后端 120 主要功能是对前端产生的模型进行参数估计以及优化。下面以机器人为例对本申请实施例的技术方案进行描述。

图 2 示出了根据本申请实施例的处理数据的方法 200 的示意性流程图，如图 2 所示，该方法 200 可以由图 1 中的 SLAM 系统 100 执行，该方法 200 包括：

S210，获取智能设备的状态向量集合，该状态向量集合包括该智能设备的至少一个位姿向量和/或该智能设备所处环境的至少一个路标特征向量，该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量用于该智能设备的定位和该智能设备所处环境的地图构建。

具体而言，该机器人的 SLAM 系统 100 中前端 110 获取视觉传感器、惯性传感器 IMU

的数据,提取机器人的至少一个位姿向量,并对获取的图像进行和 IMU 数据进行时间同步,提取视觉图像信息中的该机器人所处环境的至少一个路标特征向量,并进行特征匹配。

应理解,特征匹配就是确定两次获取的图像数据哪些对应的是同一个路标特征。

例如,机器人在运动过程中会产生一条轨迹 $(x_1, x_2, \dots, x_k)$,由于机器人的运动符合一定的运行学模型规律,基于该 IMU 数据和运动模型,建立机器人的运动方程:

$$x_k = f_k(x_{k-1}, u_k) + w_k \quad (1)$$

其中, u_k 表示来自于里程计、惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)等运动传感器的观测值, w_k 是协方差 Q_k 为的高斯白噪声。

应理解,视觉传感器提取的是路标特征向量,但是视觉传感器可以通过上下两帧的数据推算出机器人的位姿向量,惯性传感器提取的是该机器人的位姿向量。

又例如,机器人在运动场景中存在许多路标,而机器人在运动过程的每个位置,都会通过传感器测量到一定的路标点,得到相应的观测值。进而机器人依靠观测模型来检测和跟踪特征,基于上述提取的该路标特征向量、观测模型以及上一帧优化之后的位姿作为先验信息,建立机器人的观测方程:

$$z_{kj} = h_{kj}(x_k, x_{fj}) + v_{kj} \quad (2)$$

其中, z_{kj} 表示机器人在位姿 x_k 时对于特征 x_{fj} 的观测值, v_{kj} 是协方差 R_k 为的高斯白噪声。

应理解,S210 获取状态向量集合可以由图 1 中 SLAM 系统 100 的前端 110 执行。

还应理解,噪声是满足 $N(0, \sigma^2)$ 的高斯分布,这里的 0 表示均值, σ^2 表示方差,对应到具体的运动方程中噪声的方差就是 Q_k ,对应到具体的观测方程中噪声的方差就是 R_k 。

S220,确定第一线性化约束方程,该第一线性化约束方程表示该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的线性化约束关系。

具体而言,在 S210 获取该机器人的至少一个位姿向量和/或该机器人所处环境的至少一个路标特征向量,所建立的运动方程(1)和观测方程(2)为该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的非线性化方程,通过该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的雅克比矩阵,将该非线性方程线性化。

应理解,构建线性约束方程主要是将状态向量的非线性化的约束表示转换成线性化的数学表达以简化求解过程。

还应理解,S220 确定该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的第一线性化约束方程可以由 SLAM 系统 100 的后端 120 执行。

分别计算约束方程中运动方程(1)和观测方程(2)的雅克比矩阵 F_k 和 H_{kj} 、 H_{fj} :

$$F_k = \frac{\partial f_k}{\partial x_k}, H_{kj} = \frac{\partial h_{kj}}{\partial x_k}, H_{fj} = \frac{\partial h_{kj}}{\partial x_{fj}} \quad (3)$$

这里 F_k 为机器人位姿在运动模型中状态 k 的雅克比矩阵, H_{kj} 和 H_{fj} 分别为机器人位姿向量和路标特征向量在观测方程中状态 k 的雅克比矩阵。

利用雅克比矩阵线性化约束方程后得到第一线性化约束方程:

$$\text{线性化的运动方程: } \tilde{x}_k \approx F_{k-1} \tilde{x}_{k-1} + w_k \quad (4)$$

$$\text{线性化的观测方程: } \tilde{z}_{kj} \approx H_{kj} \tilde{x}_k + H_{fj} \tilde{x}_{fj} + v_{kj} \quad (5)$$

S230,确定第一状态向量,该第一状态向量为该状态向量集合中待边缘化的状态向量。

具体而言, 根据当前 SLAM 应用场景, 可以从机器人的位姿向量和路标特征向量两者中选择一个作为具体的要进行边缘化处理状态向量, 也可以将两者同时作为待边缘化的状态向量。

应理解, 利用确定的待优化的状态向量对线性化的约束方程进行重排, 为后续的边缘化操作做好准备。

还应理解, S230 确定第一状态向量可以由 SLAM 系统 100 的后端 120 执行。

例如, 可以通过滑动窗口的方法, 将窗口中距离机器人当前状态点时间比较久的点作为实际要边缘化掉的点, 首先设置滑动窗口的大小为 D (仅在系统初始化时执行), 将当前窗口内观测到的 (k-D) 时刻的位姿向量和所有的路标特征向量作为要边缘化的状态向量。

又例如, 可以通过视差法, 将与机器人当前状态点观测视差较小的点作为实际的要边缘化掉的点。

应理解, S220 和 S230 并没有实际的先后顺序, 可以先确定该第一线性化约束方程, 后确定待边缘化的状态向量, 也可以先确定待边缘化的状态向量, 后确定该第一线性化约束方程, 本申请并不限于此。

S240, 对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程, 该第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系, 该第二状态向量为该状态向量集合中除该第一状态向量以外的状态向量。

可选地, 在对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到第二状态向量的第二线性化约束方程之前, 该方法还包括:

根据该第一状态向量, 对该第一线性化约束方程进行重排列, 重排列后的该第一线性化约束方程中的该第一状态向量和该第二状态向量分离。

例如, 在 S230 中确定将当前窗口内观测到的 (k-D) 时刻的位姿向量和所有的路标特征向量作为待边缘化的状态向量, 重排列步骤 S220 建立的线性化约束方程, 将待边缘化的状态向量分离出来, 得到排列后的第一线性化约束方程 (6):

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \tilde{z}_{k1} \\ \vdots \\ \tilde{z}_{kj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -F_{k-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & -F_{k-2} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ H_{k1} & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ H_{kj} & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_k \\ \tilde{x}_{k-1} \\ \vdots \\ \tilde{x}_{k-D+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ -F_{k-D} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & H_{f1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & H_{fj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{k-D} \\ \tilde{x}_{f1} \\ \vdots \\ \tilde{x}_{fj} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -w_k \\ \vdots \\ -w_{k-D} \\ V_{k1} \\ \vdots \\ V_{kj} \end{bmatrix} \quad (6)$$

将重排列后的第一线性化约束方程记为:

$$\tilde{z} \approx H_u \tilde{x}_u + H_m \tilde{x}_m + n \quad (7)$$

其中, $\tilde{x}_u$ 表示要保留的状态向量的误差向量, H_u 为要保留的状态向量的雅克比矩阵, $\tilde{x}_m$ 为待边缘化的状态向量的误差向量, H_m 为待边缘化的状态向量的雅克比矩阵, $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量, n 为高斯白噪声向量。

应理解, 该第一状态向量和该第一状态向量的误差向量存在一个差值, 该第二状态向量和该第二状态向量的误差向量也存在一个差值, 上述重排列后的第一线性化约束方程中 $\tilde{x}_u$ 和 $\tilde{x}_m$ 分离也可以理解为该第一状态向量和该第二状态向量分离。

还应理解, S240 确定该第二线性化约束方程可以由 SLAM 系统 100 的后端 120 执行。

本申请实施例中, 为了保持 SLAM 状态向量有界, 需要限制状态向量的数据, 以降低计算开销和计算时间, 所以在优化之前对状态向量进行边缘化处理, 确定状态向量集合中非关键的状态向量, 避免所有的状态向量全部进行优化, 通过对第一线性化约束方程中待边缘化的状态向量进行边缘化, 得到该第二状态向量的第二线性化约束方程, 使得第二线性化约束方程中只保留需要的状态向量。

可选地, 对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到第二状态向量的第二线性化约束方程, 包括:

根据该第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, 对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到该第二线性化约束方程。

图 3 示出了根据本申请实施例的零空间边缘化方法 300 的示意性流程图, 如图 3 所示, 该零空间边缘化方法 300 可以由图 1 中 SLAM 系统的后端 120 执行, 该方法 300 包括:

S310, 确定该第一状态向量的雅克比矩阵。

具体而言, 公式 (7) 中的 H_m 即为待边缘化的状态向量的雅克比矩阵。

S320, 根据该第一状态向量的雅克比矩阵, 确定该第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间。

具体而言, 计算待边缘化状态向量的雅克比矩阵的左零空间, 根据线性化之后的约束方程 (7), 求解 H_m 对应的左零空间 U_m , 求解方程为:

$$H_m^T U_m = 0 \quad (8)$$

给出一种解析解的方式对左零空间进行求解, U_m 的解析解表示为:

$$U_m = I - H_m(H_m^T H_m)^{-1} H_m^T \quad (9)$$

S330, 将该第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间左乘该第一线性化约束方程, 得到该第二线性化约束方程。

具体而言, 将计算得到的左零空间 U_m 左乘重排列后的第一线性化约束方程, 方程如下所示:

$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T H_m \tilde{x}_m + U_m^T n \quad (10)$$

由于 $H_m^T U_m = 0$, 所以最终得到的第二线性化约束方程为:

$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T n \quad (11)$$

本申请实施例的零空间边缘化方法, 通过待边缘化状态向量的零空间, 去掉状态向量中非关键的状态向量, 有助于降低计算时间。

S250, 根据该第二线性化约束方程, 确定该状态向量的最大似然估计的目标函数。

应理解, 最大似然估计 (Maximum Likelihood, ML) 也称为最大概率估计, 是一种具有理论性的点估计法, 该方法的基本思想是: 当从模型总体随机抽取 n 组样本观测值后, 最合理的参数估计量应该使得从模型中抽取该 n 组样本观测值的概率最大。

具体而言, 根据新构建的第二线性化约束方程, 可以构建新的优化目标函数用于 SLAM 系统 100 的后端 120 进行优化, 具体的, 根据新构建的约简后的第二线性化约束方程 (11), 构建优化目标函数, 得到:

$$\min_{\tilde{x}_u} \left\| \tilde{z}' - H_u' \tilde{x}_u \right\|_{R^{-1}}^2 \quad (12)$$

其中, $z' = U_m^T \tilde{z}$, $H_u' = U_m^T H_u$, R 为 $U_m^T n$ 的协方差。

可选地, 该处理数据的方法 100 还包括:

可选地, 所述方法还包括:

- 5 根据该目标函数, 确定信息矩阵, 该信息矩阵用于优化并更新该第二状态向量, 并基于优化更新后的第二状态向量, 构建新的约束项, 该约束项用于对下一次处理数据时建立的线性化约束方程进行约束。

具体而言, 在得到式 (12) 后, 根据式 (12) 计算边缘化后的信息矩阵如下:

$$\Sigma = H_u'^T R^{-1} H_u' \quad (13)$$

- 10 具体而言, 根据该目标函数, 通过图优化方法估计该第二状态向量的最优值, 并确定信息矩阵, 共同作为下一次数据处理的约束条件。

S260, 根据该目标函数, 对该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量进行优化, 输出该智能设备的轨迹和该智能设备所处环境的地图。

- 15 具体而言, 基于约简后的目标函数, 利用扩展卡尔曼滤波器 (Extended Kalman Filter, EKF) 方法或者非线性优化方法, 对所有的状态向量 (机器人的位姿向量和当前机器人所处环境的路标特征向量) 进行最优估计和优化, 得到该机器人的轨迹和该机器人所处环境的地图。对第二状态向量进行图优化, 并对第二状态向量进行更新 $\hat{x}_u^\oplus = \tilde{x}_u + \hat{x}_u$, 根据得到的信息矩阵构建下一次图优化的先验约束:

$$\left\| x_u - \hat{x}_u^\oplus \right\|_{\Sigma^{-1}}^2 \quad (14)$$

- 20 作为下次优化时新的约束加入整个位姿图中, 完善整个图优化。

- 其中, $\tilde{x}_u$ 为要保留的状态向量的误差向量, $\hat{x}_u$ 为要保留的状态向量上一次的估计值, $\hat{x}_u^\oplus$ 为要保留的状态向量更新后的估计值。本申请实施例的处理数据的方法, 在对目标函数优化之前先通过零空间对状态向量进行边缘化处理, 在不丢失信息的前提下, 去掉状态向量中的非关键状态向量, 避免所有的状态向量全部进行优化, 有助于降低 SLAM 状态向量估计过程中的计算资源和计算时间开销, 从而提升整个 SLAM 过程的运行效率, 避免状态向量持续增大造成的系统崩溃问题。

作为一个具体的实施例, 图 4 示出了根据本申请实施例的处理数据的方法 400 的示意性流程图, 如图 4 所示, 该方法 400 包括:

S410, 获取传感器的测量值。

- 30 采集相机、IMU 等传感器信息, 对相机的图像信息进行预测, 对相机、IMU 等传感器数据进行同步, 获取智能设备当前位姿的观测状态量。

S420, 建立状态向量的非线性化约束关系。

通过运动方程 (1) 和观测方程 (2), 建立相邻帧之间传感器数据的约束关系, 进而通过约束关系的传导建立所有状态向量之间的非线性化约束关系。

- 35 S430, 基于零空间的边缘化处理。

对 S420 建立的所有状态向量之间的非线性化约束关系进行线性化处理, 利用左零空间去除状态向量中的非关键的状态向量, 并根据要保留的状态向量的约束构建优化目标函

数。

S440, 对 S430 处理得到的目标函数进行优化。

基于约简后的目标函数, 利用 EKF 方法或者非线性优化方法, 对所有的状态向量进行最优估计和优化, 得到全局一致的轨迹和地图。

- 5 应理解, S410 和 S420 可以由 SLAM 系统 100 的前端 110 处理, S430 和 S440 可以由 SLAM 系统 100 的后端 120 处理。

作为另一个具体的实施例, 图 5 示出了根据本申请实施例的基于零空间边缘化处理方法 500 的示意性流程图, 如图 5 所示, 该方法 500 包括:

S510, 构建线性化约束方程。

- 10 构建线性约束方程主要是将状态向量的非线性化的约束表示转换成线性化的数学表达以简化求解过程。同时, 利用确定的待优化的状态向量对线性化的约束方程进行重排, 为后续的边缘化操作做好准备。其主要涉及以下 2 个步骤:

S511, 确定待边缘化的状态向量。

- 15 根据当前 SLAM 过程的应用场景, 确定是对智能设备的位姿向量或者该智能设备所处环境的路标特征向量进行边缘化, 同时确定对哪些位姿向量或者路标特征向量进行边缘化处理。

S512, 线性化约束方程。

计算状态向量的雅克比矩阵, 并利用雅克比矩阵构建状态向量的线性化约束方程, 根据确定的待边缘化的状态向量, 对线性化方程进行重排。

- 20 S520, 计算左零空间。

计算左零空间主要是完成对待边缘化状态向量的雅克比矩阵的左零空间的计算操作。

S530, 约简目标函数。

- 25 约简目标函数主要是对线性化方程进行左乘零空间的运算, 去除线性化约束方程中非关键的状态向量, 得到边缘化之后的线性化约束方程, 并根据边缘化之后的线性方程构建新的优化目标函数。其主要涉及以下 2 个步骤:

S531, 零空间左乘线性化约束方程。

将待边缘化状态向量的雅克比矩阵的零空间左乘线性化约束方程, 去除线性化方程中非关键的状态向量。

S532, 构建约简后的目标函数。

- 30 在去除非关键状态向量后, 得到新的状态向量的约束表示, 依据新的约束表示构建新的优化目标函数。

作为一个具体的实施例, 图 6 示出了根据本申请实施例的处理数据方法 600 的示意性流程图, 如图 6 所示, 该方法 600 包括:

- 35 S601, 获取视觉传感器、惯性传感器 IMU 的数据, 并对获取的图像和 IMU 数据进行时间同步;

S602, 提取视觉图像信息中的环境路标特征向量, 并进行特征匹配;

S603, 建立该至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的非线性化约束方程, 包括运动方程和观测方程, 基于 S601 的 IMU 数据和运动模型, 建立智能设备的运动方程; 基于 S602 提取的路标特征向量、观测模型和上一帧优化之后的位姿作为先验信息, 建立

观测观测方程;

S604, 确定待边缘化的状态向量, 通过滑动窗口的方法或者视差法, 确定位姿向量和路标特征向量中待边缘化的状态向量;

5 S605, 线性化 S603 建立的非线性化约束方程, 分别计算 S603 中运动方程和观测方程的雅克比矩阵, 根据该雅克比矩阵, 线性化 S603 中的非线性化约束方程, 得到第一线性化约束方程;

S606, 重排列 S605 建立的线性化约束方程, 将待边缘化的状态向量分离出来, 根据 S604 中确定的待边缘化的状态向量, 将 S605 建立的第一线性化约束方程重排列, 将该第一线性化约束方程中要保留的状态向量和待边缘化的状态向量分离;

10 S607, 计算待边缘化向量的雅克比矩阵的左零空间, 根据 S606 中重排列后的第一线性化约束方程, 求解该待边缘化的状态向量的左零空间;

S608, 边缘化状态向量, 确定约简后的线性化约束方程, 利用 S607 计算得到的该待边缘化的状态向量的左零空间左乘该 S606 中重排列后的该第一线性化约束方程, 得到约简后的第二线性化约束方程;

15 S609, 基于 S608 中确定的约简后的第二线性化约束方程, 构建目标函数, 计算边缘化后的信息矩阵;

S610, 对目标函数进行图优化, 并根据 S609 得到的信息矩阵构建下一次优化的先验约束;

20 S611, 如果 SLAM 过程结束, 则输出该智能设备的全部位姿和该智能设备所处环境的地图; 否则, 循环执行步骤 S601 到 S610。

表 1 示出了根据本申请实施例的基于舒尔补边缘化方法与基于零空间边缘化方法的计算时间比较, 由表 1 可以看出, 相比于舒尔补边缘化方法, 基于零空间边缘化方法的运行效率是其 4.6 倍。

表 1

边缘化算法	平均运行时间 (s)
基于舒尔补的边缘化算法	0.0440574
基于零空间的边缘化算法	0.00953969

25 图 7 示出了根据本申请实施例的零空间方法和舒尔补方法的计算步骤比较, 如图 7 所示, 对比分析两者的计算复杂度, 假设 m 个机器人位姿跟踪 n 个路标特征, 黑框表示两种边缘化方法中最耗时的步骤, 通常情况下 n 是远大于 m 的, 由此可见, 零空间方法计算复杂度要小于舒尔补方法。

30 以上结合如 2 至图 7, 对本申请实施的数据处理的方法进行了详细描述, 下面结合图 8 至图 9, 对本申请实施例的处理数据的装置进行详细描述。

图 8 示出了根据本申请实施例的处理数据的装置 700 的示意性框图, 如图 8 所示, 该装置 700 包括:

35 获取单元 710, 用于获取智能设备的状态向量集合, 该状态向量集合包括智能设备的至少一个位姿向量和/或该智能设备所处环境的至少一个路标特征向量, 该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量用于该智能设备的定位和该智能设备所处环境的地图构建;

确定单元 720, 用于确定第一线性化约束方程, 该第一线性化约束方程表示该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量的线性化约束关系;

该确定单元 720 还用于确定第一状态向量, 该第一状态向量为该状态向量集合中待边缘化的状态向量;

- 5 边缘化单元 730, 用于对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到第二线性化约束方程, 该第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系, 该第二状态向量为该状态向量集合中除该第一状态向量以外的状态向量;

该确定单元 720 还用于根据该第二线性化约束方程, 确定该状态向量的最大似然估计的目标函数;

- 10 优化单元 740, 用于根据该目标函数, 对该至少一个位姿向量和/或该至少一个路标特征向量进行优化, 输出该智能设备的轨迹和该智能设备所处环境的地图。

可选地, 该边缘化单元 730 具体用于:

根据该第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, 对该第一线性化约束方程中的该第一状态向量进行边缘化, 得到该第二线性化约束方程。

- 15 可选地, 该边缘化单元具体用于:

确定该第一状态向量的雅克比矩阵;

根据该第一状态向量的雅克比矩阵, 确定该第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间;

将该第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间左乘该第一线性化约束方程, 得到该第二线性化约束方程。

- 20 可选地, 该第二线性化约束方程为:

$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T n$$

其中, $\tilde{x}_u$ 为该第二状态向量的误差向量, H_u 为该第二状态向量的雅克比矩阵, U_m 为该第一状态向量的雅克比矩阵的零空间, $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量, n 为高斯白噪声向量。

- 25 可选地, 该装置 700 还包括:

重排列单元, 用于根据该第一状态向量, 对该第一线性化约束方程进行重排列, 重排列后的该第一线性化约束方程中的该第一状态向量和该第二状态向量分离。

可选地, 该重排列后的该第一线性化约束方程为:

$$\tilde{z} \approx H_u \tilde{x}_u + H_m \tilde{x}_m + n$$

- 30 其中, $\tilde{x}_u$ 为第二状态向量的误差向量, $\tilde{x}_m$ 为该第一状态向量的误差向量, H_m 为该第一状态向量的雅克比矩阵, H_u 为该第二状态向量的雅克比矩阵, $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量, n 为高斯白噪声向量。

可选地, 该确定单元 720 还用于:

根据该目标函数, 确定信息矩阵, 该信息矩阵为下一次处理数据的约束条件。

- 35 可选地, 该确定单元还用于:

确定该至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的非线性化约束方程;

根据该至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的雅克比矩阵, 对该非线性化约束方程进行线性化, 得到该第一线性化约束方程。

可选地, 该确定单元 720 还用于:

根据该目标函数，确定信息矩阵，该信息矩阵用于优化并更新该第二状态向量，并基于优化更新后的第二状态向量，构建新的约束项，该约束项用于对下一次处理数据时建立的线性化约束方程进行约束。

应理解，处理数据的装置 700 可以对应于根据本申请实施例的处理数据的方法 200 中的 SLAM 系统，该处理数据的装置 700 可以包括用于执行图 2 中处理数据的方法 200 的 SLAM 系统执行的方法的模块。并且，该处理数据的装置 700 中的各模块和上述其他操作和/或功能分别为了实现图 2 中处理数据的方法 200 的相应流程，具体地，获取单元 710 用于执行方法 200 中的步骤 210，确定单元 720 用于执行方法 200 中的步骤 220、步骤 230 和步骤 250，边缘化单元 730 用于执行方法 200 中的步骤 240，优化单元 740 用于执行方法 200 中的步骤 260，各单元执行上述相应步骤的具体过程在方法 200 中已经详细说明，为了简洁，在此不再赘述。

图 9 是本申请实施例提供的处理数据的装置 800 的结构示意图。如图 9 所示，该处理数据的装置 800 包括：处理器 810、存储器 820 和通信接口 830。其中，存储器 820 中存储有指令，处理器 810 用于执行存储器 820 中的指令，当该指令被执行时，该处理器 810 用于执行上述方法实施例提供的方法，处理器 810 还用于控制通信接口 830 与外界进行通信。

具体地，处理数据的装置 800 可以对应于根据本申请实施例的 SLAM 系统 100，该处理数据的装置 800 可以包括用于执行图 2 中处理数据的方法 200 的 SLAM 系统 100 执行的方法的模块。并且，该处理数据的装置 800 中的各模块和上述其他操作和/或功能分别为了实现图 2 中处理数据的方法 200 的相应流程。各模块执行上述相应步骤的具体过程在方法 200 中已经详细说明，为了简洁，在此不再赘述。

本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质包括计算机程序，当其在计算机上运行时，使得该计算机执行上述方法实施例提供的方法。

本申请实施例还提供一种包含指令的计算机程序产品，当该计算机程序产品在计算机上运行时，使得该计算机执行上述方法实施例提供的方法。

应理解，本申请实施例中，该处理器可以为中央处理单元（central processing unit，CPU），该处理器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。

还应理解，本申请实施例中的存储器可以是易失性存储器或非易失性存储器，或可包括易失性和非易失性存储器两者。其中，非易失性存储器可以是只读存储器（read-only memory，ROM）、可编程只读存储器（programmable ROM，PROM）、可擦除可编程只读存储器（erasable PROM，EPROM）、电可擦除可编程只读存储器（electrically EPROM，EEPROM）或闪存。易失性存储器可以是随机存取存储器（random access memory，RAM），其用作外部高速缓存。通过示例性但不是限制性说明，许多形式的随机存取存储器（random access memory，RAM）可用，例如静态随机存取存储器（static RAM，SRAM）、动态随机存取存储器（DRAM）、同步动态随机存取存储器（synchronous DRAM，SDRAM）、

双倍数据速率同步动态随机存取存储器（double data rate SDRAM，DDR SDRAM）、增强型同步动态随机存取存储器（enhanced SDRAM，ESDRAM）、同步连接动态随机存取存储器（synchlink DRAM，SLDRAM）和直接内存总线随机存取存储器（direct rambus RAM，DR RAM）。

5 本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

10 所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统、装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

15 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单元来实现本实施例方案的目的。

20 另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

所述功能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，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，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（Read-Only Memory，ROM）、随机存取存储器（Random Access Memory，RAM）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

30 以上所述，仅为本申请的具体实施方式，但本申请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申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

35

权 利 要 求 书

1、一种处理数据的方法，其特征在于，包括：

5 获取智能设备的状态向量集合，所述状态向量集合包括所述智能设备的至少一个位姿向量和/或所述智能设备所处环境的至少一个路标特征向量，所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量用于所述智能设备的定位和所述智能设备所处环境的地图构建；

确定第一线性化约束方程，所述第一线性化约束方程表示所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量的线性化约束关系；

10 确定第一状态向量，所述第一状态向量为所述状态向量集合中待边缘化的状态向量；
对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到第二线性化约束方程，所述第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系，所述第二状态向量为所述状态向量集合中除所述第一状态向量以外的状态向量；

根据所述第二线性化约束方程，确定所述状态向量的最大似然估计的目标函数；

15 根据所述目标函数，对所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量进行优化，输出所述智能设备的轨迹和所述智能设备所处环境的地图。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到第二线性化约束方程，包括：

20 根据所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间，对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到所述第二线性化约束方程。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间，对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到所述第二线性化约束方程，包括：

确定所述第一状态向量的雅克比矩阵；

25 根据所述第一状态向量的雅克比矩阵，确定所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间；

将所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间左乘所述第一线性化约束方程，得到所述第二线性化约束方程。

4、根据权利要求 2 或 3 所述的方法，其特征在于，所述第二线性化约束方程为：

30
$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T n$$

其中， $\tilde{x}_u$ 为所述第二状态向量的误差向量， H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵， U_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间， $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量， n 为高斯白噪声向量。

35 5、根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法，其特征在于，所述对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到第二线性化约束方程之前，所述方法还包括：

根据所述第一状态向量，对所述第一线性化约束方程进行重排列，重排列后的所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量和所述第二状态向量分离。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述重排列后的所述第一线性化约束方程为：

$$\tilde{z} \approx H_u \tilde{x}_u + H_m \tilde{x}_m + n$$

5 其中， $\tilde{x}_u$ 为第二状态向量的误差向量， $\tilde{x}_m$ 为所述第一状态向量的误差向量， H_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵， H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵， $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量， n 为高斯白噪声向量。

7、根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法，其特征在于，所述确定所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的第一线性化约束方程之前，所述方法还包括：

确定所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的非线性化约束方程；

10 根据所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的雅克比矩阵，对所述非线性化约束方程进行线性化，得到所述第一线性化约束方程。

8、一种处理数据的装置，其特征在于，包括：

15 获取单元，用于获取智能设备的状态向量集合，所述状态向量集合包括所述智能设备的至少一个位姿向量和/或所述智能设备所处环境的至少一个路标特征向量，所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量用于所述智能设备的定位和所述智能设备所处环境的地图构建；

确定单元，用于确定第一线性化约束方程，所述第一线性化约束方程表示所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量的线性化约束关系；

20 所述确定单元还用于确定第一状态向量，所述第一状态向量为所述状态向量集合中待边缘化的状态向量；

边缘化单元，用于对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到第二线性化约束方程，所述第二线性化约束方程表示第二状态向量的线性化约束关系，所述第二状态向量为所述状态向量集合中除所述第一状态向量以外的状态向量；

25 所述确定单元还用于根据所述第二线性化约束方程，确定所述状态向量的最大似然估计的目标函数；

优化单元，用于根据所述目标函数，对所述至少一个位姿向量和/或所述至少一个路标特征向量进行优化，输出所述智能设备的轨迹和所述智能设备所处环境的地图。

9、根据权利要求 8 所述的装置，其特征在于，所述边缘化单元具体用于：根据所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间，对所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量进行边缘化，得到所述第二线性化约束方程。

10、根据权利要求 9 所述的装置，其特征在于，所述边缘化单元具体用于：

确定所述第一状态向量的雅克比矩阵；

根据所述第一状态向量的雅克比矩阵，确定所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间；

35 将所述第一状态向量的雅克比矩阵的左零空间左乘所述第一线性化约束方程，得到所述第二线性化约束方程。

11、根据权利要求 9 或 10 所述的装置，其特征在于，所述第二线性化约束方程为：

$$U_m^T \tilde{z} \approx U_m^T H_u \tilde{x}_u + U_m^T n$$

其中， $\tilde{x}_u$ 为所述第二状态向量的误差向量， H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵， U_m

为所述第一状态向量的雅克比矩阵的零空间， $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量， n 为高斯白噪声向量。

12、根据权利要求8至11中任一项所述的装置，其特征在于，所述装置还包括：

5 重排列单元，用于根据所述第一状态向量，对所述第一线性化约束方程进行重排列，重排列后的所述第一线性化约束方程中的所述第一状态向量和所述第二状态向量分离。

13、根据权利要求12所述的装置，其特征在于，所述重排列后的所述第一线性化约束方程为：

$$\tilde{z} \approx H_u \tilde{x}_u + H_m \tilde{x}_m + n$$

10 其中， $\tilde{x}_u$ 为第二状态向量的误差向量， $\tilde{x}_m$ 为所述第一状态向量的误差向量， H_m 为所述第一状态向量的雅克比矩阵， H_u 为所述第二状态向量的雅克比矩阵， $\tilde{z}$ 为被观测向量的残差向量， n 为高斯白噪声向量。

14、根据权利要求8至13中任一项所述的装置，其特征在于，所述确定单元还用于：确定所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的非线性化约束方程；

15 根据所述至少一个位姿向量和/或至少一个路标特征向量的雅克比矩阵，对所述非线性化约束方程进行线性化，得到所述第一线性化约束方程。

15、一种计算机可读存储介质，其特征在于，包括计算机程序，当所述计算机程序在计算机上运行时，使得所述计算机执行权利要求1至7中任一项所述的处理数据方法。

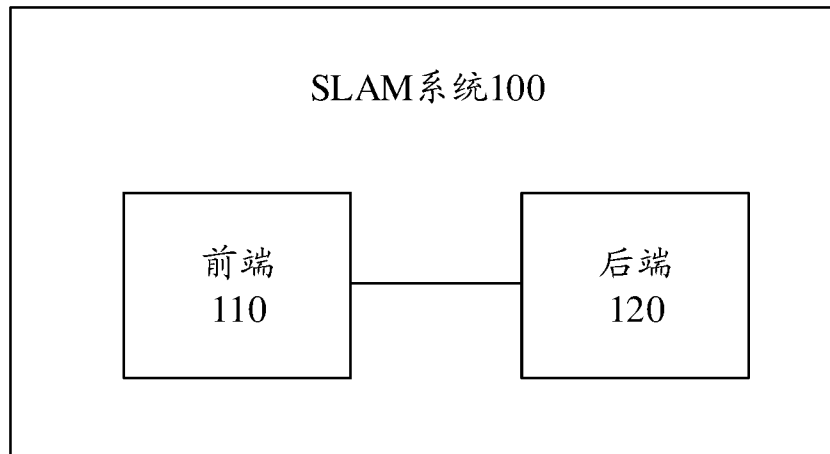


图 1

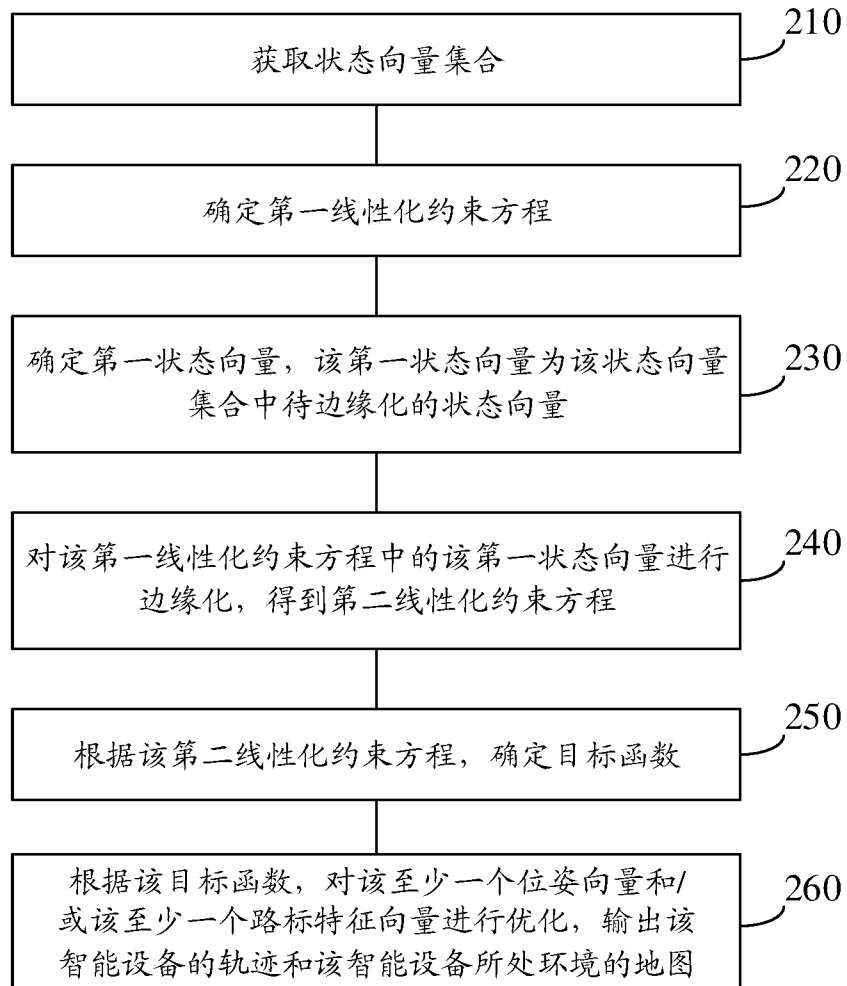
200

图 2

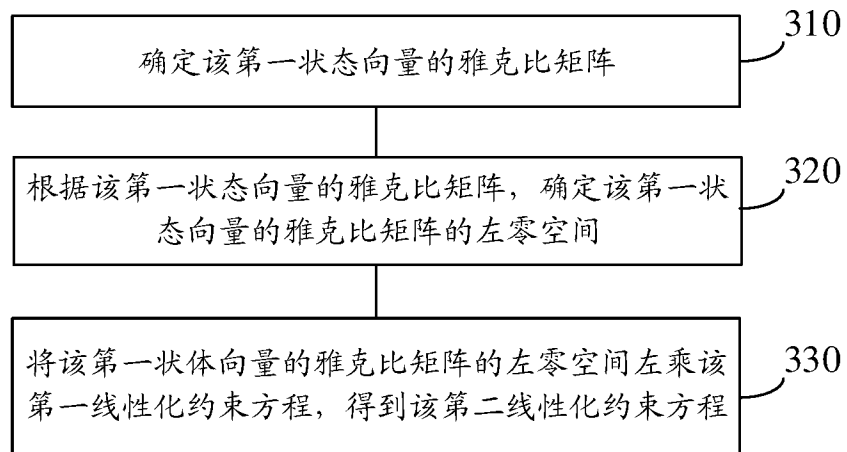
300

图 3

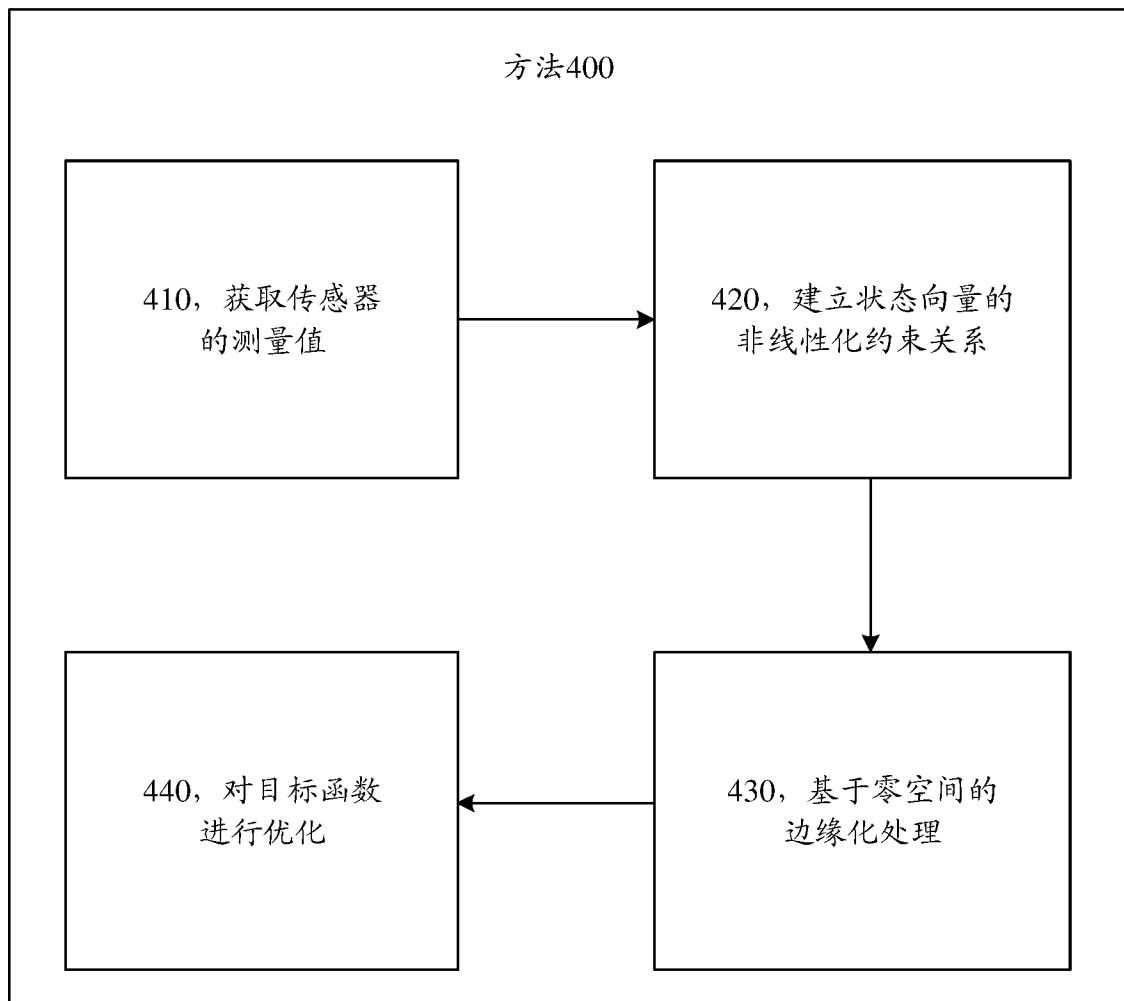


图 4

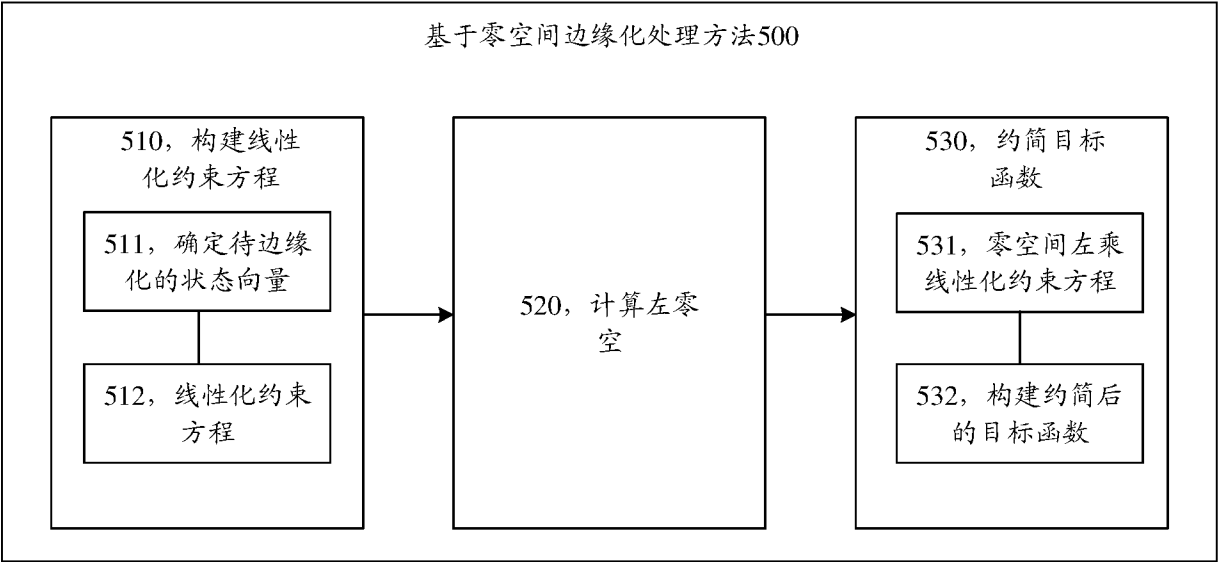


图 5

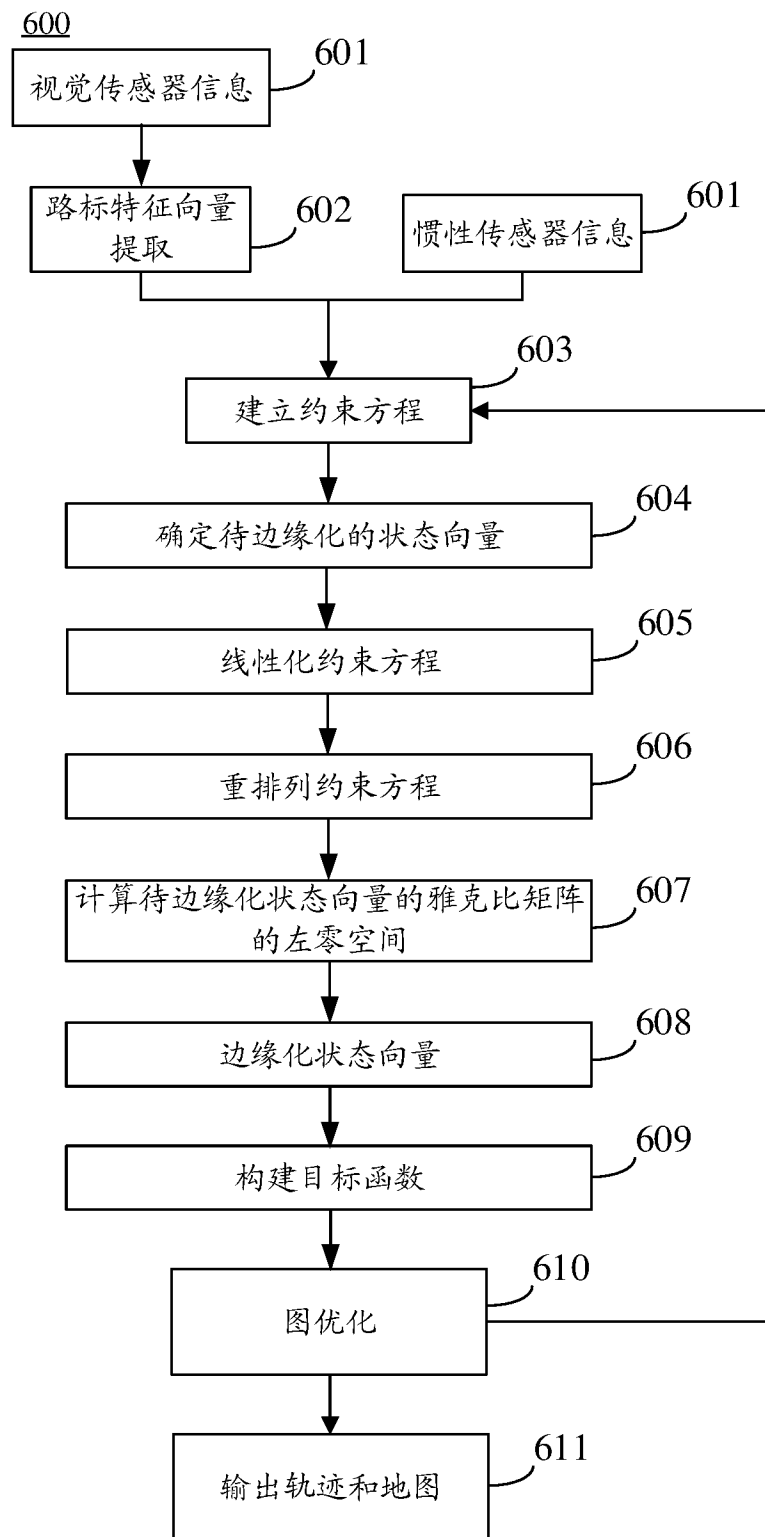


图 6

舒尔补方法的计算过程			零空间方法的计算过程		
步骤 (step)	操作	复杂度	步骤 (step)	操作	复杂度
Step SC1	$H_x^T H_x$	$O(m^2 n)$	Step NS1	$U_s^T H_x$	$O(mn)$
Step SC2	$H_x^T H_f$	$O(m^2 n^2)$	Step NS2	$(U_s^T H_x)^T U_s^T H_x$	$O(m^3 n)$
Step SC3	$H_f^T H_f$	$O(mn^3)$			
Step SC4	$(H_f^T H_f)^{-1}$	$O(n^3)$			
Step SC5	$H_x^T H_f (H_f^T H_f)^{-1}$	$O(mn^2)$			
Step SC6	$H_x^T H_f (H_f^T H_f)^{-1} H_f^T H_x$	$O(m^2 n)$			
Step SC7	$H_x^T H_x - H_x^T H_f (H_f^T H_f)^{-1} H_f^T H_x$	$O(m)$			

图 7

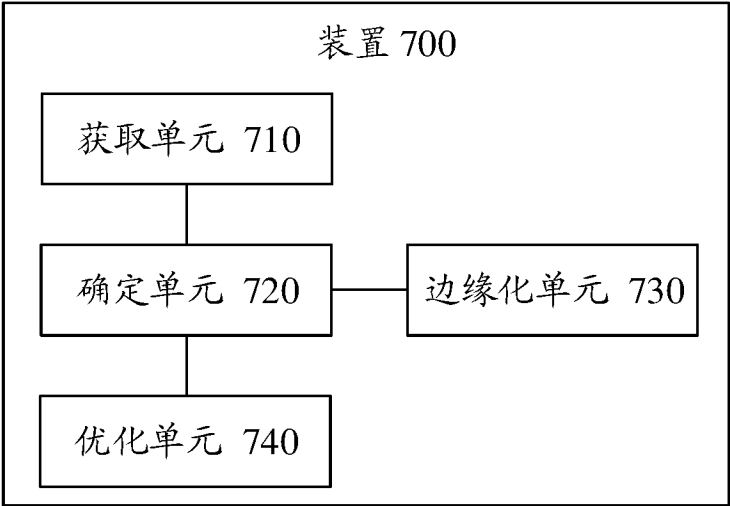


图 8

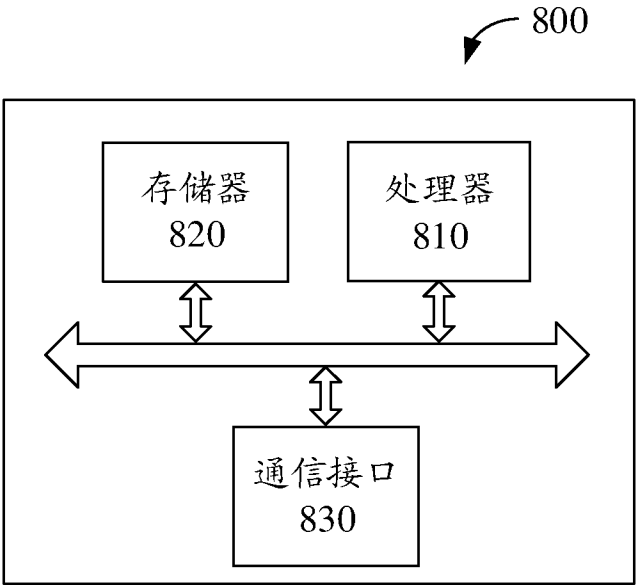


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/106910

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 1/02(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)

G05D

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)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 同时定位, 地图构建, 机器人, 位姿, 路标, 状态向量, 边缘化, 线性化, simultaneous localization, mapping, SLAM, robot, pose, guidepost, state vector, marginal+, linear+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103644903 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 19 March 2014 (2014-03-19) description, paragraphs [0074]-[0075]	1-15
A	CN 106197428 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-15
A	CN 103631264 A (ZHANGJIAGANG INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES SOOCHOW UNIVERSITY) 12 March 2014 (2014-03-12) entire document	1-15
A	CN 102706342 A (CHONGQING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 03 October 2012 (2012-10-03) entire document	1-15
A	CN 102402225 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 04 April 2012 (2012-04-04) entire document	1-15

☒ 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

“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

01 December 2018

Date of mailing of the international search report

27 December 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/106910

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006041331 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 23 February 2006 (2006-02-23) entire document	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/106910

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103644903	A	19 March 2014	CN	103644903	B	08 June 2016
CN	106197428	A	07 December 2016	None			
CN	103631264	A	12 March 2014	None			
CN	102706342	A	03 October 2012	None			
CN	102402225	A	04 April 2012	CN	102402225	B	04 September 2013
US	2006041331	A1	23 February 2006	KR	20060013022	A	09 February 2006
				US	7957836	B2	07 June 2011
				KR	100601960	B1	14 July 2006

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/106910

A. 主题的分类

G05D 1/02 (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)

G05D

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))

CNPAT, CNKI, EPDOC, WPI; 同时定位, 地图构建, 机器人, 位姿, 路标, 状态向量, 边缘化, 线性化, simultaneous localization, mapping, SLAM, robot, pose, guidepost, state vector, marginal+, linear+

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 103644903 A (北京工业大学) 2014年 3月 19日 (2014 - 03 - 19) 说明书第[0074]-[0075]段	1-15
A	CN 106197428 A (北京工业大学) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-15
A	CN 103631264 A (苏州大学张家港工业技术研究院) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-15
A	CN 102706342 A (重庆邮电大学) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文	1-15
A	CN 102402225 A (中国科学院自动化研究所) 2012年 4月 4日 (2012 - 04 - 04) 全文	1-15
A	US 2006041331 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2006年 2月 23日 (2006 - 02 - 23) 全文	1-15

☐ 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

“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

2018年 12月 1日

国际检索报告邮寄日期

2018年 12月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10) 62019451

受权官员

王笑寒

电话号码 86-(10)-53961495

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/106910

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	103644903	A	2014年 3月 19日	CN 103644903 B	2016年 6月 8日
CN	106197428	A	2016年 12月 7日	无	
CN	103631264	A	2014年 3月 12日	无	
CN	102706342	A	2012年 10月 3日	无	
CN	102402225	A	2012年 4月 4日	CN 102402225 B	2013年 9月 4日
US	2006041331	A1	2006年 2月 23日	KR 20060013022 A	2006年 2月 9日
				US 7957836 B2	2011年 6月 7日
				KR 100601960 B1	2006年 7月 14日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)