



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108446710 A

(43)申请公布日 2018.08.24

(21)申请号 201810095329.9

(22)申请日 2018.01.31

(71)申请人 高睿鹏

地址 100044 北京市海淀区上元村3号北京  
交通大学逸夫西楼708

(72)发明人 高睿鹏 周兵 孙付勇 叶凡  
罗国杰 王亦洲

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限  
公司 11327

代理人 张超艳 李琳

(51)Int.Cl.

G06K 9/62(2006.01)

G06T 11/60(2006.01)

G06F 17/30(2006.01)

G01C 11/00(2006.01)

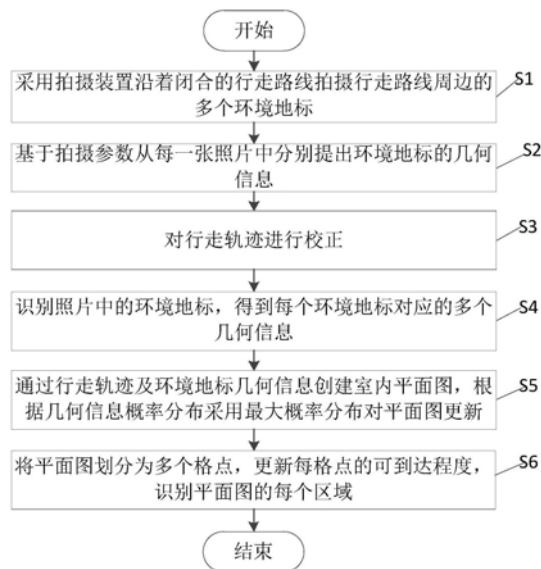
权利要求书6页 说明书13页 附图10页

(54)发明名称

室内平面图快速重建方法及重建系统

(57)摘要

本发明提供一种室内平面图快速重建方法及重建系统,包括:采用拍摄装置沿着闭合行走路线拍摄环境地标;利用运动传感器得到拍摄装置的行走轨迹,基于拍摄参数从照片中提取环境地标的几何信息;拍摄姿态包括拍摄装置位置和朝向;几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度;识别照片中的环境地标;使用动态贝叶斯网络通过行走轨迹及几何信息创建室内平面图,通过粒子滤波器算法更新几何信息和拍摄姿态,采用环境地标最大概率分布的几何信息对平面图进行更新;平面图划分多个格点,更新格点可到达程度。上述系统及方法可以通过少量图像数据快速重建平面图。



1. 一种室内平面图快速重建系统,其特征在于,包括:

拍摄模块,采用拍摄装置沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标,所述行走路线是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走路线返回出发点对第一环境地标进行再次拍照;

信息提取模块,利用运动传感器得到所述拍摄装置的拍摄姿态和行走轨迹,基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息,其中,所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和朝向;所述几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度,所述相对距离是拍摄位置到环境地标的距离,所述相对角度是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度;

环境地标识别模块,识别照片中的环境地标,得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片,从而得到每个环境地标对应的信息提取模块提取的多个几何信息;

地图融合模块,使用动态贝叶斯网络,通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图,通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新,得到不同几何信息对应概率分布,采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新;

区域划分融合模块,将平面图划分为多个格点,不断更新每一格点的可到达程度,识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

2. 根据权利要求1所述室内平面图快速重建系统,其特征在于,所述信息提取模块包括:

交线识别单元,从照片中提取线段,对照片中每一个平面的朝向进行估计,得到一个或多个与所述朝向平行的交线,根据下式(1)中照片与交线一致的像素点比例作为交线权重,将最大的交线权重对应的交线作为照片中环境地标墙面和地面的交线,

$$W_{l_i} = \frac{S_{floor}^+ + S_{wall}^+}{S_{floor}^{all} + S_{wall}^{all}} \quad (1)$$

其中, $W_{l_i}$ 为交线 $l_i$ 的交线权重, $S_{floor}^+$ 与 $S_{wall}^+$ 分别为与交线 $l_i$ 一致的地面、墙面的像素总数, $S_{floor}^{all}$ 与 $S_{wall}^{all}$ 分别为墙面和地面的像素总数;

相对角度估计单元,对照片中提取的线段进行聚类,找到消失点,所述消失点为墙面和地面的交线与水平线的交点,根据消失点的像素坐标按照下式(2)对环境地标到拍摄装置的相对角度进行估计,

$$\theta = \pi - \text{mod}\left(\arctan\left(\frac{u - \frac{w}{2}}{f}\right), \pi\right) \quad (2)$$

其中, $u$ 为消失点的像素横坐标, $w$ 表示照片的像素宽度, $f$ 表示拍摄装置的像素焦距;

相对距离估计单元,根据照片中水平线的像素高度和拍摄装置的拍摄高度按照下式(3)估计环境地标和拍摄装置的相对距离,

$$d = h_u \cdot \cot\left(\arctan\frac{h_0}{f} + \arctan\frac{h_b}{f}\right) \quad (3)$$

其中, $h_0$ 为水平线相对照片中心的像素高度, $h_u$ 为拍摄装置的拍摄高度, $h_b$ 为照片中心

点到交线的垂直像素高度；

墙面长度估计单元,根据相对角度估计单元估计的相对角度和相对距离估计单元估计的相对距离根据下式(4)–(6)估计墙面长度,

$$W_L = \frac{d \cdot \sin(\arctan(\frac{W_{(L)}^P}{f}))}{\sin(\theta \mp \arctan(\frac{W_{(L)}^P}{f}))} \quad (4)$$

$$W_R = \frac{d \cdot \sin(\arctan(\frac{W_{(R)}^P}{f}))}{\sin(\theta \mp \arctan(\frac{W_{(R)}^P}{f}))} \quad (5)$$

$$W_{\text{墙}} = W_R + W_L \quad (6)$$

其中, $W_L$ 为环境地标墙面相对于交线中点左侧的墙面长度, $W_R$ 为环境地标墙面相对于交线中点右侧的墙面长度, $W_{\text{墙}}$ 为环境地标墙面长度, $W_{(L)}^P$ 为环境地标墙面与交线中点最左侧的交点的像素横坐标, $W_{(R)}^P$ 为环境地标墙面与交线中点最右侧的交点的像素横坐标。

3. 根据权利要求1所述室内平面图快速重建系统,其特征在于,所述运动传感器包括陀螺仪,所述重建系统还包括轨迹校正模块,所述轨迹校准模块包括陀螺仪漂移校准单元、行走步长校准单元和轨迹筛查单元中的一个或多个,其中:

所述陀螺仪漂移校准单元,通过行走轨迹的相对角度变化和陀螺仪的角度变化根据下式(7)得到陀螺仪的平均漂移,

$$\delta = \frac{\Delta g + \Delta \theta}{T} \quad (7)$$

其中, $\delta$ 为陀螺仪的平均漂移, $T$ 为沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的时间间隔, $\Delta g$ 为陀螺仪的角度变化量, $\Delta \theta$ 为沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的拍照角度的变化量;

所述行走步长校准单元,通过信息提取模块提取的行走轨迹起始点与终止点的位置变化,表示为 $\vec{v}$ ,在所述行走轨迹的每一时刻 $t$ 的位置进行步长校准,补偿量为 $\vec{v} \cdot t/T$ ;

所述轨迹筛查单元包括遍历子单元、行走轨迹校准子单元和异常数据剔除子单元中的一个或多个,其中,所述遍历子单元根据行走轨迹起始点与终止点的距离差 $|\vec{v}|$ 占轨迹总长度的比例作为指标,剔除大于设定比例的行走轨迹;所述行走轨迹校准子单元选取信息提取模块提取的起始点、终止点距离最小的行走轨迹作为参考行走轨迹,其他行走轨迹通过平移、旋转或/和缩放与参考行走轨迹有最大的重叠部分,将参考行走轨迹和其他行走轨迹放入相同的坐标系中;所述异常数据剔除子单元基于聚类方法剔除远离聚类中心的环境地标位置的异常轨迹数据。

4. 根据权利要求1所述室内平面图快速重建系统,其特征在于,所述地图融合模块包括:

运动更新单元,根据前一时刻的拍摄姿态与当前时刻的控制信息,基于航位推测法的

估计、通过对多维高斯分布随机采样得到的当前时刻的拍摄姿态,所述控制信息表示前一时刻到当前时刻的行走距离与方向的控制信息;

环境地标识别单元,采用环境地标识别算法识别环境地标;

环境地标更新单元,根据运动更新单元更新的当前时刻的拍摄姿态,按照下式(8)和(9)对当前时刻的相对距离和相对角度进行预测,

$$\hat{d} = \sqrt{(\mu_x - x)^2 + (\mu_y - y)^2} \quad (8)$$

$$\hat{\theta} = \mu_\varphi - \varphi \quad (9)$$

其中, $\hat{d}$ 为相对距离的预测值, $\hat{\theta}$ 为相对角度的预测值, $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$ 为前一时刻拍摄姿态, $(\mu_x, \mu_y)$ 为前一时刻拍摄装置的位置坐标, $(\mu_\varphi)$ 为前一时刻的前进方向, $(x, y, \varphi)$ 运动更新单元根据前一时刻的拍摄姿态更新的当前时刻的拍摄姿态, $(x, y)$ 为当前时刻的拍摄装置的位置坐标, $\varphi$ 为当前时刻的前进角度;

权重更新单元,根据当前时刻的相对距离和相对角度的预测值和实际值根据下式(10)更新每个粒子的权重,所述粒子为当前时刻对应的一个行走轨迹的几何信息,

$$w^{[k]} = |2\pi Q|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(z_t - \hat{z}_t)^T Q^{-1}(z_t - \hat{z}_t)\right\} \quad (10)$$

其中, $k$ 为粒子索引, $w^{[k]}$ 为第 $k$ 个粒子的权重, $Q$ 为高斯测量噪声协方差, $\hat{z}_t = \begin{pmatrix} \hat{d} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix}$ ,  $z_t = \begin{pmatrix} d \\ \theta \end{pmatrix}$ 。

5. 根据权利要求1所述室内平面图快速重建系统,其特征在于,所述环境地标识别模块通过照片捕捉环境地标的的外观信息,通过拍摄姿态衡量环境地标和拍摄装置的位置关系,通过无线信号区分环境地标的射频特征判断环境地标是新的环境地标还是已知的环境地标。

6. 一种室内平面图快速重建方法,其特征在于,包括:

采用拍摄装置沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标,所述行走路线是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走路线返回出发点对第一环境地标进行再次拍照;

利用运动传感器得到所述拍摄装置拍摄姿态和行走轨迹,基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息,其中,所述行走轨迹是根据运动传感器的行走轨迹,是闭合的或非闭合的;所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和朝向;所述几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度,所述相对距离是拍摄位置到环境地标的距离,所述相对角度是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度;

识别照片中的环境地标,得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片,从而得到每个环境地标对应的多个几何信息;

使用动态贝叶斯网络,通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图,通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新,得

到不同几何信息对应概率分布,采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新;

将平面图划分为多个格点,不断更新每一格点的可到达程度,识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

7. 根据权利要求6所述的室内平面图快速重建方法,其特征在于,所述基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息的方法包括:

从照片中提取线段,对照片中每一个平面的朝向进行估计,得到一个或多个与所述朝向平行的交线,根据下式(1)中照片与交线一致的像素点比例作为交线权重,将最大的交线权重对应的交线作为照片中环境地标墙面和地面的交线,

$$W_{l_i} = \frac{S_{floor}^+ + S_{wall}^+}{S_{floor}^{all} + S_{wall}^{all}} \quad (1)$$

其中, $W_{l_i}$ 为交线 $l_i$ 的交线权重, $S_{floor}^+$ 与 $S_{wall}^+$ 分别为与交线 $l_i$ 一致的地面、墙面的像素总数, $S_{floor}^{all}$ 与 $S_{wall}^{all}$ 分别为墙面和地面的像素总数;

对照片中提取的线段进行聚类,找到消失点,所述消失点为墙面和地面的交线与水平线的交点,根据消失点的像素坐标按照下式(2)对环境地标到拍摄装置的相对角度进行估计,

$$\theta = \pi - \text{mod}\left(\arctan\left(\frac{u - \frac{w}{2}}{f}\right), \pi\right) \quad (2)$$

其中, $u$ 为消失点的像素横坐标, $w$ 表示照片的像素宽度, $f$ 表示拍摄装置的像素焦距;

根据照片中水平线的像素高度和拍摄装置的拍摄高度按照下式(3)估计环境地标和拍摄装置的相对距离,

$$d = h_u \cdot \cot\left(\arctan\frac{h_0}{f} + \arctan\frac{h_b}{f}\right) \quad (3)$$

其中, $h_0$ 为水平线相对照片中心的像素高度, $h_u$ 为拍摄装置的拍摄高度, $h_b$ 为照片中心点到交线的垂直像素高度;

根据相对角度和相对距离估计单元估计的相对距离根据下式(4)-(6)式估计墙面长度,

$$W_L = \frac{d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{W_{(L)}}{f}\right)\right)}{\sin\left(\theta \mp \arctan\left(\frac{W_{(L)}}{f}\right)\right)} \quad (4)$$

$$W_R = \frac{d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{W_{(R)}}{f}\right)\right)}{\sin\left(\theta \mp \arctan\left(\frac{W_{(R)}}{f}\right)\right)} \quad (5)$$

$$W_{\text{端}} = W_R + W_L \quad (6)$$

其中,  $W_L$  为环境地标墙面相对于交线中点左侧的墙面长度,  $W_R$  为环境地标墙面相对于交线中点右侧的墙面长度,  $W_{\text{端}}$  为环境地标墙面长度,  $w_{(L)}^P$  为环境地标墙面与交线中点最左侧的交点的像素横坐标,  $w_{(R)}^P$  为环境地标墙面与交线中点最右侧的交点的像素横坐标。

8. 根据权利要求6所述的室内平面图快速重建方法, 其特征在于, 还包括对行走轨迹进行校正的步骤, 包括:

所述运动传感器包括陀螺仪, 通过行走轨迹的相对角度变化和陀螺仪的角度变化根据下式 (7) 得到陀螺仪的平均漂移,

$$\delta = \frac{\Delta g + \Delta \theta}{T} \quad (7)$$

其中,  $\delta$  为陀螺仪的平均漂移,  $T$  为沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的时间间隔,  $\Delta g$  为陀螺仪的角度变化量,  $\Delta \theta$  为沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的拍照角度的变化量;

提取行走轨迹起始点与终止点的位置变化, 表示为  $\vec{v}$ , 在所述行走轨迹的每一时刻  $t$  的位置进行步长校准, 补偿量为  $\vec{v} \cdot t/T$ ;

对行走轨迹进行筛查, 去除异常数据, 包括以下筛查方法中的一种或多种:

根据行走轨迹起始点与终止点的距离差  $|\vec{v}|$  占轨迹总长度的比例作为指标, 剔除大于设定比例的行走轨迹;

选取起始点、终止点距离最小的行走轨迹作为参考行走轨迹, 其他行走轨迹通过平移、旋转或/和缩放与参考行走轨迹有最大的重叠部分, 将参考行走轨迹和其他行走轨迹放入相同的坐标系中;

基于聚类方法剔除远离聚类中心的环境地标位置的异常轨迹数据。

9. 根据权利要求6所述的室内平面图快速重建方法, 其特征在于, 所述通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图的方法包括:

根据前一时刻的拍摄姿态与当前时刻的控制信息, 基于航位推测法的估计、通过对多维高斯分布随机采样得到的当前时刻的拍摄姿态, 所述控制信息表示前一时刻到当前时刻的行走距离与方向的控制信息;

采用环境地标识别算法识别环境地标;

根据更新的当前时刻的拍摄姿态, 按照下式 (8) 和 (9) 对当前时刻的相对距离和相对角度进行预测,

$$\hat{d} = \sqrt{(\mu_x - x)^2 + (\mu_y - y)^2} \quad (8)$$

$$\hat{\theta} = \mu_\varphi - \varphi \quad (9)$$

其中,  $\hat{d}$  为相对距离的预测值,  $\hat{\theta}$  为相对角度的预测值,  $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$  为前一时刻拍摄姿态,  $(\mu_x, \mu_y)$  为前一时刻拍摄装置的位置坐标,  $(\mu_\varphi)$  为前一时刻的前进方向,  $(x, y, \varphi)$  为根据前一时刻的拍摄姿态更新的当前时刻的拍摄姿态,  $(x, y)$  为当前时刻的拍摄装置的

位置坐标,  $\varphi$  为当前时刻的前进角度;

根据当前时刻的相对距离和相对角度的预测值和实际值根据下式 (10) 更新每个粒子的权重, 所述粒子为当前时刻对应的一个行走轨迹的几何信息,

$$w^{[k]} = |2\pi Q|^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (z_t - \hat{z}_t)^T Q^{-1} (z_t - \hat{z}_t) \right\} \quad (10)$$

其中,  $k$  为粒子索引,  $w^{[k]}$  为第  $k$  个粒子的权重,  $Q$  为高斯测量噪声协方差,  $\hat{z}_t = \begin{pmatrix} \hat{d} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix}$ ,  $z_t = \begin{pmatrix} d \\ \theta \end{pmatrix}$ 。

10. 根据权利要求6所述的室内平面图快速重建方法, 其特征在于, 所述识别照片中的环境地标的方法包括通过照片捕捉环境地标的外观信息, 通过拍摄姿态衡量环境地标和拍摄装置的位置关系, 通过无线信号区分环境地标的射频特征判断环境地标是新的环境地标还是已知的环境地标。

## 室内平面图快速重建方法及重建系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及地图构建技术领域,尤其涉及一种室内平面图快速重建方法及重建系统。

### 背景技术

[0002] 平面图是室内定位服务大规模推广的重要保障。当前基于移动众包数据构建平面图依赖于海量数据,构建单一楼层的平面图需要几十小时的人工成本采集上千张照片,在移动众包策略下耗时较长,并且使用了复杂的全局优化算法,不能实时增量式的更新平面图,因此很难在短时间内给予用户输入的反馈。

### 发明内容

[0003] 针对上述问题,提供一种基于少量图像数据与用户行走轨迹快速重建室内平面图的重建方法及重建系统。

[0004] 根据本发明的一个方面,提供一种室内平面图快速重建系统,包括:拍摄模块,采用拍摄装置沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标,所述行走路线是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走路线返回出发点对第一环境地标进行再次拍照;信息提取模块,利用运动传感器得到所述拍摄装置的拍摄姿态和行走轨迹,基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息,其中,所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和前进方向;所述几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度,所述相对距离是拍摄位置到环境地标的距离,所述相对角度是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度;环境地标识别模块,识别照片中的环境地标,得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片,从而得到每个环境地标对应的信息提取模块提取的多个几何信息;地图融合模块,使用动态贝叶斯网络,通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图,通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新,得到不同几何信息对应概率分布,采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新;区域划分融合模块,将平面图划分为多个格点,不断更新每一格点的可到达程度,识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

[0005] 根据本发明的另一个方面,提供一种室内平面图快速重建方法,包括:采用拍摄装置沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标,所述行走路线是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走路线返回出发点对第一环境地标进行再次拍照;利用运动传感器得到所述拍摄装置拍摄姿态和行走轨迹,基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息,其中,所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和前进方向;所述几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度,所述相对距离是拍摄位置到环境地标的距离,所述相对角度是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度;识别照片中的环境地标,得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片,从而得到每个环境地标对应的多个几何信息;使用动态贝叶斯网络,通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室



内平面图,通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新,得到不同几何信息对应概率分布,采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新;将平面图划分为多个格点,不断更新每一格点的可到达程度,识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

[0006] 上述室内平面图快速重建方法及重建系统从单张照片提取环境地标几何信息,使用动态贝叶斯网络进行地图融,通过测量数据,创建并更新地图,将可能的地图布局表示为隐变量,并使用测量数据增量式的更新地图中环境地标的布局与概率分布,实现快速构建室内平面图的同时大幅减少建图所需的数据量,从不同类型数据中提取多决策的测量信息,使用轨迹校准与筛选方案剔除异常数据的影响,并将多种类型的测量数据融入地图构建框架中,通过概率方法增量式的更新地图布局。

### 附图说明

[0007] 通过结合下面附图对其实施例进行描述,本发明的上述特征和技术优点将会变得更加清楚和容易理解。

[0008] 图1是本发明所述室内平面图快速重建系统构成框图的示意图;

[0009] 图2a是本发明环境地标的几何信息的示意图;

[0010] 图2b是本发明环境地标的消失点的示意图;

[0011] 图3a是本发明水平拍摄环境地标的示意图;

[0012] 图3b是本发明倾斜拍摄环境地标的示意图;

[0013] 图4a是本发明照片的朝向图的示意图;

[0014] 图4b是本发明提取照片特征信息的示意图;

[0015] 图5a是本发明所述行走路线的示意图;

[0016] 图5b是现有技术采用陀螺仪校准模拟的图5a所示行走路线的行走轨迹的示意图;

[0017] 图5c是现有技术采用行走步长校准行走轨迹的示意图;

[0018] 图5d是采用本发明所述陀螺仪平均漂移校准和行走步长校准相结合对行走轨迹进行校准后的示意图;

[0019] 图6a是采用手机的陀螺仪模拟的行走路线的原始行走轨迹;

[0020] 图6b是仅采用 $\Delta g$ 对陀螺仪进行矫正模拟的行走路线的行走轨迹;

[0021] 图6c是仅采用行走步长对行走轨迹校准的示意图;

[0022] 图6d是采用本发明所述陀螺仪平均漂移校准和行走步长校准相结合对行走轨迹进行校准后的示意图;

[0023] 图7是本发明构建平面图过程中不同变量间依赖关系的示意图;

[0024] 图8是本发明所述粒子状态的示意图;

[0025] 图9是本发明所述更新粒子状态的示意图;

[0026] 图10a是本发明通过行走轨迹更新平面图可到达区域的示意图;

[0027] 图10b是本发明通过照片拍摄范围更新平面图可到达区域的示意图;

[0028] 图10c是本发明通过走廊外墙更新平面图可到达区域的示意图;

[0029] 图11a是本发明仅使用环境地标构建平面图的示意图;

[0030] 图11b是本发明使用环境地标与行走轨迹构建平面图的示意图;

[0031] 图11c是本发明使用环境地标、行走轨迹、照片构建平面图的示意图；

[0032] 图12是本发明所述室内平面图快速重建方法流程图的示意图。

### 具体实施方式

[0033] 下面将参考附图来描述本发明所述的实施例。本领域的普通技术人员可以认识到，在不偏离本发明的精神和范围的情况下，可以用各种不同的方式或其组合对所描述的实施例进行修正。因此，附图和描述在本质上是说明性的，而不是用于限制权利要求的保护范围。此外，在本说明书中，附图未按比例画出，并且相同的附图标记表示相同的部分。

[0034] 图1是本发明所述室内平面图快速重建系统构成框图的示意图，如图1所示，所述室内平面图快速重建系统包括：

[0035] 拍摄模块10，采用拍摄装置1（例如，照相机、手机摄像头等）沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标，其中，环境地标一般指的是室内的特征物体，例如商店店面，海报，入口，ATM等；所述行走路线（图5a示出）是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走路线返回出发点对第一环境地标进行再次拍照；

[0036] 信息提出模块20，利用运动传感器2得到所述拍摄装置的拍摄姿态和行走轨迹，基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息，其中，所述行走轨迹是拍摄装置通过运动传感器生成的所述拍摄装置的行走路线，是闭合的或非闭合的；所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和前进方向；所述几何信息包括相对距离 $d$ 、相对角度 $\theta$ 和墙面长度 $(w_L, w_R)$ ，如图2a所示，所述相对距离 $d$ 是拍摄位置到环境地标（如店面的中点）的距离，所述相对角度 $\theta$ 是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度；

[0037] 环境地标识别模块30，识别照片中的环境地标，得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片，从而得到每个环境地标对应的信息提取模块提出的多个几何信息；

[0038] 地图融合模块40，使用动态贝叶斯网络，通过拍摄装置的行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图，通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新，得到不同几何信息对应概率分布，采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新；

[0039] 区域划分融合模块50，将平面图划分为多个格点，不断更新每一格点的可到达程度，识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

[0040] 上述室内平面图快速重建系统针对稀疏的输入数据，提出鲁棒的环境地标识别算法、多决策的信息测量模型、增量式的地图更新等方案。

[0041] 在本发明的一个实施例中，上述信息提取模块20包括：

[0042] 交线识别单元21，从照片中提取线段（例如使用Canny边缘检测算法从照片中提取线段），生成照片的朝向图，如图4a所示，对照片中每一个平面的朝向进行估计，对照片上不同像素进行不同染色，得到一个或多个与所述朝向平行的交线，根据下式（1）中照片与交线一致的像素点比例作为交线权重，将最大的交线权重对应的交线作为照片中环境地标墙面和地面的交线，

$$[0043] \quad W_{l_i} = \frac{S_{floor}^+ + S_{wall}^+}{S_{floor}^{all} + S_{wall}^{all}} \quad (1)$$

[0044] 其中,  $W_{l_i}$  为交线  $l_i$  的交线权重,  $S_{floor}^+$  与  $S_{wall}^+$  分别为与交线  $l_i$  一致的地面、墙面的像素总数,  $S_{floor}^{all}$  与  $S_{wall}^{all}$  分别为墙面和地面的像素总数;

[0045] 相对角度估计单元22, 对照片中提取的线段进行聚类, 找到消失点, 如图2b所示, 所述消失点为墙面和地面的交线与水平线的交点, 其像素坐标记为  $(u, v)$ , 根据消失点的像素坐标按照下式 (2) 对环境地标到拍摄装置的相对角度进行估计,

$$[0046] \quad \theta = \pi - \text{mod}\left(\arctan\left(\frac{u - \frac{w}{2}}{f}\right), \pi\right) \quad (2)$$

[0047] 其中,  $w$  表示照片的像素宽度,  $f$  表示拍摄装置的像素焦距;

[0048] 相对距离估计单元23, 根据照片中水平线的像素高度和拍摄装置的拍摄高度估计环境地标和拍摄装置的相对距离, 如图3a所示, 当拍摄装置水平拍照时, 相对距离  $d$  可以通过  $d = f \cdot \frac{h_u}{h_b}$  得到, 其中  $h_u$  表示拍摄装置的拍摄高度 (可以通过用户身高估计或用户输入得到),  $h_b$  表示照片中心点到边界线 (即墙面与地面的交线) 的垂直像素高度, 对应着用户在照片中的高度, 如图4b所示; 如图3b所示, 当拍摄装置倾斜拍照时, 连接消失点  $V_2$  与  $V_3$  的直线表示图4b中照片上的水平线, 此时相对距离  $d$  通过下式 (3) 计算:

$$[0049] \quad \tan \alpha = \frac{h_0}{f}, \quad \tan \beta = \frac{h_b}{f}, \quad d = h_u \cdot \cot(\alpha + \beta) \quad (3)$$

[0050] 其中,  $h_0$  为水平线到照片中心的像素高度,  $\alpha$  为为拍摄装置与水平线的夹角 (拍摄装置的倾斜角度),  $\beta$  为拍摄装置与交线 (墙面和地面交线) 的夹角;

[0051] 墙面长度估计单元24, 根据相对角度估计单元估计的相对角度和相对距离估计单元估计的相对距离根据下式 (4) - (6) 式估计墙面长度,

$$[0052] \quad W_L = \frac{d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{W_{(L)}^P}{f}\right)\right)}{\sin\left(\theta \mp \arctan\left(\frac{W_{(L)}^P}{f}\right)\right)} \quad (4)$$

$$[0053] \quad W_R = \frac{d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{W_{(R)}^P}{f}\right)\right)}{\sin\left(\theta \mp \arctan\left(\frac{W_{(R)}^P}{f}\right)\right)} \quad (5)$$

$$[0054] \quad W_{\text{墙}} = W_R + W_L \quad (6)$$

[0055] 其中, 如图4b所示,  $W_L$  为环境地标墙面相对于交线中点左侧的墙面长度,  $W_R$  为环境地标墙面相对于交线中点右侧的墙面长度,  $W_{\text{墙}}$  为环境地标墙面长度,  $W_{(L)}^P$  为环境地标墙面与交线中点最左侧的交点的像素横坐标,  $W_{(R)}^P$  为环境地标墙面与交线中点最右侧的交点的像素横坐标。

[0056] 上述信息提取模块20从单张照片提取环境地标几何信息的算法, 并生成了关于交

线权重、相对距离 $d$ ,用户角度 $\theta$ ,墙面长度( $w_L, w_R$ )的多决策测量信息。

[0057] 在拍摄装置沿图5a所示行走路线拍摄环境地标的过程中,用户行走了较长的距离、期间间或的拿起手机对环境地标拍照,运动传感器数据受到了严重的噪声干扰,长时间轨迹追踪伴随着较大的误差积累,并且拍照动作干扰了手机的运动传感数据,因此,在本发明的一个实施例中,所述重建系统还包括轨迹校正模块60,所述轨迹校准模块包括陀螺仪漂移校准单元61、行走步长校准单元62和轨迹筛查单元63中的一个或多个,其中:

[0058] 所述陀螺仪漂移校准单元61,通过行走轨迹的相对角度变化和陀螺仪的角度变化根据下式(7)得到陀螺仪的平均漂移,

$$[0059] \quad \delta = \frac{\Delta g + \Delta \theta}{T} \quad (7)$$

[0060] 其中, $\delta$ 为陀螺仪的平均漂移, $T$ 表示沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的时间间隔, $\Delta g$ 为陀螺仪的角度变化量, $\Delta \theta$ 为沿行走轨迹对第一环境地标拍摄的拍照角度的变化量;

[0061] 所述行走步长校准单元62,通过信息提取模块20提取的行走轨迹起始点与终止点的位置变化,可以表示为 $\vec{v}$ ,在所述行走轨迹的每一时刻 $t$ 的位置进行步长校准,补偿量为 $\vec{v} \cdot t/T$ ;

[0062] 所述轨迹筛查单元63包括遍历子单元631、行走轨迹校准子单元632和异常数据剔除子单元633中的一个或多个,其中:

[0063] 所述遍历子单元631,根据行走轨迹起始点与终止点的距离差 $|v|$ 占轨迹总长度的比例作为指标,剔除大于设定比例的行走轨迹;

[0064] 所述行走轨迹校准子单元632,选取信息提取模块提取的起始点、终止点距离最小的行走轨迹作为参考行走轨迹,其他行走轨迹通过平移、旋转或/和缩放与参考行走轨迹有最大的重叠部分,将参考行走轨迹和其他行走轨迹放入相同的坐标系中;

[0065] 所述异常数据剔除子单元633,基于聚类方法剔除远离聚类中心的环境地标位置的异常轨迹数据。

[0066] 在本发明的一个具体实施例中,用户拿着手机或相机沿图5a所示的行走路线对行走路线周边的环境地标进行拍照,图5b是仅采用 $\Delta g$ 对陀螺仪进行矫正模拟的行走路线的行走轨迹,如图5b所示,由于长时间行走陀螺仪产生了较大的漂移,行走轨迹处于非闭合状态,图5c是仅采用行走步长对行走轨迹校准的示意图,从图5c可以看出,仅采用行走步长校准的方法,行走轨迹还是非闭合状态,图5d是采用本发明所述陀螺仪平均漂移校准和行走步长校准相结合对行走轨迹进行校准后的示意图,采用基于照片的行走方向与行走步长校准的方法,得到闭合的准确的行走轨迹。

[0067] 图6a-6d是另一个具体实施例的示意图,图6a是采用手机的陀螺仪模拟的行走路线的原始行走轨迹,图6b是仅采用 $\Delta g$ 对陀螺仪进行矫正模拟的行走路线的行走轨迹,图6c是仅采用行走步长对行走轨迹校准的示意图,图6d是采用本发明所述陀螺仪平均漂移校准和行走步长校准相结合对行走轨迹进行校准后的示意图,从图6a-6d可以看出,同时使用角度校准和步长校准可产生精确的闭环轨迹。

[0068] 从图5和图6可以看出仅仅基于陀螺仪的校准方法和仅仅基于手机姿态估计( $A^3$ 行走步长校准方法),尽管它们的步数统计结果很准确,行走方向的较大误差使得这两种方法产生的轨迹均不满意,具体地:1)陀螺仪在长时间行走时产生了较大的漂移;2)在较长、笔

直的行走阶段, A<sup>3</sup>方法所需要的罗盘与陀螺仪相互校准的机会非常少; 3) 在有强烈电磁干扰的区域(如服务器机房), A<sup>3</sup>还可能产生错误的校准。本发明利用闭合行走轨迹来校准在不同区域可能会发生变化的步长, 同时提出了基于照片的角度校准方法(图5d和6d), 可产生精确的闭环行走轨迹, 例如, 在宽的和开放的走廊中步长会更大, 利用补偿量为  $v \cdot t/T$ , 来校准步幅长度误差。

[0069] 在本发明的一个实施例中, 上述地图融合模块40包括:

[0070] 运动更新单元41, 根据前一时刻的拍摄姿态与当前时刻的控制信息, 基于航位推测法的估计、通过对多维高斯分布随机采样得到的当前时刻的拍摄姿态, 所述控制信息表示前一时刻到当前时刻的行走距离与方向的控制信息;

[0071] 环境地标识别单元42, 采用环境地标识别算法识别环境地标, 例如, 通过粒子滤波器识别每张照片中的环境地标;

[0072] 环境地标更新单元43, 根据运动更新单元更新的当前时刻的拍摄姿态, 按照下式(8)和(9)对当前时刻的相对距离和相对角度进行预测,

$$[0073] \quad \hat{d} = \sqrt{(\mu_x - x)^2 + (\mu_y - y)^2} \quad (8)$$

$$[0074] \quad \hat{\theta} = \mu_\varphi - \varphi \quad (9)$$

[0075] 其中,  $\hat{d}$ 为相对距离的预测值,  $\hat{\theta}$ 为相对角度的预测值,  $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$ 为前一时刻拍摄姿态,  $(\mu_x, \mu_y)$ 为前一时刻拍摄装置的位置坐标,  $\mu_\varphi$ 为前一时刻的前进方向,  $(x, y, \varphi)$ 运动更新单元根据前一时刻的拍摄姿态更新的当前时刻的拍摄姿态,  $(x, y)$ 为当前时刻的拍摄装置的位置坐标,  $\varphi$ 为当前时刻的前进角度;

[0076] 权重更新单元44, 根据当前时刻的相对距离和相对角度的预测值和实际值根据下式(10)更新每个粒子的权重, 所述粒子为当前时刻对应的一个行走轨迹的几何信息,

$$[0077] \quad w^{[k]} = |2\pi Q|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(z_t - \hat{z}_t)^T Q^{-1}(z_t - \hat{z}_t)\right\} \quad (10)$$

[0078] 其中,  $k$ 为粒子索引,  $w^{[k]}$ 为第 $k$ 个粒子的权重,  $Q$ 为高斯测量噪声协方差,

$$\hat{z}_t = \begin{pmatrix} \hat{d} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix}, \quad z_t = \begin{pmatrix} d \\ \theta \end{pmatrix}。$$

[0079] 在本发明的一个实施例中, 上述环境地标识别模块30通过照片捕捉环境地标的的外观信息, 通过拍摄姿态衡量环境地标和拍摄装置的位置关系, 通过无线信号强度区分环境地标的射频特征判断环境地标是新的环境地标还是已知的环境地标, 包括:

[0080] 照片识别单元31, 从照片中提取特征向量, 并与已知环境地标的照片进行匹配, 进而判断它是新的或是已知的环境地标, 例如, 使用图像特征提取算法生成鲁棒、尺度无关的特征向量, 并与已知环境地标照片的特征向量进行匹配, 照片与每一个环境地标 $j$ 的照片相似度  $Score_j^{image}$  定义为两照片匹配的特征向量数所占特征向量总数的比例;

[0081] 无线信号识别单元32, 使用无线信号(例如Wifi信号)强度矢量的余弦值

$Score_j^{wifi}$  衡量无线信号强度与每一个环境地标  $j$  的射频信号相似度;

[0082] 拍摄姿态识别单元33, 给定拍摄姿态  $x_t$  与环境地标的坐标、朝向, 根据相对距离与相对角度的测量值预测为  $\hat{z}_t$  与真实测量值  $z_t$  的差值判断环境地标, 正确的环境地标的预测测量值与真实测量值非常接近。因此, 在给定  $x_t$  与  $m_j$  条件下, 计算  $z_t$  的条件概率作为拍摄姿态相似度  $Score_j^{pose}$ , 其计算公式为公式 (10)。

[0083] 由于照片、无线信号信号与运动传感器数据从拍摄装置 (例如手机) 的不同传感器获得, 因此它们相对独立, 优选地, 上述环境地标识别模块30还包括: 综合识别单元34, 使用贝叶斯估计将环境地标  $j$  的相似度分解为每一个传感器相似度的连乘形式作为总相似度, 即上述照片识别单元31、无线信号识别单元32和拍摄姿态识别单元33的识别结果的乘积  $Score_j^{image} \cdot Score_j^{wifi} \cdot Score_j^{pose}$ , 其中, 任一较小的相似度都表明一个错误的识别, 并且正确的识别应该在三个相似度中均有较高的取值;

[0084] 判断单元35, 判断所有已知环境地标与预识别环境地标的总相似度是否小于给定阈值, 如果所述总相似度小于所述给定阈值, 出现了新的环境地标, 如果总相似度不小于所述给定阈值, 将预识别环境地标识别为总相似度最高的环境地标。同时使用三种传感器时, 可以在不同场景均获得接近100%的识别准确率。

[0085] 除环境地标之外, 一个完整的平面图还包含诸如走廊与屋内等可到达区域的形状与尺度, 本发明所述区域划分融合模块50将平面划分为细粒度的格点并且不断更新每一格点的可到达程度, 进而识别出每一区域, 包括轨迹扩展单元51和照片扩展单元52中的一个或两个, 其中:

[0086] 轨迹扩展单元51, 行走轨迹周围的格点均计算可到达概率, 被多次经过区域的可到达概率不断累积, 表明用户更可能到达, 其中:

$$[0087] \quad p(i) = me^{-\frac{d_i^2}{\sigma}},$$

[0088] 其中,  $p(i)$  为格点  $i$  的可到达概率,  $m$  为系数,  $d_i$  表示格点  $i$  到行走轨迹的距离,  $w_d$  表示行走轨迹最大的覆盖范围,  $\sigma$  表示衰减系数, (如图10a所示),  $d_i^2$  的平方形式可以快速衰落轨迹周边格点的概率,  $w_d \geq d_i \geq 0, \sigma > 0$ ;

[0089] 照片扩展单元52, 使用照片对其对应的区域进行大面积覆盖, 由于, 拍摄装置在拍摄环境地标时需要确保二者之间没有障碍物, 拍摄装置与环境地标之间的区域往往是可达的, 因此, 对拍摄装置与环境地标之间的三角形区域 (如图10b所示, 包含相邻墙面) 设置较高 (例如0.7) 的可到达概率, 图11c展示了占有格点图中的大厅区域在没有使用照片数据前处于黑洞状态, 通过不断增加的照片恢复了该大厅区域。

[0090] 图12是本发明所述室内平面图快速重建方法的流程图, 如图12所示, 所述室内平面图快速重建方法包括:

[0091] 在步骤S1中, 采用拍摄装置沿着闭合的行走路线拍摄行走路线周边的多个环境地标, 所述行走路线是拍摄装置在出发点对第一个环境地标拍照后沿闭合的行走轨迹返回出发点对第一环境地标进行再次拍照;

[0092] 在步骤S2中, 利用运动传感器得到所述拍摄装置拍摄姿态和行走轨迹, 基于拍摄

参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息,其中,所述行走轨迹是根据运动传感器的数据模拟的行走路线,是闭合的或非闭合的;所述拍摄姿态包括拍摄装置的位置和前进方向;所述几何信息包括相对距离、相对角度和墙面长度,所述相对距离是拍摄位置到环境地标的距离,所述相对角度是照片拍摄朝向与所述环境地标墙面方向所成角度;

[0093] 在步骤S4中,识别照片中的环境地标,得到行走轨迹上每个环境地标对应的多张照片,从而得到每个环境地标对应的多个几何信息;

[0094] 在步骤S5中,使用动态贝叶斯网络,通过行走轨迹及其对应的环境地标的几何信息创建室内平面图,通过粒子滤波器算法对每一个环境地标对应的几何信息和拍摄姿态进行持续更新,得到不同几何信息对应概率分布,采用最大概率分布对应的几何信息对室内平面图进行更新;

[0095] 在步骤S6中,将平面图划分为多个格点,不断更新每一格点的可到达程度,识别出每一区域得到室内平面图不同区域的形状与尺寸。

[0096] 上述室内平面图的快速重建方法能够快速、精确的构建室内平面图,针对稀疏的输入数据,提出鲁棒的环境地标识别算法、多决策的信息测量模型、增量式的地图更新等方案。

[0097] 优选地,在步骤S2中,所述基于拍摄参数从每一张照片中分别提取环境地标的几何信息的方法包括:

[0098] 步骤S21,生成照片的朝向图(见图4a),对场景中每一个平面的朝向进行估计,对照片上相关像素进行染色,得到一个或多个与所述朝向平行的交线,根据公式(1)中照片与交线一致的像素点比例作为交线权重,将最大的交线权重对应的交线作为照片中环境地标墙面和地面的交线;

[0099] 步骤S22,从照片中提取线段(例如使用Canny边缘检测算法从照片中提取线段),之后将这些线段聚类并寻找消失点,图2(b)中消失点 $V_2$ 对应着墙面、地面的边界线与水平线的交点,其像素坐标记为 $(u, v)$ ,根据消失点的像素坐标按照下式(2)对环境地标到拍摄装置的相对角度进行估计;

[0100] 步骤S23,根据照片中水平线的像素高度和拍摄装置的拍摄高度按照下式(3)估计环境地标和拍摄装置的相对距离,

$$[0101] \quad d = h_u \cdot \cot\left(\frac{h_0 + h_b}{f}\right) \quad (3)$$

[0102] 其中, $h_0$ 为水平线相对照片中心的像素高度, $h_u$ 为拍摄装置的拍摄高度, $h_b$ 为照片中心点到交线的垂直像素高度;

[0103] 步骤S24,根据相对角度和相对距离估计单元估计的相对距离根据公式(4)-(6)式估计墙面长度。

[0104] 上述步骤S2基于拍摄参数从单张照片获得了关于环境地标几何信息的多决策估计,其中每种估计包括交线、相对距离、相对角度、左右两侧墙面长度,以及该估计的权重(概率)。

[0105] 优选地,上述重建方法在步骤S2之后还包括对行走轨迹进行校正的步骤,即步骤S3,包括:

[0106] 步骤S31,所述运动传感器包括陀螺仪,行走方向校准通过行走轨迹计算陀螺仪的

平均漂移 $\delta$ ,具体地,在行走轨迹中,用户首先对一个环境地标拍照,之后行走较长的距离并对多个环境地标拍照;最后回到出发点并对第一个环境地标再次拍照,通过单张照片信息提取算法,根据公式(2)得到第一个环境地标两张照片对应的拍照角度 $\theta_1$ 与 $\theta_2$ ,它们的差值 $\Delta\theta=\theta_1-\theta_2$ 表示拍照角度的变化量,同时记录拍摄这两张照片时陀螺仪读数“yaw”(沿重力方向的转动角度)的角度变化量 $\Delta g$ ,因此陀螺仪的平均漂移可以通过公式(7)得到;

[0107] 步骤S32,用户在长距离行走时,在不同区域的步长可能不同,比如在宽阔的走廊步长较大、在屋内步长较小,使用闭合的行走轨迹校准用户步长,通过单张照片信息提取算法,可以得到拍摄第一个环境地标两张照片各自的距离 $d$ 与角度 $\theta$ ,因此该行走轨迹起始点与终止点的位置变化可以表示为 $\vec{v}$ ,对行走轨迹的每一时刻 $t$ 的位置进行步长校准,补偿量为 $\vec{v} \cdot t/T$ ;

[0108] 步骤S33,对行走轨迹的几何信息进行检测并剔除其中的异常数据,包括以下筛查方法中的一种或多种:

[0109] 步骤S331,遍历:步骤S32计算行走轨迹在角度校准之后,起始点与终止点之间的距离差,在理想条件下,由于用户返回了起点,应没有距离差,质量越差的行走轨迹,其两端点的距离差越大,因此根据行走轨迹两端点的距离差 $|\vec{v}|$ 占轨迹总长度的比例作为指标,剔除大于设定比例的行走轨迹;

[0110] 步骤S332,行走轨迹对准:当有很多路线相同的行走轨迹时,需要在统一的全局坐标系中放置它们。然而,由于实际行走路线、用户步长不同,这些轨迹往往形状或尺度不一致,不失一般性,考虑如何将第二条轨迹对应到已定位的第一条轨迹上,具体地,选取起始点、终止点距离最小的行走轨迹作为参考行走轨迹,其他行走轨迹通过平移、旋转或/和缩放与参考行走轨迹有最大的重叠部分,将参考行走轨迹和其他行走轨迹放入相同的坐标系中;

[0111] 步骤S333,异常数据剔除:基于聚类方法剔除远离聚类中心的环境地标位置的异常轨迹数据,例如:在所有的行走轨迹与环境地标均放入相同坐标系后,使用环境地标识别方法找到所有行走轨迹的相同环境地标集合,行走轨迹 $k$ 的环境地标集合表示为多维向量 $(m_1^k, \dots, m_n^k)$ ,其中 $m_i^k$ 表示行走轨迹 $k$ 的第 $i$ 个环境地标的位置,使用基于密度的DBSCAN聚类方法剔除那些环境地标位置远离其聚类中心的异常数据轨迹。

[0112] 优选地,在步骤S4中,对当前测量的环境地标进行识别,它是一个新的环境地标,或是某个已经存在的环境地标,错误的识别会导致系统更新错误的环境地标,因此会造成较大的地图误差甚至于错误的地图拓扑结构,因此可以结合多个传感器进行鲁棒的环境地标识别:通过照片捕捉环境地标的外观信息,通过用户姿态衡量它们的位置关系,通过无线信号区分环境地标间的射频特征,具体地,包括:

[0113] 步骤S41,基于照片的识别:从测试照片中提取特征向量,并与已知环境地标的照片进行匹配,进而判断它是新的或是已知的环境地标,使用标准的图像特征提取算法生成鲁棒、尺度无关的特征向量,并与已知环境地标照片的特征向量进行匹配。测试照片与每一个环境地标 $j$ 的照片相似度 $Score_j^{image}$ 定义为两照片匹配的特征向量数所占特征向量总数的比例。



[0114] 在步骤S42中,尽管照片可以很好的区分复杂的环境地标(如商店与海报),在诸如办公楼或实验楼这些门都很相似的场景往往不能正确使用无线信号余弦距离(例如,wifi余弦距离),即两无线信号强度矢量的余弦值,用 $Score_j^{wifi}$ 衡量环境地标j的几何信息与每一个环境地标的射频信号相似度。

[0115] 在步骤S43中,基于拍摄姿态的识别:给定拍摄姿态 $x_t = (x, y, \varphi)$ 与环境地标的坐标、朝向,通过公式(8)和(9)对关于相对距离与相对角度的预测值为 $\hat{z}_t$ ,正确的环境地标j预测值 $\hat{z}_t$ 与真实测量值 $z_t$ 非常接近,因此,在给定 $x_t$ 与 $m_j$ 条件下,按照公式(10)计算 $z_t$ 的条件概率作为拍摄姿态相似度 $Score_j^{pose}$

$$[0116] \quad \hat{z}_t = \begin{pmatrix} \hat{d} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(\mu_x - X)^2 + (\mu_y - Y)^2} \\ \mu_\varphi - \varphi \end{pmatrix} \quad (8) \text{ 和 } (9)$$

[0117]

$$Score_j^{pose} = p(z_t | x_t, m_j) = |2\pi Q|^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (z_t - \hat{z}_t)^T Q^{-1} (z_t - \hat{z}_t) \right\} \quad (10)$$

[0118] 其中,其中, $\hat{d}$ 为相对距离的预测值, $\hat{\theta}$ 为相对角度的预测值, $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$ 为前一时刻(t-1)拍摄姿态, $(\mu_x, \mu_y)$ 为前一时刻拍摄装置的位置坐标, $\mu_\varphi$ 为前一时刻的前进方向, $(x, y, \varphi)$ 为根据前一时刻的拍摄姿态更新的当前时刻的拍摄姿态, $(x, y)$ 为当前时刻的拍摄装置的位置坐标, $\varphi$ 为当前时刻的前进角度,Q为高斯测量噪声协方差, $\hat{z}_t = \begin{pmatrix} \hat{d} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix}$ ,  $z_t = \begin{pmatrix} d \\ \theta \end{pmatrix}$ 。

[0119] 可以采用步骤S41-S43中任一个方法识别环境地标,例如,当 $Score_j^{image}$ 或 $Score_j^{wifi}$ 或 $Score_j^{pose}$ 小于给定阈值时,出现了新的环境地标,当不小于所述给定阈值,将预识别环境地标识别为总相似度最高的环境地标。也可以采用上述方法的各种组合识别环境地标,例如,使用贝叶斯估计将环境地标j的相似度分解为每一个传感器相似度的连乘形式作为总相似度,即上述照片识别单元无线信号识别单元3231拍摄姿态识别单元33的识别结果的乘积 $Score_j^{image} \cdot Score_j^{wifi} \cdot Score_j^{pose}$ 。其中,任一较小的相似度都表明一个错误的识别,并且正确的识别应该在三个相似度中均有较高的取值。

[0120] 优选地,在步骤S5中,使用动态贝叶斯网络,通过测量信息对地图进行增量式更新,图7示出了构建平面图过程中不同变量间的依赖关系。在时刻t,用 $x_t$ 表示拍摄姿态(如手机的坐标与朝向), $u_t$ 表示从用户姿态 $x_{t-1}$ 到 $x_t$ 的行走距离与方向的控制信息, $z_t$ 表示用户对环境地标的测量信息(相对距离d与相对角度 $\theta$ ), $m_{c_t}$ 表示被测量环境地标的坐标与朝向,其中 $c_t = j (j=1, \dots, N)$ 是通过环境地标识别方法获得的环境地标标号。

[0121] 通过使用粒子滤波器算法对环境地标位置与拍摄姿态进行持续更新。本发明维护

了K个粒子,其中每一个粒子k ( $k=1, \dots, K$ ) 的状态量(见图8) 包括:拍摄姿态  $x_t^{[k]}$  (坐标  $(x, y)$  与前进方向  $\varphi$ ), 环境地标  $j$  ( $j=1, \dots, N$ ) 坐标与朝向  $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$  的均值  $\mu_j^{[k]}$  与协方差  $\Sigma_j^{[k]}$ , 以及两段相邻墙面长度  $(w_L, w_R)$ 。在每一时刻,通过如下方法更新每个粒子的状态,如图7-9所示:

[0122] 在步骤S51中,运动更新:给定前一时刻  $t-1$  的拍摄姿态  $x_{t-1}$  与当前时刻  $t$  的控制信息  $u_t$ , 根据运动模型、基于航位推测法的估计、通过对多维高斯分布随机采样得到的最新的拍摄姿态  $x_t$ , 具体地:给定  $t-1$  时刻的用户姿态  $x_{t-1}$ ,  $u_t = (v, \omega)$  表示通过轨迹追踪算法获得的当前拍摄位置的控制信息,其中  $v$  表示移动速率、 $\omega$  表示前进方向,使用行走检测算法获取用户自上一个环境地标测量后的连续行走区间  $\Delta T_t$ 。用户当前的拍摄姿态  $x_t$  通过航位推测法得到,即:

$$[0123] \quad x_t = x_{t-1} + \begin{bmatrix} v \cdot \Delta T_t \cdot \cos \omega + \varepsilon_x \\ v \cdot \Delta T_t \cdot \sin \omega + \varepsilon_y \\ \Delta \varphi + \varepsilon_\varphi \end{bmatrix}$$

[0124] 其中,  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_\varphi$  表示推测用户姿态不确定性的高斯噪声采样,  $\Delta \varphi$  表示通过轨迹角度校准算法得到的用户朝向变化。

[0125] 在步骤S52中,环境地标识别:假定  $t$  时刻关于环境地标  $c_t$  的测量信息为  $z_t$ , 并且  $c_t$  可以通过环境地标识别算法识别为  $j$  ( $j \in \{1, \dots, N\}$ );

[0126] 在步骤S53中,环境地标更新:给定拍摄姿态  $x_t$  与环境地标  $m_j$  的位置与朝向,对用户到环境地标  $j$  的相对距离和相对角度的测量信息  $\hat{z}_t = (\hat{d}, \hat{\theta})$  进行预测,实际测量信息与其预测信息的差值,  $z_t - \hat{z}_t$  可以用于更新环境地标的各个状态量,其中:

[0127] 假定  $t$  时刻测量的环境地标  $c_t$  被识别为  $j$ , 在  $t-1$  时刻的状态量为  $\mu_j^{t-1}$  与  $\Sigma_j^{t-1}$ ,

$\mu_j^{t-1} = (\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$  表示环境地标  $j$  在全局坐标系的坐标与朝向,  $\Sigma_j^{t-1}$  表示相应的  $3 \times 3$  协方差矩阵,拍摄姿态  $x_t = (x, y, \varphi)$  与在  $t-1$  时刻环境地标的状态量  $\mu_j^{t-1}$ , 根据公式

(8) 和 (9) 通过拍摄姿态  $x_t$  与环境地标估计相对距离与角度的测量值预测  $\hat{z}_t$ , 即拍摄装置与环境地标之间的坐标与朝向的差异值。在步骤S54中,给定环境地标  $j$  的照片,通过单张照片信息提取算法获得  $(d, \theta)$  的多个决策值及其权重,每个粒子基于测量决策的权重分布随机挑选并作为其测量值  $z_t = (d, \theta)^T$ , 以及墙面长度的实际测量  $(w_L, w_R)$ ; 之后,使用EKF (Extended Kalman Filter, 扩展卡尔曼滤波器) 算法对环境地标的状态进行更新。EKF 算法将系统测量模型线性化,因此测量误差可以表示为用户姿态噪声与环境地标状态噪声的线性组合;之后EKF算法根据测量信息对隐变量做出最优估计,使得预测测量值与实际测量值的差异最小,具体地:

[0128] 步骤S54:卡尔曼增益计算:

$$[0129] \quad Q = H \sum_j^{t-1} H^T + Q_t, K = \sum_j^{t-1} H^T Q^{-1}$$

[0130] 其中,  $Q_t$  是  $(d, \theta)$  的一个  $2 \times 2$  高斯测量噪声协方差;  $H$  是  $\hat{z}_t$  的  $2 \times 3$  雅克比矩阵, 包括  $(\hat{d}, \hat{\theta})$  关于  $(\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi)$  的元素偏导数;

[0131] 步骤S542, 环境地标  $j$  拍摄姿态与协方差按照下式更新更新如下:

$$[0132] \quad \mu_j^t = \mu_j^{t-1} + K \left( z_t - \hat{z}_t \right), \Sigma_j^t = (I - KH) \Sigma_j^{t-1}$$

[0133] 其中,  $I$  是一个  $3 \times 3$  的单位矩阵。

[0134] 步骤S55, 在环境地标更新后, 环境地标位置与朝向的不确定度 (即协方差) 进一步降低、并且分布更加集中, 为了简化墙面长度的估计, 使用加权平均值  $(w_L^{t-1}(t-1) + w_L) / t$  对

环境地标  $j$  的墙面长度  $w_L^t$  进行更新 (并相应的更新  $w_R^t$ )

[0135] 步骤S56, 权重更新: 在给定拍摄姿态与环境地标状态的前提下, 每一个粒子的权重设为实际测量信息  $z_t$  可能发生的概率, 粒子的权重反映了在给定拍摄姿态  $x_t^{[k]}$  与环境地标  $j$  的条件下, 测量值  $z_t$  对每个粒子的概率, 较高的概率表明该粒子估计的用户姿态与环境地标更加准确, 在高斯噪声前提下, 采用线性近似系统测量模型, 根据公式 (10) 可以通过实际测量值  $z_t$  与预测测量值  $\hat{z}_t$  计算每个粒子的权重, 即:

$$[0136] \quad W^{[k]} = p(z_t | x_t^{[k]}, m_j) = \left| 2\pi Q \right|^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (z_t - \hat{z}_t)^T Q^{-1} (z_t - \hat{z}_t) \right\}$$

[0137] 当真实测量值  $z_t$  与其预测值  $\hat{z}_t$  接近时, 粒子的权重较大。在计算所有粒子的权重之后, 根据权重分布, 从当前粒子集合中随机挑选  $K$  个粒子生成新的粒子集合。如上步骤在下一时刻重复进行。

[0138] 优选地, 在步骤S6中, 将平面图划分为多个格点, 不断更新每一格点的可到达程度, 进而识别出每一区域, 与现有技术使用了大量用户轨迹不同, 本发明采集的数据量很少, 因此不能直接推测所有格点的概率, 使用以下两种方法弥补稀疏的数据采集: 1) 拍摄装置与环境地标之间区域可以形成大范围开放空间; 2) 从轨迹出发推测相邻格点的概率, 因此扩展了轨迹的覆盖范围, 具体地:

[0139] 在步骤S61中, 轨迹周围的格点均计算可到达概率, 即:  $p(i) = k e^{-\frac{d_i^2}{\sigma}}$ , ( $w_d \geq d_i \geq 0, \sigma > 0$ ), 其中  $k$  为系数,  $d_i$  表示格点  $i$  到该轨迹的距离,  $w_d$  表示轨迹最大的覆盖范围,  $\sigma$  表示衰减系数 (如图10a所示),  $d_i^2$  的平方形式可以快速衰落轨迹周边格点的概率, 被多次经过区域的可达概率不断累积, 表明用户更可能到达。

[0140] 在步骤S62中, 使用照片对照片所在区域进行大面积覆盖, 由于用户在拍摄环境地标时需要确保二者之间没有障碍物, 拍摄装置与环境地标之间的区域往往是可达的, 因此本发明对用户与环境地标之间的三角形区域 (如图10b所示, 包含相邻墙面) 设置较高的可达概率, 图11c展示了占有格点图中的大厅区域在没有使用照片数据前处于黑洞状态,

通过不断增加的照片恢复了该大厅区域。

[0141] 在步骤S63中,在大多数室内环境中,走廊靠近墙面的区域往往是可以到达的,使用与轨迹分布相似的方法对走廊墙面的覆盖区域进行扩展(见图10c)。图11展示了两种类型的走廊墙面:如图11a所示,检测墙面具有较高的可到达概率,推测墙面的可到达概率较小,其中,由于一面墙没有环境地标,这面墙没有被检测到;该缺失部分通过轨迹数据可以有效的进行弥补。本发明在每个屋内使用闭合的行走轨迹构建屋内形状,并使用环境地标识别算法将其对应到地图相应的环境地标位置。

[0142] 上述室内平面图快速重建系统及重建方法采用了从多种传感器获取环境地标几何信息与空间关系的信息提取算法,以及消除噪声与剔除异常数据的数据优化算法,本发明通过轻量级信息提取算法、基于动态贝叶斯网络的地图增量式更新模型、环境地标识别算法以及照片、运动传感器与WIFI数据分析来快速构建室内平面图,保证了平面图的精度与可扩展性,实现快速构建室内平面图的同时大幅减少建图所需数据量,即使在诸如购物商场这样的大型复杂室内环境,数据采集也可以在一小时内完成。

[0143] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、组合、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

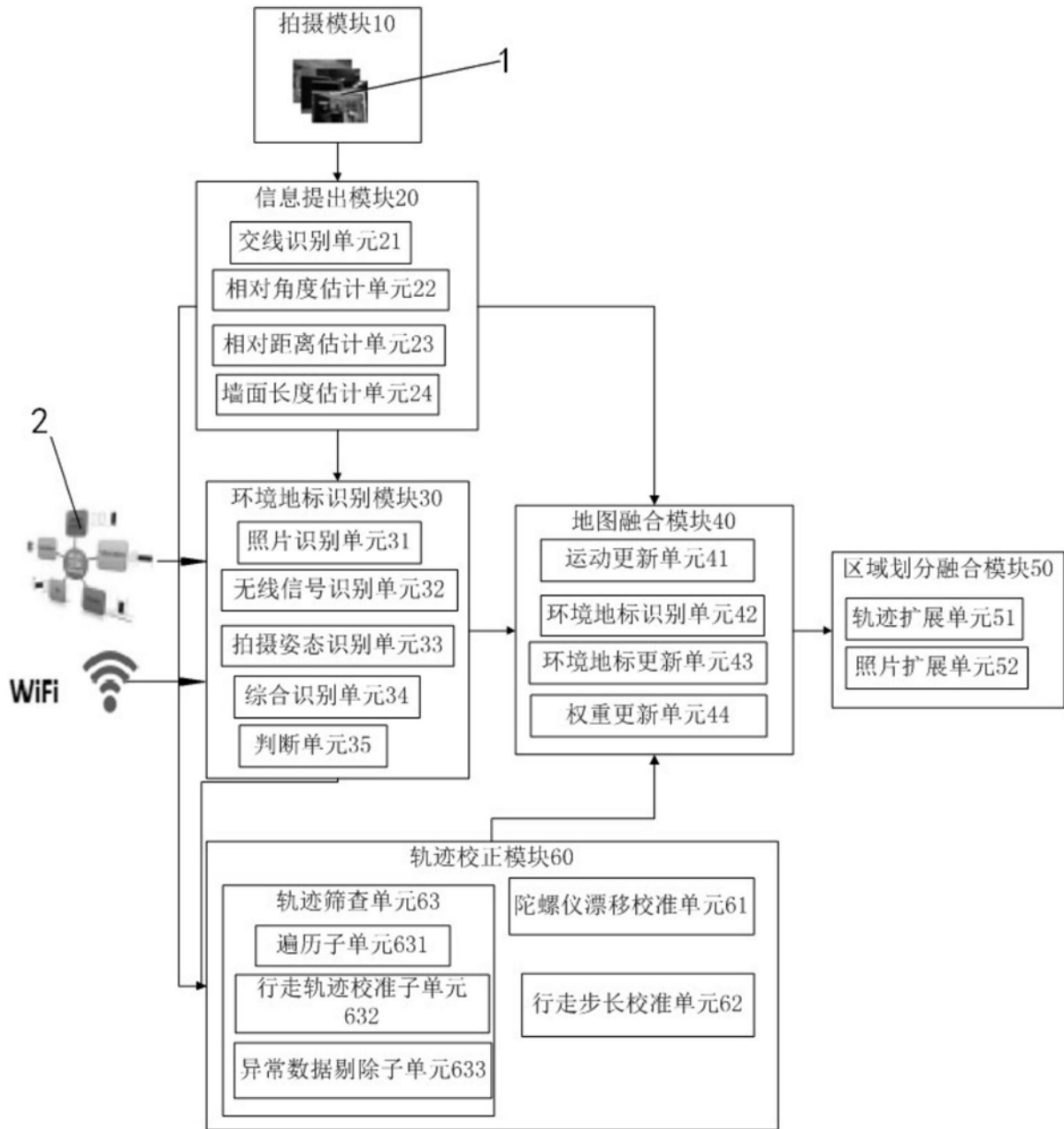


图1

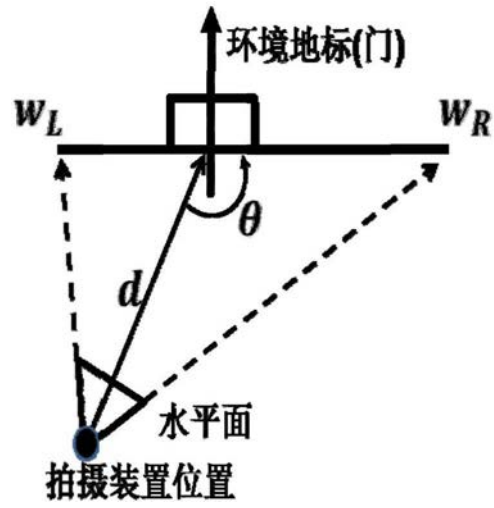


图2a

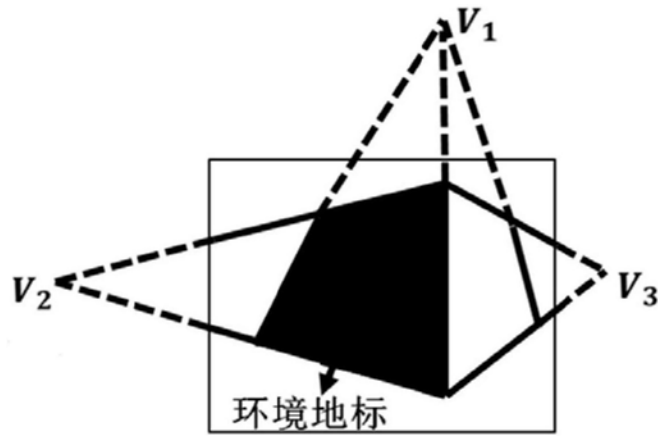


图2b

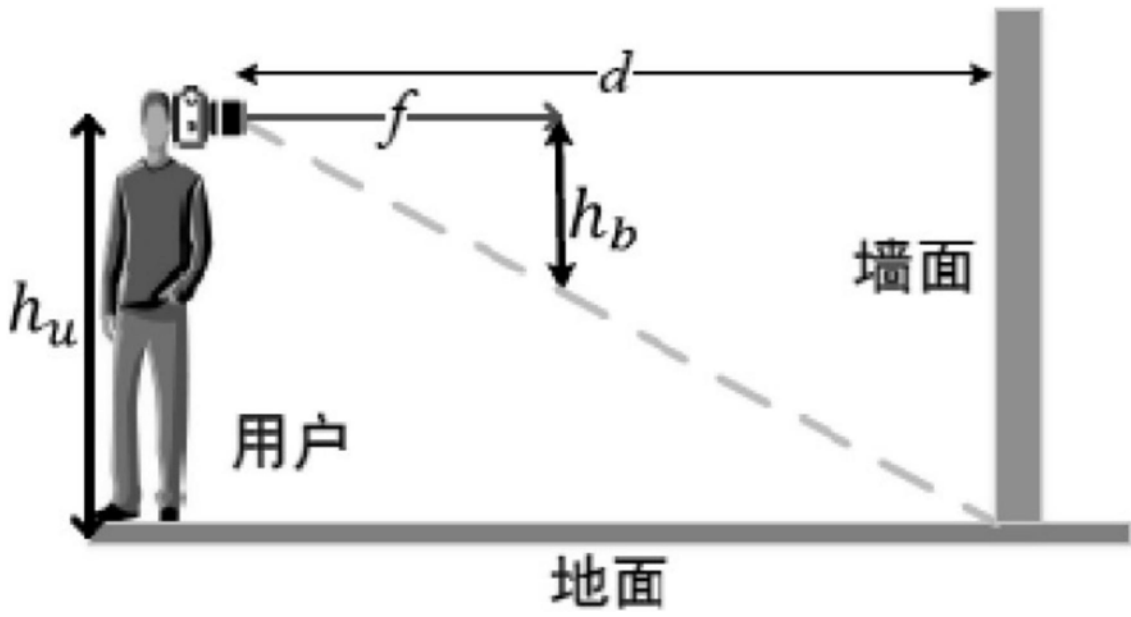


图3a

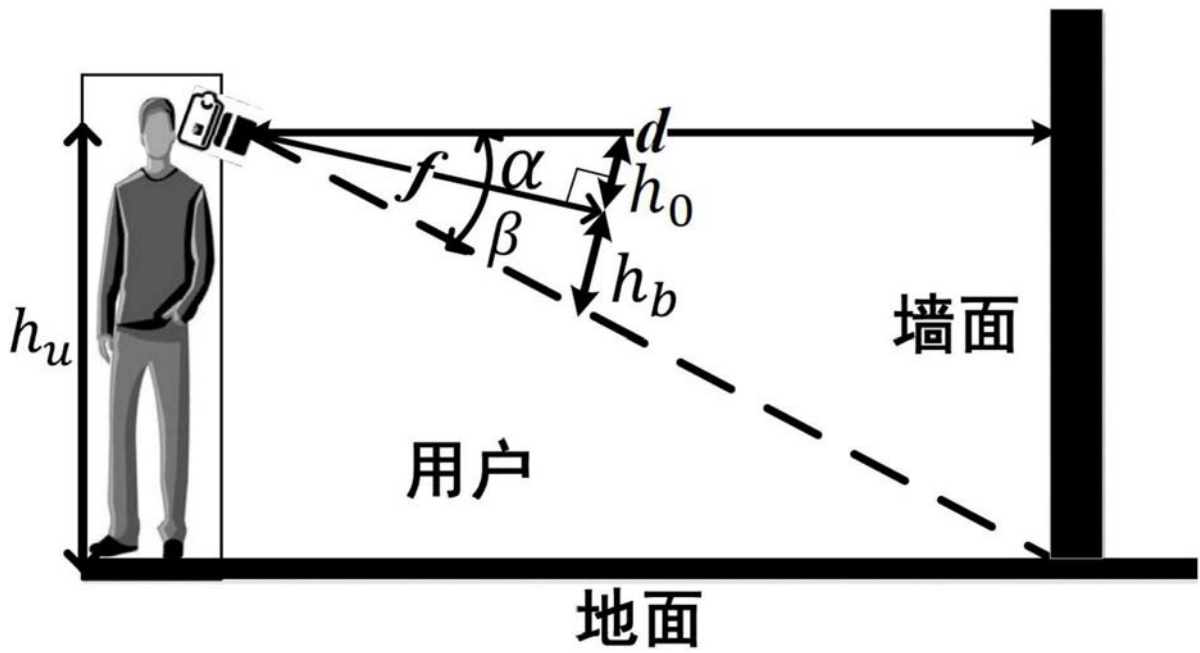


图3b

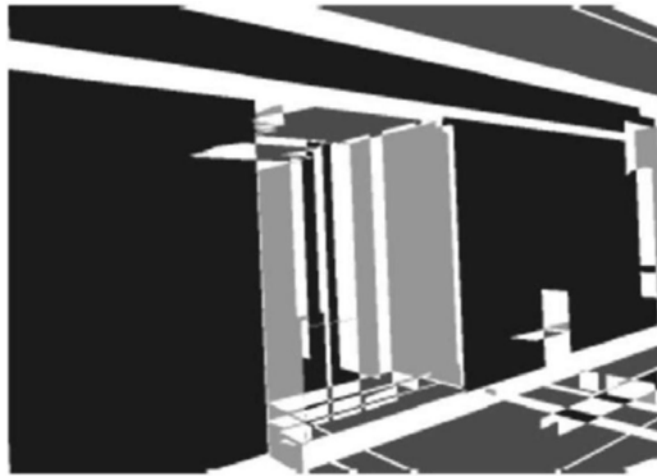


图4a

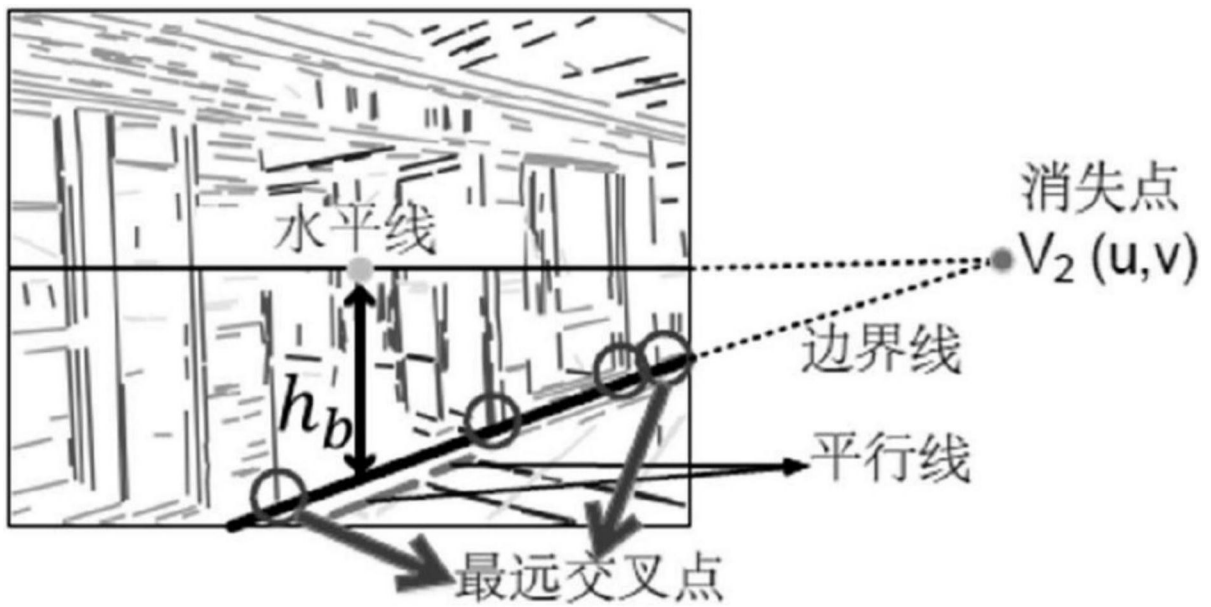


图4b

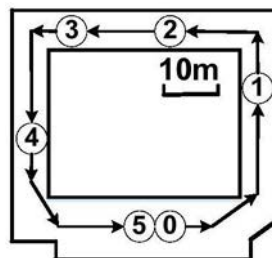


图5a



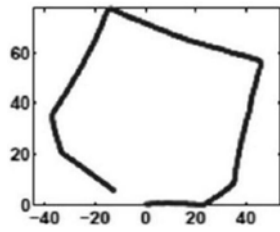


图5b

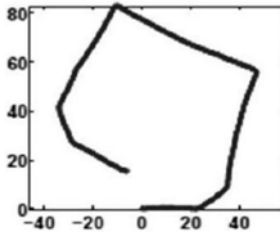


图5c

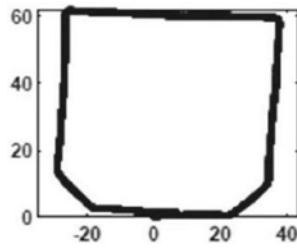


图5d

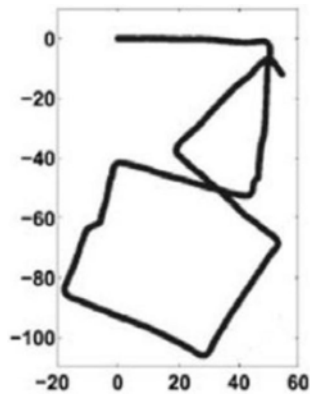


图6a

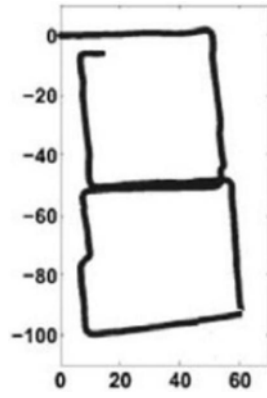


图6b

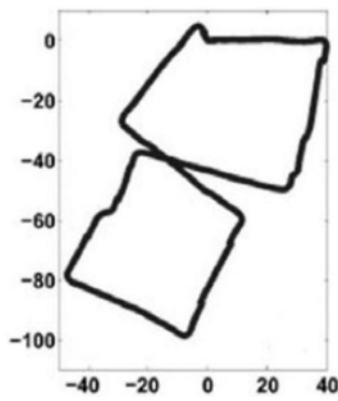


图6c

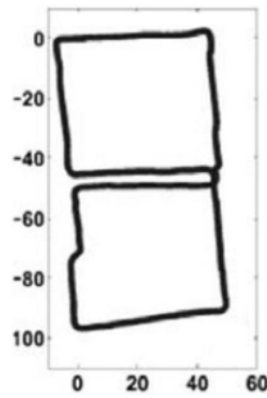


图6d

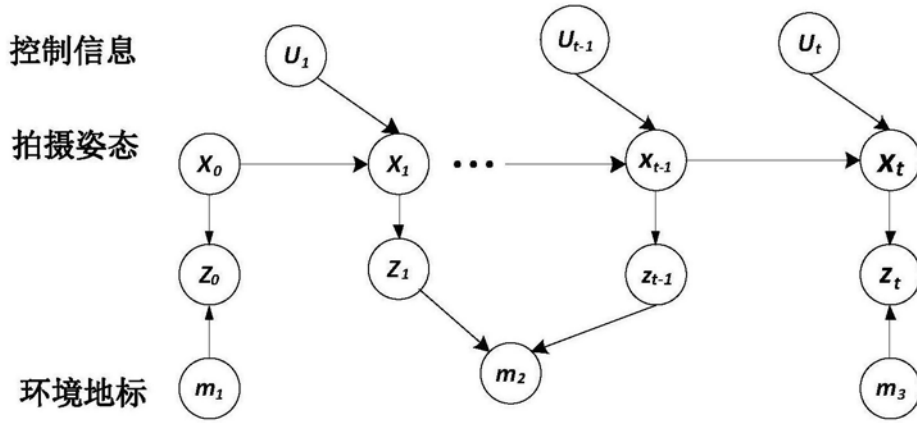


图7

当前状态	环境地标1	...	环境地标N
$x_t^{[k]} = \{(x, y, \varphi)\}_t^{[k]}$	$\mu_1^{[k]} = (\mu_x, \mu_y, \mu_\varphi, w_L, w_R)^T$ $\Sigma_1^{[k]}: 3 \times 3$ 协方差矩阵	...	$\mu_N^{[k]}, \Sigma_N^{[k]}$

图8

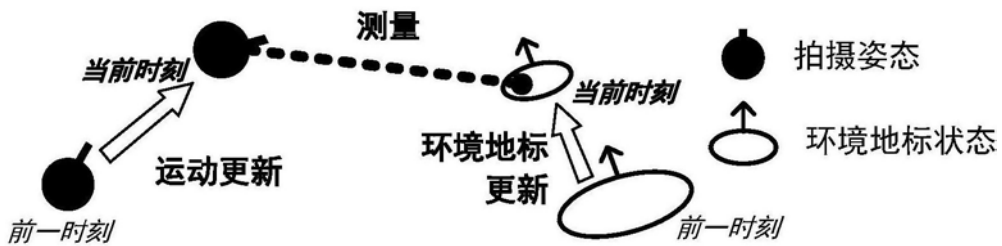


图9

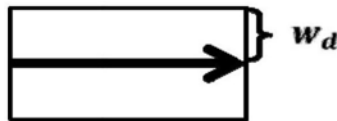


图10a

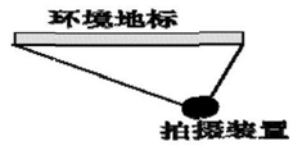


图10b



图10c

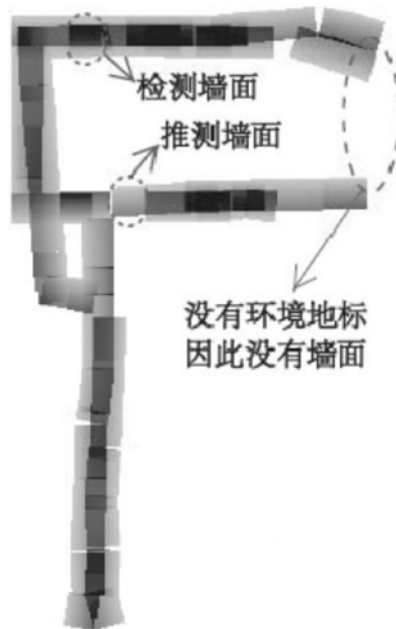


图11a



图11b



图11c

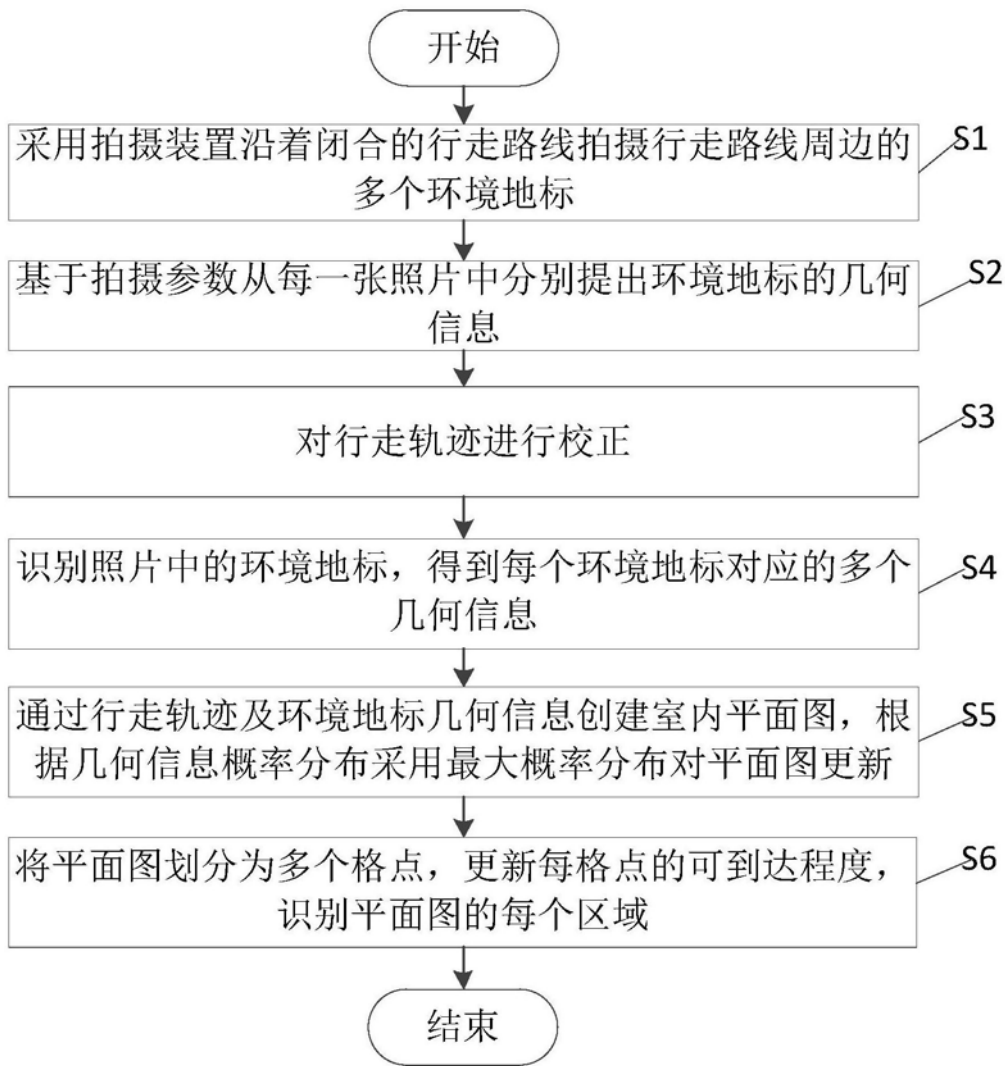


图12