



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105910601 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(21)申请号 201610379288.7

(22)申请日 2016.05.31

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 马永涛 窦智

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

代理人 程毓英

(51)Int.Cl.

G01C 21/08(2006.01)

G01C 21/20(2006.01)

G01C 21/16(2006.01)

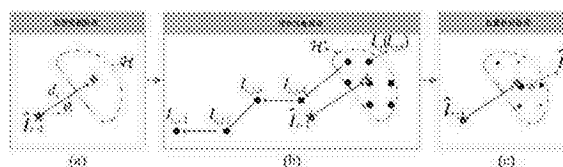
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于隐马尔科夫模型的室内地磁定位方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于隐马尔科夫模型的室内地磁定位方法,包括离线阶段和在线阶段,离线阶段包括:根据地图把待定位区域分成网格;使用智能手机内置的磁力计在每个网格中心RP测量地磁场强度数据;构建离线指纹库,离线指纹库由N个指纹构成,每个指纹数据包括指纹位置 $l_w=[x_w, y_w]$ 和指纹向量 $\xi_w=[\mu_w, \sigma_w]$,在线定位包括:根据步长估计与磁力计确定步伐长度 D_i 和运动方向角度 Φ_i ,预测行人位置;计算状态转移概率;估计行人步行i步之后的位置。本发明仅通过智能手机即可达到较高的室内定位精度。



1. 一种基于隐马尔科夫模型的室内地磁定位方法, 包括离线阶段和在线阶段, 离线数据采集阶段包括以下步骤:

1) 根据地图把待定位区域分成网格, B_w 为第 w 个网格;

2) 使用智能手机内置的磁力计在每个网格中心 RP 测量地磁场强度数据;

3) 构建离线指纹库, 离线指纹库由 N 个指纹构成, 每个指纹数据包括指纹位置 $l_w = [x_w, y_w]$ 和指纹向量 $\xi_w = [\mu_w, \sigma_w]$, 其中 μ_w 和 σ_w 分别为在第 w 个网格内采集的地磁场数据的平均值和方差, L 表示所有网格中心 RP 组成的集合, $L = \{l_w | 1 \leq w \leq N\}$;

在线定位阶段包括以下步骤:

1) 令上一次定位的结果为 \hat{l}_{i-1} , 位置 \hat{l}_i 表示人步行 i 步之后的位置, 当检测到人步行一步, 根据步长估计与磁力计确定步伐长度 D_i 和运动方向角度 Φ_i , 认为 D_i 与 Φ_i 相互独立并服从高斯分布, 分别计算 D_i 与 Φ_i 的概率分布; 利用贝叶斯准则, 预测行人位置的概率分布 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$; 求行人位置的概率分布 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$ 大于 p_T 的集合 H :

$$H = \{l | p(l_i = l | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i) \geq p_T\},$$

其中 p_T 为设置的阈值概率 l 为人员当前可能存在的位置;

2) 计算状态转移概率: 设在行人步行 i 步之后存储的地磁强度值序列为 O_i : $O_i = [o_{i-N_s+1}, o_{i-N_s+2}, \dots, o_i]$, 其中 o_{i-k+1} 为第 $i-k+1$ 步时测得的地磁信息;

a. 计算 H 和 L 的交集为 H' , 其中 $l_{i,j}$ 表示行人在步行 i 步之后可能存在的位置, 可能存在的位置总数为 N_p :

$$H' = \{l_{i,j} | l_{i,j} \in H, l_{i,j} \in L\} = \{l_{i,1}, l_{i,2}, \dots, l_{i,N_p}\};$$

b. 根据运动信息对于每个位置 $l_{i,j} = (x_{i,j}, y_{i,j})$ 预测之前的 N_s 个位置, 横坐标为 $x_{i,j}$, 纵坐标为 $y_{i,j}$, N_s 为序列的长度, $l_{i,j,k} = (x_{i,j,k}, y_{i,j,k})$ 表示通过 PDR 来预测的 $l_{i,j}$ 之前的第 k 个位置:

$$x_{i,j,k} = x_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \cos \phi_t, 0 \leq k < N_s,$$

$$y_{i,j,k} = y_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \sin \phi_t, 0 \leq k < N_s;$$

c. 在离线指纹库的指纹位置 l_w 中寻找距离 $l_{i,j,k}$ 最近的点, 并且分别存储该网格中心 RP 的均值与方差为 $\mu_{i,j,k}$ 和 $\sigma_{i,j,k}$;

d. 对于每一个 $l_{i,j}$ 构建两个后向序列: $U_{i,j} = [\mu_{i,j,1}, \mu_{i,j,2}, \dots, \mu_{i,j,N_s}]$ 和 $V_{i,j} = [\sigma_{i,j,1}, \sigma_{i,j,2}, \dots, \sigma_{i,j,N_s}]$;

e. 认定地磁场强度观测值符合以真实值为中心的高斯分布, 计算在位置 $l_{i,j,k}$ 出现地磁场强度 o_{i-k+1} 的概率:

f. 对于每个可能的位置 $l_{i,j}$, 计算观测值概率 $b_{i,j}$

g. 对每一个可能存在的位置 $l_{i,j}$ 计算状态转移概率 $a_{i,j}$;

3) 将 $a_{i,j}$ 作为权重估计行人步行 i 步之后的位置。

一种基于隐马尔科夫模型的室内地磁定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于利用地磁信息进行行人室内定位的领域,特别是针对室内复杂环境下的定位问题。

背景技术

[0002] 高精度且普遍适用的室内定位在各个领域已经显得越来越重要了。为此,很多科研工作者已经提出了很多定位技术,如基于到达时间(TOA)、基于到达角度(AOA)、基于到达的相位差(PDOA)、基于接收信号能量(RSS)、惯性导航以及前面几种方法的融合等。此外,用于室内定位的信号类型也越来越多,如WiFi、UWB、Zigbee等,这些方法已经取得了非常好的定位结果。然而,现有的定位方法大部分都需要额外的硬件支持,并且由于无线信号会被人体吸收,在人群密集的时候无线信号会非常微弱甚至接收不到导致定位系统在实际应用中定位效果不佳。

[0003] 如今,很多研究者把目光转向了地磁场。地磁场作为地球的固有资源,是一个矢量场,具有全天时、全天候以及全地域的特征。地磁场不受人体的影响并且室内地磁场的分布主要由建筑物结构决定,而地磁场在建筑物结构确定之后非常稳定,因此地磁场有潜力应用于高精度且普遍适用的室内定位。由于受到室内复杂环境的影响,尤其是钢筋混凝土的影响,室内地磁场复杂多变,而这种变化的地磁异常场恰好可以作为一种与位置对应的指纹信息进行匹配定位。其实,地磁场已经广泛的用于室内定位了。一种方法是在惯性导航系统中利用磁场辨别运动方向。另外一种方法是把地磁场强度作为一种指纹利用指纹法进行定位。一些研究者在惯性导航系统的帮助下,采用动态时间规划(DTW)算法对连续时刻的地磁场强度信息序列进行匹配定位。这种方法可以达到很高的定位精度,但是这种方法只适用于走廊这样狭长的区域进行定位。还有一些研究者利用粒子滤波把地磁强度信息与惯性导航进行融合,这种方法在实际定位过程中需要大量的计算来达到较高的定位精度。

[0004] 尽管地磁场已经广泛的应用于室内定位,但仍有问题没有处理的很好,首先地磁场强度非常微弱(大约只有几十 μT),其次对于指纹法来说,利用单一地磁场强度作为指纹来区分不同位置的分辨率太低。虽然三轴磁力计可以获得三维的地磁场数据,很自然的想到利用全部三轴的地磁场强度来提高地磁指纹的分辨率,但实际上,磁力计采集的三个数据会随着传感器坐标系的变化而变化,因此,在室内可以利用的只有总的磁场强度。

发明内容

[0005] 针对目前基于地磁场室内定位技术中的地磁场信号微弱以及分辨率较低很难应用于指纹法定位的问题,本发明提供一种增加地磁指纹信息的分辨率,获得较好的定位精度的室内地磁定位方法。本发明的技术方案如下:

[0006] 一种基于隐马尔科夫模型的室内地磁定位方法,包括离线阶段和在线阶段,

[0007] 离线数据采集阶段包括以下步骤:

[0008] 1)根据地图把待定位区域分成网格, B_w 为第 w 个网格;

[0009] 2)使用智能手机内置的磁力计在每个网格中心RP测量地磁场强度数据;

[0010] 3)构建离线指纹库,离线指纹库由N个指纹构成,每个指纹数据包括指纹位置 $l_w = [x_w, y_w]$ 和指纹向量 $\xi_w = [\mu_w, \sigma_w]$,其中 μ_w 和 σ_w 分别为在第w个网格内采集的地磁场数据的平均值和方差,L表示所有网格中心RP组成的集合, $L = \{l_w | 1 \leq w \leq N\}$;

[0011] 在线定位阶段包括以下步骤:

[0012] 1)令上一次定位的结果为 \hat{l}_{i-1} ,位置 \hat{l}_i 表示人步行i步之后的位置,当检测到人步行一步,根据步长估计与磁力计确定步伐长度 D_i 和运动方向角度 Φ_i ,认为 D_i 与 Φ_i 相互独立并服从高斯分布,分别计算 D_i 与 Φ_i 的概率分布;利用贝叶斯准则,预测行人位置的概率分布 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$;求行人位置的概率分布 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$ 大于 p_T 的集合H:

[0013] $H = \{l | p(l_i = l | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i) \geq p_T\}$,

[0014] 其中 p_T 为设置的阈值概率l为人员当前可能存在的位置;

[0015] 2)计算状态转移概率:设在行人步行i步之后存储的地磁强度值序列为 O_i :
 $O_i = [o_{i-N_s+1}, o_{i-N_s+2}, \dots, o_i]$,其中 o_{i-k+1} 为第i-k+1步时测得的地磁信息;

[0016] a.计算H和L的交集为H',其中 $l_{i,j}$ 表示行人在步行i步之后可能存在的位置,可能存在的位置总数为 N_p :

[0017] $H' = \{l_{i,j} | l_{i,j} \in H, l_{i,j} \in L\} = \{l_{i,1}, l_{i,2}, \dots, l_{i,N_p}\}$;

[0018] b.根据运动信息对于每个位置 $l_{i,j} = (x_{i,j}, y_{i,j})$ 预测之前的 N_s 个位置,横坐标为 $x_{i,j}$,纵坐标为 $y_{i,j}$, N_s 为序列的长度, $l_{i,j,k} = (x_{i,j,k}, y_{i,j,k})$ 表示通过PDR来预测的 $l_{i,j}$ 之前的第k个位置:

[0019] $x_{i,j,k} = x_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \cos \phi_t, 0 \leq k < N_s,$

[0020] $y_{i,j,k} = y_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \sin \phi_t, 0 \leq k < N_s;$

[0021] c.在离线指纹库的指纹位置 l_w 中寻找距离 $l_{i,j,k}$ 最近的点,并且分别存储该网格中心RP的均值与方差为 $\mu_{i,j,k}$ 和 $\sigma_{i,j,k}$;

[0022] d.对于每一个 $l_{i,j}$ 构建两个后向序列: $U_{i,j} = [\mu_{i,j,1}, \mu_{i,j,2}, \dots, \mu_{i,j,N_s}]$ 和
 $V_{i,j} = [\sigma_{i,j,1}, \sigma_{i,j,2}, \dots, \sigma_{i,j,N_s}]$;

[0023] e.认定地磁场强度观测值符合以真实值为中心的高斯分布,计算在位置 $l_{i,j,k}$ 出现地磁场强度 o_{i-k+1} 的概率:

[0024] f.对于每个可能的位置 $l_{i,j}$,计算观测值概率 $b_{i,j}$

[0025] g.对每一个可能存在的位置 $l_{i,j}$ 计算状态转移概率 $a_{i,j}$;

[0026] 3)将 $a_{i,j}$ 作为权重估计行人步行i步之后的位置。

[0027] 本发明是一种基于隐马尔科夫模型的后向序列匹配定位方法,该方法采用行人步伐检测来获得运动信息(PDR),利用后向序列匹配定位技术增加地磁指纹信息的分辨率,在基于隐马尔科夫模型的基础上对行人进行定位。并且对于不同的用户(身高、体重)有很好的鲁棒性,从而可以获得较好的定位精度且本身计算量较少。本发明的定位方法已经在MatLab中采用蒙特卡洛方法进行了2000多次的仿真实验。仿真中测试场景为 $20 \times 20 \times 5$ 米

的范围空间内,行人步行方向随机,设定一个行人步行的步伐长度和步行方向,来获得真实的位置,定位阶段获得的补偿与运动方向角度中添加高斯噪声,同时,为了测试环境因素对定位效果的影响,在接收地磁场强度信号中考虑了0.1uT到1uT的噪声干扰。仿真结果表明,在不同噪声的条件下,平均定位精度均为1.2米左右。本发明还在智能手机(魅族MX3端)采集数据进行实际实验,实验场地位于天津大学26楼D座5楼,由5个不同身高的志愿者分别拿着同一部手机进行数据采集,并在电脑上进行定位。实验结果表明,对于不同身高的人来说,定位精度均达到了1.4米以下。由此表明,本发明不仅定位精度较高,而且具有很好的鲁棒性。

附图说明

[0028] 图1为本发明的流程示意图,其中,(a)(b)(c)分别代表位置预测阶段、序列匹配阶段和位置估计阶段。

具体实施方式

[0029] 为了使本发明的技术方案更加清晰,以下结合附图及实例,对本发明进行进一步的详细说明。应当理解,此处所描述的具体实例仅用于解释发明,并不用于限定本发明。如图1所示本发明包括三个主要步骤:位置预测、后向序列匹配和位置估计。

[0030] 离线数据采集阶段包括以下步骤:

[0031] 1)根据地图把待定位区域分成网格, B_w 为第 w 个网格,其网格中心(RP)为 l_w 。

[0032] 2)使用磁场测量装置(磁力计、带磁场传感器的手机等)在每个网格中心测量地磁场强度数据。

[0033] 3)构建离线指纹库,指纹库由 N 个指纹构成。每个指纹数据包括指纹位置 $l_w=[x_w, y_w]$ 和指纹向量 $\xi_w=[\mu_w, \sigma_w]$,其中 μ_w 和 σ_w 分别为在第 w 个网格内采集的地磁场数据的平均值和方差。 L 表示所有RP组成的集合: $L=\{l_w|1\leq w\leq N\}$ 。

[0034] 在线定位阶段包括以下步骤:

[0035] 3)令上一次定位的结果为 \hat{l}_{i-1} ,位置 \hat{l}_i 表示人步行了 i 步之后的位置。当步伐检测机制检测到人步行了一步,根据步长估计与磁力计确定步伐长度 D_i 和运动方向角度 Φ_i 。

[0036] a)假设 D_i 与 Φ_i 相互独立并服从高斯分布,分别计算概率:

$$[0037] \quad p(D_i | l_i, \hat{l}_{i-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_d} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_d^2} (d_i - d(l_i, \hat{l}_{i-1}))^2\right),$$

$$[0038] \quad p(\Phi_i | l_i, \hat{l}_{i-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\phi} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_\phi^2} (\phi_i - \phi(l_i, \hat{l}_{i-1}))^2\right),$$

[0039] 其中, $p(D_i | l_i, \hat{l}_{i-1})$ 和 $p(\Phi_i | l_i, \hat{l}_{i-1})$ 分别为 D_i 与 Φ_i 的概率分布, σ_d 和 σ_ϕ 分别为运动距离和角度的方差, l_i 为本次定位的位置, \hat{l}_{i-1} 为上一次定位的估计位置。

[0040] b)利用贝叶斯准则,预测行人位置的概率分布 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$:

$$[0041] \quad p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i) = p(D_i | l_i, \hat{l}_{i-1}) \cdot p(\Phi_i | l_i, \hat{l}_{i-1}).$$

[0042] c)求概率 $p(l_i | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i)$ 大于 p_T 的集合H:

[0043] $H = \{l | p(l_i = l | \hat{l}_{i-1}, D_i, \Phi_i) \geq p_T\}$,

[0044] 其中 p_T 为设置的阈值概率 l 为人员当前可能存在的位置。

[0045] 4)利用惯导信息和在线采集的地磁场强度信息进行匹配,计算状态转移概率。在行人步行 i 步之后存储的地磁强度值序列为 $O_i: O_i = [o_{i-N^s+1}, o_{i-N^s+2}, \dots, o_i]$, 其中 o_{i-k+1} 为第 $i-k+1$ 步时测得的地磁信息。

[0046] a)计算H和L的交集为H', 其中 $l_{i,j}$ 表示行人在步行 i 步之后可能存在的位置, 可能存在的位置总数为 N_p :

[0047] $H' = \{l_{i,j} | l_{i,j} \in H, l_{i,j} \in L\} = \{l_{i,1}, l_{i,2}, \dots, l_{i,N_p}\}$ 。

[0048] b)根据运动信息 $\Sigma \Delta l_i$ 对于每个位置 $l_{i,j} = (x_{i,j}, y_{i,j})$ 预测之前的 N_s 个位置(横坐标为 $x_{i,j}$, 纵坐标为 $y_{i,j}$), N_s 为序列的长度, 换句话说, $l_{i,j,k} = (x_{i,j,k}, y_{i,j,k})$ 表示通过PDR来预测的 $l_{i,j}$ 之前的第 k 个位置(横坐标为 $x_{i,j,k}$, 纵坐标为 $y_{i,j,k}$):

[0049] $x_{i,j,k} = x_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \cos \phi_t, 0 \leq k < N_s,$

[0050] $y_{i,j,k} = y_{i,j} - \sum_{t=i-k+1}^i d_t \cdot \sin \phi_t, 0 \leq k < N_s.$

[0051] c)在指纹库 l_w 中寻找距离 $l_{i,j,k}$ 最近的点, 并且分别存储该RP的均值与方差为 $\mu_{i,j,k}$ 和 $\sigma_{i,j,k}$:

[0052]
$$\begin{cases} \mu_{i,j,k} = \{\mu_w | \arg \min_{RP_w} \|l_{i,j,k} - p_w\|_2\} \\ \sigma_{i,j,k} = \{\sigma_w | \arg \min_{RP_w} \|l_{i,j,k} - p_w\|_2\} \end{cases}, 1 \leq k \leq N_s,$$

[0053] 其中 p_w 为RP的位置。

[0054] d) 对于每一个 $l_{i,j}$ 构建两个后向序列: $U_{i,j} = [\mu_{i,j,1}, \mu_{i,j,2}, \dots, \mu_{i,j,N_s}]$ 和 $V_{i,j} = [\sigma_{i,j,1}, \sigma_{i,j,2}, \dots, \sigma_{i,j,N_s}]$ 。

[0055] e)假定地磁场强度观测值符合以真实值为中心的高斯分布, 计算在位置 $l_{i,j,k}$ 出现地磁场强度 o_{i-k+1} 的概率:

[0056]
$$p(o_{i-k+1} | l_{i-k+1} = l_{i,j,k}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{i,j,k}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_{i,j,k}^2} (o_{i-k+1} - \mu_{i,j,k})^2\right),$$

[0057] 其中 $\mu_{i,j,k}$ 为均值而 $\sigma_{i,j,k}$ 为对应的方差, l_{i-k+1} 为第 $i-k+1$ 步伐之后人员的位置。

[0058] f)对于每个可能的位置 $l_{i,j}$, 比较 $U_{i,j}$ 和 O_i , 计算观测值概率 $b_{i,j}$ (即 $p(o_i | l_i = l_{i,j})$):

[0059] $b_{i,j} = p(o_i | l_i = l_{i,j}) = p(O_i | l_i = l_{i,j}) = \prod_{k=1}^{N_s} p(o_{i-k+1} | l_{i-k+1} = l_{i,j,k})$ 。

[0060] g)对每一个可能存在的位置 $l_{i,j}$ 计算状态转移概率 $a_{i,j}$, C 为归一化常数:

$$[0061] \quad a_{i,j} = C \cdot \left(\frac{e^{-\frac{1}{2\sigma_d^2}(d_i - d(l_i, l_{i,j}))^2} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_\varphi^2}(\varphi_i - \varphi(l_i, l_{i,j}))^2}}{2\pi \cdot \sigma_d \cdot \sigma_\varphi} \cdot \prod_{k=1}^{N_s} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{i,j,k}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma_{i,j,k}^2}(o_{i-k+1} - \mu_{i,j,k})^2} \right)$$

[0062] 5) 将 $a_{i,j}$ 作为权重估计行人步行 i 步之后的位置为:

$$[0063] \quad \hat{l}_i = \sum_{a_{i,j} \in A, l_{i,j} \in H} a_{i,j} \cdot l_{i,j}$$

[0064] 6) 当系统再次检测到行人运动一步, 重复(1)到(3)步, 估计用户位置。

[0065] 本实施例主要包括离线数据采集和在线匹配定位两个阶段。

[0066] 离线阶段主要包括以下步骤, 首先将待定位区域划分为 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 的网格, 以每个网格的中心作为参考节点 RP。然后, 携带可以测量并记录地磁场强度传感器的仪器, 如智能手机、IMU 等, 根据传感器速率不同在每个网格中心 (RP) 测量记录地磁强度数据约 100 组。对数据求平均值并计算方差。最后, 把 RP 的位置与所得到的平均值和方差对应作为一个指纹数据, 构建指纹库。

[0067] 在线阶段中, 以智能手机为例, 待定位用户用手拖着手机行走, 屏幕朝上放置, 即手机的 Z 轴朝上而 Y 轴朝向运动的方向, 这样人在行走过程中, 可以根据手机自带的加速度传感器来获得运动信息。根据 Z 轴加速度数据可以进行步伐的检测, 可以先对 Z 轴加速度数据进行积分, 然后利用峰值检测就可以判定步伐。由于噪声等的干扰, 有可能在一个步伐运动内检测到两次步伐, 为此, 可以设一个阈值时间 T_{MIN} , 在这个时间内不管检测到几个步伐, 都判定第一步为一个步伐, 根据实验结果, 建议 T_{MIN} 设定为 0.3 秒。根据 Y 轴加速度数据可以估计步伐长度。利用磁力计和加速度传感器来获得运动的方向, 也可以利用陀螺仪得到的角速度信息来获得运动方向。

[0068] 根据仿真与实验结果, N_s 太小将影响定位精度, N_s 过大会产生过多的计算量, 因此建议 N_s 设定为 7 到 15 之间。而 P_r 设定太大会导致系统等效于惯性导航, 太小则会导致匹配范围为全地图, 因此建议 P_r 设定为 0.4 到 0.65 之间。

[0069] 采用这种方法, 我们对本发明进行了多组不同人之间的定位实验。我们邀请了 5 位不同身高的志愿者进行实验, 实验结果显示平均精度都可以达到 1.2 米左右。

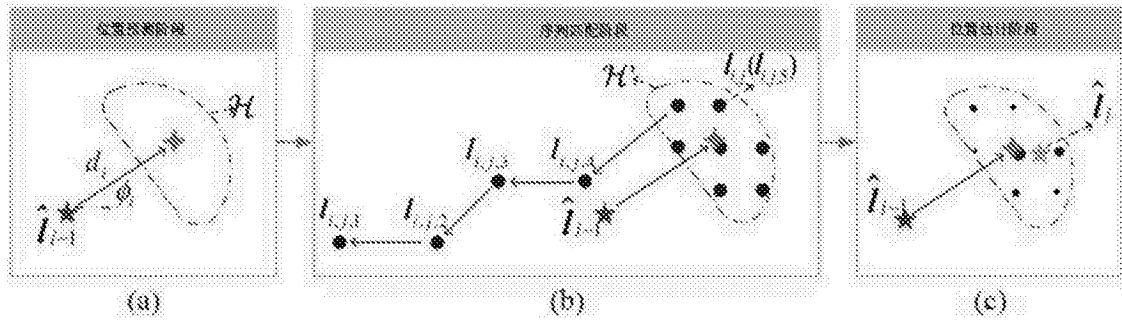


图1