



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108241150 B

(45) 授权公告日 2023.05.30

(21) 申请号 201611216488.7

G01S 7/52 (2006.01)

(22) 申请日 2016.12.26

审查员 张琦

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108241150 A

(43) 申请公布日 2018.07.03

(73) 专利权人 中国科学院软件研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村南四街4号

(72) 发明人 邓小明 杨硕 袁野 郑文勇

王宏安

(74) 专利代理机构 北京君尚知识产权代理有限公司

11200

专利代理师 余长江

(51) Int. Cl.

G01S 15/66 (2006.01)

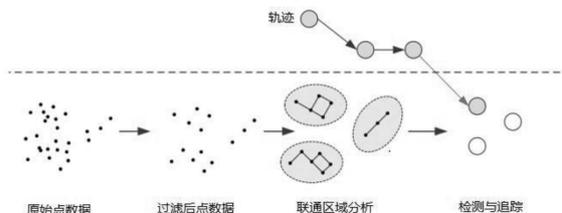
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法

(57) 摘要

本发明提供一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法,其步骤包括:1)从三维声呐设备中获取原始声呐数据 D_0 并对其进行过滤,得到过滤后的数据 D_1 ;2)将过滤后的数据 D_1 进行联通区域分析,分割出多个联通区域,其中每个联通区域作为一个候选项C;3)提取候选项C的特征;4)对连续多帧原始声呐数据的每一帧数据进行1)至3)所述的处理,得到候选项集合;5)在上述候选项集合中进行移动物体的检测与跟踪,得到移动物体的运动轨迹。并且当发生多物体轨迹交叉时,对得到的物体的运动轨迹进行基于图方法的分析矫正。本发明方法根据数据的时空信息进行检测跟踪,可以快速实时的检测追踪移动物体,且当多物体交叉运动时 also 具有很强的鲁棒性。



1. 一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法,其步骤包括:

- 1) 从三维声呐设备中获取原始声呐数据 D_0 并对其进行过滤,得到过滤后的数据 D_1 ;
- 2) 将过滤后的数据 D_1 进行联通区域分析,分割出多个联通区域,其中每个联通区域作为一个候选项 C ;
- 3) 提取候选项 C 的特征;
- 4) 对连续多帧原始声呐数据的每一帧数据进行步骤1)至步骤3)的处理,得到候选项集合;

5) 在上述候选项集合中进行移动物体的检测与跟踪,得到移动物体的运动轨迹;

其中,步骤5)中所述移动物体的检测方法包括以下步骤:

- 5-1) 在第 t 帧时刻,分别对每个候选项连续向前搜索 K 帧;
- 5-2) 对每个候选项进行最近邻搜索,将找到最近邻候选项的候选项进行递归向前搜索,直到搜索至前 $t-k$ 帧时停止,此时得到一条运动轨迹 Tr ;若没有最近邻候选项则停止;
- 5-3) 比较轨迹 Tr 两端的候选项 C_t^i 、 C_{t-k}^j 位置的欧氏距离,若偏移大于 T_{min} ,则轨迹 Tr 是一个移动物体的轨迹,否则丢弃轨迹 Tr ,其中 T_{min} 是预设阈值;

其中,步骤5-2)中所述最近邻搜索为:分别计算第 $t-1$ 帧的每个候选项 C_{t-1}^j 和第 t 帧中的候选项 C_t^i 的距离 $DT(C_t^i, C_{t-1}^j)$,得到两者距离的最小值 $DT_{i,j}^{min} = \min \{DT(C_t^i, C_{t-1}^j)\}_{j=1}^{j=n}$,其中 n 为第 $t-1$ 帧的候选项数目,若 $DT_{i,j}^{min} < DT_{max}$,则两者是最近邻候选项,其中 DT_{max} 是预设阈值。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤1)中所述原始声呐数据包括点的三维位置和点对声呐的反射强度,且数据格式是维度为 (N_{points}, R_4) 的二维矩阵,其中 N_{points} 是声呐所获取的点的数量, R_4 表示四元素分量 (x, y, z, q) , (x, y, z) 是每个点的三维位置, q 是该点对声呐的反射强度。

3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤1)中所述过滤是指删除声呐反射强度小的点数据,保留反射强度大的前百分之 X 的点数据。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤2)中所述联通区域分析的方法步骤为:

- 2-1) 求出所有点的两两点间的欧氏距离 $d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$;
- 2-2) 将两点间距离 $d(i, j) < T_{CC}$ 的两点数据联通,其中 T_{CC} 是最小联通距离阈值;
- 2-3) 所有联通的点为一个联通区域。

5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤3)中所述候选项 C 的特征包括位置 L 、平均强度 Q 、点的个数 N ;所述位置是指所有点的质心位置;所述平均强度是指所有点反射强度的均值。

6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,距离度量不仅要考虑两个候选项的欧氏距离,也要考虑两者间的平均强度之差,即 $DT(C_t^i, C_{t-1}^j) = \lambda \cdot \frac{d(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|d\|_2} + (1-\lambda) \cdot \frac{Q(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|Q\|_2}$,其中 $d(C_t^i, C_{t-1}^j)$ 为步骤2-1)中所述的欧氏距离, $Q(C_t^i, C_{t-1}^j) = Q_t^i - Q_{t-1}^j$ 是两个候选项的平均强度之差, Q_t^i 和 Q_{t-1}^j 分别为 C_t^i 和 C_{t-1}^j 的平均强度, $\|\cdot\|_2$ 表示二范数,此处用来做归一化项。

7. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤5)中所述移动物体的跟踪方法包括以下

步骤:

5-4) 在第t帧,若有联通区域 C_t^i 在运动轨迹Tr的末端,则对第t+1帧的所有候选项进行5-2)中所述的最近邻搜索,将找到的 C_t^i 的最近邻候选项 C_{t+1}^j 加入轨迹Tr的末端;

5-5) 对第t+1帧所有没有加入任何轨迹的候选项,按照上述移动物体的检测方法对其进行检测,以检测新的移动物体。

8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,当发生多物体轨迹交叉时,对得到的物体的运动轨迹进行基于图方法的分析矫正,所述基于图方法的分析矫正是指t-1帧所有轨迹的候选项与t帧所有轨迹的候选项组成二部图G,将两两候选项的相似度作为二部图边的权重,利用整数优化求解二部图匹配问题,具体数学表达如下:

$$\min_{\{f_{ij}, p_i, q_j\}_{i,j}} \sum_{i,j} c_{ij} f_{ij} + \lambda_p \sum_i p_i + \lambda_q \sum_j q_j$$

$$\text{subject to } \sum_i f_{ij} + q_j = 1, \forall j$$

$$\sum_j f_{ij} + p_i = 1, \forall i$$

$$f_{ij}, p_i, q_j \in \{0, 1\}, \forall i, j$$

其中 f_{ij} 为二值变量,表示 $tr_i(t-1)$ 是否与 $tr_j(t)$ 连接, c_{ij} 表示两个节点的相似度度量, p_i 与 q_j 为松弛变量,允许部分节点为离群点,不参与匹配。

一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法

技术领域

[0001] 本发明属于图像处理和计算机视觉领域,特别涉及一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法。

背景技术

[0002] 随着近年来恐怖主义的肆虐,一些大型水面设施比如海港、海上平台等由于其重要的经济、战略价值常常面临恐怖主义威胁。因此急需对水下环境的智能监控,达到对水下环境紧急状况的预警,对水下移动的恐怖分子防范是这类系统的核心任务。水下移动物体检测和跟踪以及基于轨迹的行为识别正是水下检测与防护系统的基础,保证水面设施水下环境的安全,做到水下环境物体快速分类,达到紧急情况下有预警且能够快速跟踪定位。

[0003] 对于物体的检测与追踪,光学条件下有着众多比较成熟的方法,但在水下环境下这类研究几乎是一个未被研究的问题。由于声呐自身存在成像分辨率低、混响噪声严重、边缘残缺不全等问题,基于声呐的水下移动物体检测与追踪相当困难。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法,提高检测追踪精度,保证其鲁棒性及实用性。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法,其步骤包括:

[0007] 1) 从三维声呐设备中获取原始声呐数据 D_0 并对其进行过滤,得到过滤后的数据 D_1 ;

[0008] 2) 将过滤后的数据 D_1 进行联通区域分析,分割出多个联通区域,其中每个联通区域作为一个候选项C;

[0009] 3) 提取候选项C的特征;

[0010] 4) 对连续多帧原始声呐数据的每一帧数据进行步骤1)及步骤3)所述的处理,得到候选项集合;

[0011] 5) 在上述候选项集合中进行移动物体的检测与跟踪,得到移动物体的运动轨迹。

[0012] 进一步地,步骤1)中所述原始声呐数据包括点的三维位置和点对声呐的反射强度,且数据格式是维度为 (N_{points}, R_4) 的二维矩阵,其中 N_{points} 是声呐所获取的点的数量, R_4 表示四元素分量 (x, y, z, q) , (x, y, z) 是每个点的三维位置, q 是该点对声呐的反射强度。

[0013] 进一步地,步骤1)中所述过滤是指删除声呐反射强度小的点数据,保留反射强度大的前百分之X的点数据,即根据反射强度从大到小将所有点排序,取前百分之X处点的强度值作为过滤的临界值,此处X取值范围一般为40至60。

[0014] 进一步地,步骤2)中所述联通区域分析的方法步骤为:

[0015] 2-1) 求出所有点的两两点间的欧氏距离 $d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$;

[0016] 2-2) 将两点间距离 $d(i, j) < T_{\text{CC}}$ 的两点数据联通,其中 T_{CC} 是最小联通距离阈值,且阈值的选取根据实际数据统计及实际效果综合考虑;

[0017] 2-3)所有联通的点为一个联通区域。

[0018] 进一步地,步骤3)中所述候选项C的特征包括位置L、平均强度Q、点的个数N;所述位置是指所有点的质心位置;所述平均强度是指所有点反射强度的均值。

[0019] 进一步地,步骤5)中所述移动物体的检测方法包括以下步骤:

[0020] 5-1)在第t帧时刻,分别对每个候选项连续向前搜索K帧,其中K是时间序列的长度,一般取值为声呐帧率;

[0021] 5-2)对每个候选项进行最近邻搜索,将找到最近邻候选项的候选项进行递归向前搜索,直到搜索至前t-k帧时停止,此时得到一条运动轨迹 Tr ;若没有最近邻候选项则停止;

[0022] 5-3)比较轨迹 Tr 两端的候选项 C_t^i 、 C_{t-k}^j 位置的欧氏距离,若偏移大于 T_{min} ,则轨迹 Tr 是一个移动物体的轨迹,否则丢弃轨迹 Tr ,其中 T_{min} 是预设阈值,且阈值的选取与实际数据统计以及步骤5-1)中所选取的K值相关。

[0023] 更进一步地,步骤5-2)中所述最近邻搜索方法为:分别计算第t-1帧的每个候选项 C_{t-1}^j 和第t帧中的候选项 C_t^i 的距离 $DT(C_t^i, C_{t-1}^j)$,得到两者距离的最小值 $DT_{i,j}^{min} = \min \{DT(C_t^i, C_{t-1}^j)\}_{j=1}^{j=n}$,其中n为第t-1帧的候选项数目,若 $DT_{i,j}^{min} < DT_{max}$,则两者是最近邻候选项,其中 DT_{max} 是预设阈值,且阈值的选取根据实际效果综合考虑。

[0024] 更进一步地,所述距离度量不仅要考虑两个候选项的欧氏距离,也要考虑两者间的平均强度之差,即 $DT(C_t^i, C_{t-1}^j) = \lambda \cdot \frac{d(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|d\|_2} + (1-\lambda) \cdot \frac{Q(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|Q\|_2}$,其中 $d(C_t^i, C_{t-1}^j)$ 为步骤2-1)中所

述的欧氏距离, $Q(C_t^i, C_{t-1}^j) = Q_t^i - Q_{t-1}^j$ 是两个候选项的平均强度之差, Q_t^i 和 Q_{t-1}^j 分别为 C_t^i 和 C_{t-1}^j 的平均强度, $\|\cdot\|_2$ 表示二范数,此处用来做归一化项。

[0025] 进一步地,步骤5)中所述移动物体的跟踪方法包括以下步骤:

[0026] 5-4)在第t帧,若有联通区域 C_t^i 在运动轨迹 Tr 的末端,则对第t+1帧的所有候选项进行5-2)中所述的最近邻搜索,将找到的 C_t^i 的最近邻候选项 C_{t+1}^j 加入轨迹 Tr 的末端;

[0027] 5-5)对第t+1帧所有没有加入任何轨迹的候选项,按照上述移动物体的检测方法对其进行检测,以检测新的移动物体。

[0028] 进一步地,当发生多物体轨迹交叉时,对得到的物体的运动轨迹进行基于图方法的分析矫正,所述基于图方法的分析矫正是指t-1帧所有轨迹的候选项与t帧所有轨迹的候选项组成二部图G,将两两候选项的相似度作为二部图边的权重,利用整数优化求解二部图匹配问题,具体数学表达如下:

$$[0029] \quad \min_{\{f_{ij}, p_i, q_j\}_{i,j}} \sum_{i,j} c_{ij} f_{ij} + \lambda_p \sum_i p_i + \lambda_q \sum_j q_j$$

$$[0030] \quad \text{subject to} \quad \sum_i f_{ij} + q_j = 1, \forall j$$

$$[0031] \quad \sum_j f_{ij} + p_i = 1, \forall i$$

$$[0032] \quad f_{ij}, p_i, q_j \in \{0, 1\}, \forall i, j$$

[0033] 其中 $f_{i,j}$ 为二值变量,表示 $tr_i(t-1)$ 是否与 $tr_j(t)$ 连接, $c_{i,j}$ 表示两个节点的相似度

度量, p_i 与 q_j 为松弛变量, 允许部分节点为离群点, 不参与匹配。

[0034] 本发明的有益效果在于: 本发明提供一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法, 通过采用一种全新的基于主动声呐的移动物体检测与跟踪方法, 根据数据的时空信息进行检测跟踪, 在复杂环境中, 可以快速实时的检测追踪移动物体, 且当多物体交叉运动时 also 具有很强的鲁棒性; 特别的, 在水下环境中, 本发明为水下设备防护系统提供关键技术, 能够对蛙人、水下机器人等水下威胁物体进行分析、检测与追踪。

附图说明

- [0035] 图1是本发明方法的步骤流程图。
 [0036] 图2是本发明方法的联通区域分析示例图。
 [0037] 图3是本发明方法的移动物体追踪示例图。
 [0038] 图4是本发明方法的基于图方法的分析矫正示例图。
 [0039] 图5是本发明方法一实施例的具体效果示例图。

具体实施方式

[0040] 为使本发明的上述特征和优点能更明显易懂, 下文特举实施例, 并配合所附图作详细说明如下。

[0041] 本发明提供一种三维声呐点云环境中的移动物体检测与跟踪方法, 其步骤流程图如图1所示, 包括:

[0042] 步骤1: 从三维声呐设备中获取原始声呐数据 D_0 , 包括点的三维位置和点对声呐的反射强度; 其中原始声呐数据格式是维度为 (N_{points}, R_4) 的二维矩阵, N_{points} 是声呐所获取的点的数量, R_4 表示四元素分量 (x, y, z, q) , (x, y, z) 是每个点的三维位置, q 是该点对声呐的反射强度。

[0043] 步骤2: 对原始声呐数据 D_0 进行过滤, 将声呐反射强度小的点数据删除来减少搜索量, 得到过滤后的数据 D_1 。其中所述过滤是指删除声呐反射强度小的点数据, 保留反射强度大的前百分之 X 的点数据, 即根据反射强度从大到小将所有点排序, 取前百分之 X 处点的强度值作为过滤的临界值, 此处 X 取值范围一般为40至60。

[0044] 步骤3: 首先对 D_1 进行联通区域分析, 分割出多个联通区域, 每个联通区域作为一个候选项 C , 从点云到联通区域如图2所示, (a) 为原始点数据, (b) 为分析得到的联通区域; 其中联通区域分析方法包括以下步骤:

[0045] 1) 求出所有点的两两点间的欧氏距离 $d(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$;

[0046] 2) 若两点间距离 $d(i, j) < T_{cc}$, 则两点间联通, 否则不连通, 其中 T_{cc} 是最小联通距离阈值, 且阈值的选取根据实际数据统计及实际效果综合考虑;

[0047] 3) 所有联通的点为一个联通区域。

[0048] 其次提取 C 的特征, 如位置 L 、平均强度 Q 、大小 (点的个数) N ; 其中联通区域的位置

是指所有点的质心位置且 $L(x, y, z) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i, y_i, z_i)$, 其中 (x_i, y_i, z_i) 为步骤1中所述的点的

三维位置;联通区域的平均强度是指所有点反射强度的均值且 $Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i$, 其中 q_i 为步骤1中所述的点对声呐的反射强度。

[0049] 步骤4:对连续多帧原始声呐数据 D_m, D_{m+1}, \dots, D_n 的每一帧数据进行步骤1)到步骤3)的处理,得到候选项集合 $\{C_m\}^s, \{C_{m+1}\}^s, \dots, \{C_n\}^s$;在候选项集合中进行移动物体的检测和跟踪,得到移动物体的运动轨迹,移动物体追踪示例图如图3所示,其中 $t-1$ 和 t 表示时间点。所述移动物体检测方法包括以下步骤:

[0050] 1) 在第 t 帧时刻,分别对候选项 $C_t^1, C_t^2, \dots, C_t^m$ 连续向前搜索 K 帧,其中 K 是时间序列的长度,一般取值为声呐帧率;

[0051] 2) 对每个候选项进行最近邻搜索,若找到最近邻候选项,则递归向前搜索,直到搜索至前 $t-k$ 帧时停止,此时得到一条运动轨迹 Tr ,若没有最近邻候选项则停止;

[0052] 3) 比较轨迹 Tr 两端的候选项 C_t^i, C_{t-k}^j 位置的欧氏距离,若偏移大于阈值 T_{min} ,则轨迹 Tr 是一个移动物体的轨迹,否则丢弃轨迹 Tr ,其中 T_{min} 是预设阈值,且阈值的选取与实际数据统计以及上述1)中所选取的 K 值相关。

[0053] 其2)中所述最近邻搜索方法是指:

[0054] 2-1) 分别计算第 $t-1$ 帧的每个候选项 C_{t-1}^j 和第 t 帧中的候选项 C_t^i 的距离 $DT(C_t^i, C_{t-1}^j)$,得到两者的距离的最小值 $DT_{i,j}^{min} = \min \{DT(C_t^i, C_{t-1}^j)\}_{j=1}^{n-1}$,其中 n 为第 $t-1$ 帧的候选项数目,若 $DT_{i,j}^{min} < DT_{max}$,则两者是最近邻候选项,其中 DT_{max} 是预设阈值,且阈值的选取根据实际效果综合考虑

[0055] 2-2) 在2-1)中所述的距离度量方式以如下公式计算, $Q(C_t^i, C_{t-1}^j) = Q_t^i - Q_{t-1}^j$,

$DT(C_t^i, C_{t-1}^j) = \lambda \cdot \frac{d(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|d\|_2} + (1-\lambda) \cdot \frac{Q(C_t^i, C_{t-1}^j)}{\|Q\|_2}$, 其中 $d(C_t^i, C_{t-1}^j)$ 为步骤3中所述的欧氏距离, Q_t^i 和

Q_{t-1}^j 分别为 C_t^i 和 C_{t-1}^j 的平均强度, $\|*\|_2$ 表示二范数,此处用来做归一化项。

[0056] 所述移动物体跟踪方法包括以下步骤:

[0057] 1) 在第 t 帧,如果联通区域 C_t^i 在运动轨迹 Tr 的末端,则对第 $t+1$ 帧的所有候选项按上述所述的最近邻搜索方法进行跟踪,若能够找到 C_t^i 的最近邻候选项 C_{t+1}^j ,则将 C_{t+1}^j 加入轨迹 Tr 的末端;

[0058] 2) 对第 $t+1$ 帧所有没有加入任何轨迹的候选项,按上述所述的移动物体检测方法对其进行移动物体检测,以检测新的移动物体。

[0059] 本发明提供的移动物体检测与跟踪方法还包括:当发生多物体轨迹交叉时,对得到的物体的运动轨迹进行基于图方法的分析矫正,来解决多物体轨迹交叉错连问题,基于图方法的分析矫正示例图如图4所示。其中所述运动轨迹矫正是指对于步骤4中移动物体跟踪方法生成的轨迹,当多个物体轨迹交叉时,对错误连接不同物体的轨迹进行矫正。具体表示为 $\{tr_i(t-1)\}_{i=1}^m$ 与 $\{tr_j(t)\}_{j=1}^n$ 相互匹配问题,其中 $\{tr_i(t-1)\}_{i=1}^m$ 表示为第 i 个轨迹中的 $t-1$ 帧的候选项, m 表示第 $t-1$ 帧时轨迹个数; $\{tr_j(t)\}_{j=1}^n$ 表示为第 j 个轨迹中的 t 帧的候选项, n 表示第 t 帧

时轨迹个数。 $t-1$ 帧所有轨迹的候选项与 t 帧所有轨迹的候选项组成二部图 G ,将两两候选项的相似度作为二部图边的权重。利用整数优化求解二部图匹配问题,具体数学表达如下:

$$[0060] \quad \min_{\{f_{ij}, p_i, q_j\}_{i,j}} \sum_{i,j} c_{ij} f_{ij} + \lambda_p \sum_i p_i + \lambda_q \sum_j q_j$$

$$[0061] \quad \text{subject to} \quad \sum_i f_{ij} + q_j = 1, \forall j$$

$$[0062] \quad \sum_j f_{ij} + p_i = 1, \forall i$$

$$[0063] \quad f_{ij}, p_i, q_j \in \{0, 1\}, \forall i, j$$

[0064] 其中 f_{ij} 为二值变量,表示 $tr_i(t-1)$ 是否与 $tr_j(t)$ 连接, c_{ij} 表示两个节点的相似度量, p_i 与 q_j 为松弛变量,允许部分节点为离群点,不参与匹配。

[0065] 根据本发明的方法,在水下复杂环境中,可以快速实时的检测追踪移动物体。本发明一实施例的具体效果如图5所示,其中(a)为原始数据在三维上的表示,从图中可以看到在原始数据上,基本不能有效区分运动物体的点云,(b)为得到的某个时间段的运动轨迹和某时刻的物体点云,图示蛙人是自右向左运动的,使用本发明所述方法后,得到三个运动物体(一个蛙人,两个气泡)及其一段时间的运动轨迹,本方法在蛙人和气泡的运动轨迹交叉点处正确的处理了交叉运动问题。

[0066] 以上实施仅用以说明本发明的技术方案而非对其进行限制,本领域的普通技术人员可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和范围,本发明的保护范围应以权利要求书所述为准。

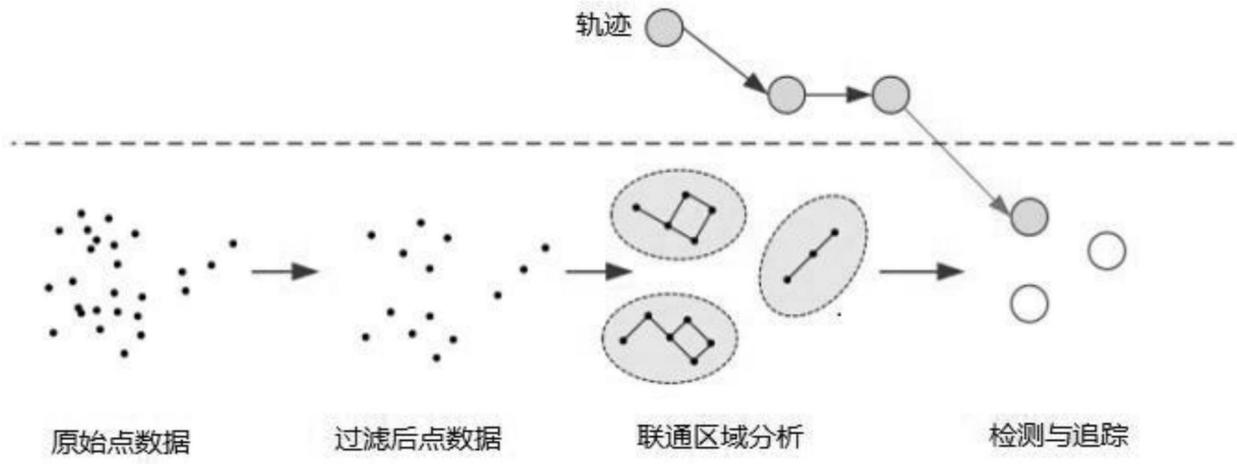


图1

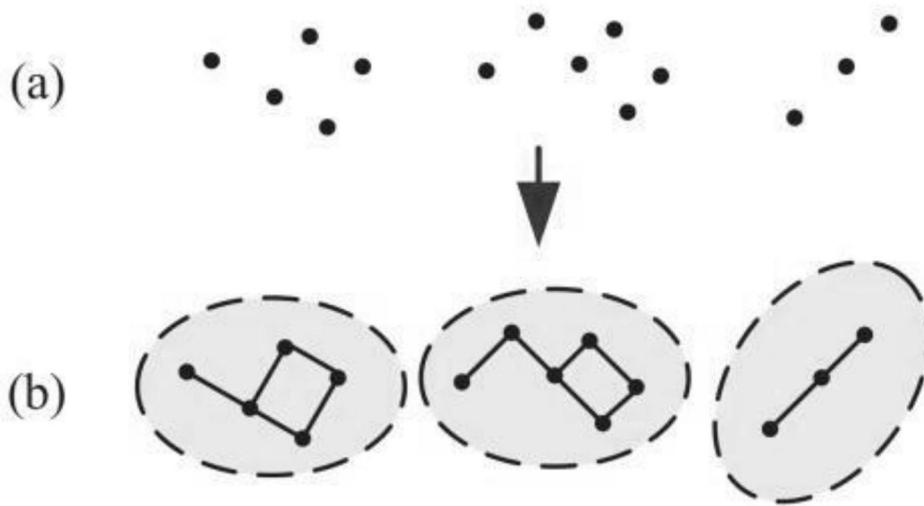


图2

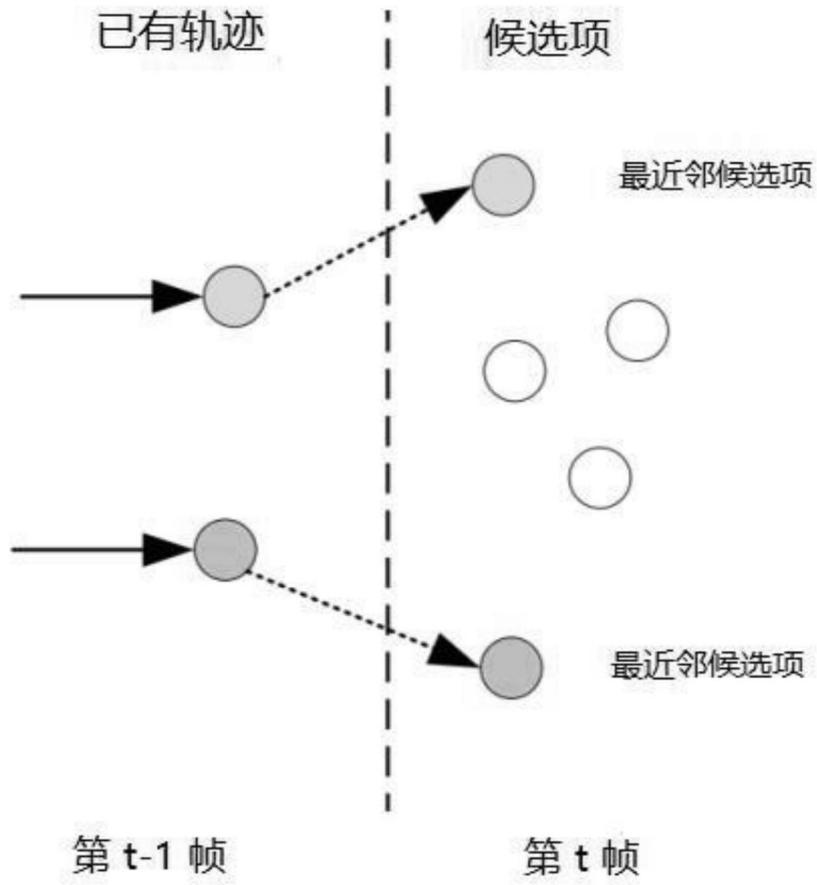


图3

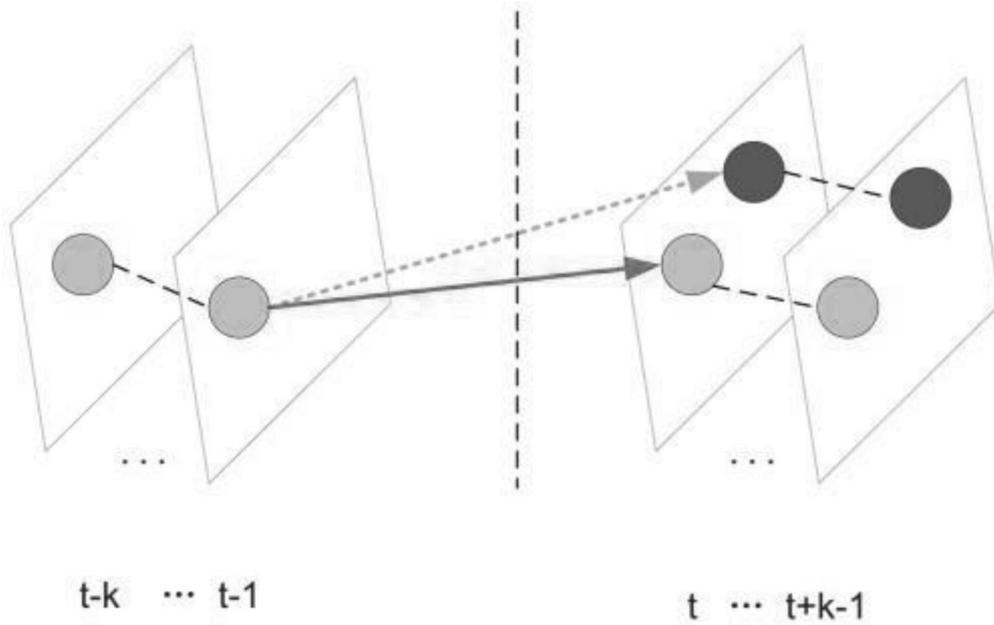


图4

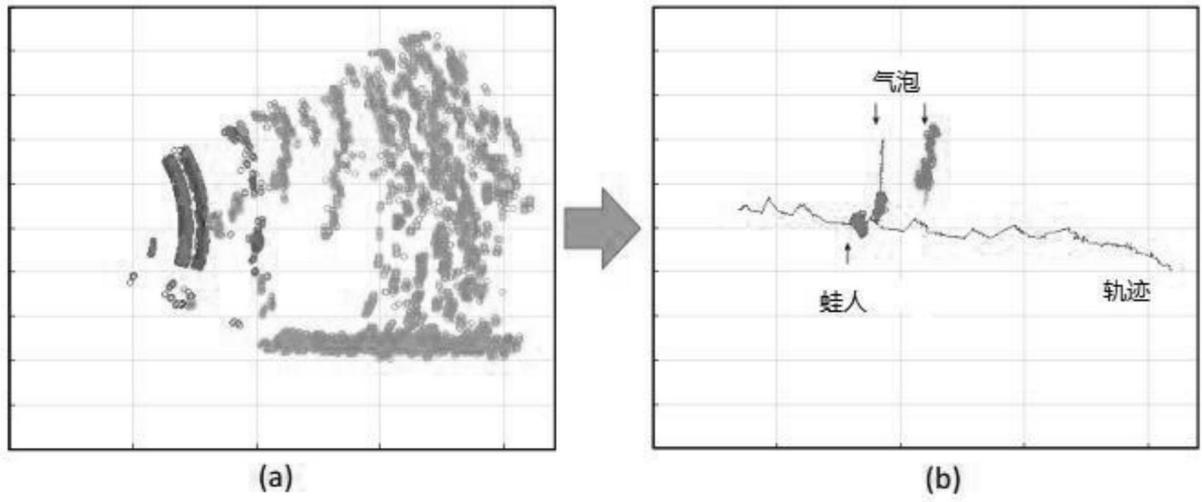


图5