



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115409080 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 29

(21) 申请号 202210538929.4

(22) 申请日 2022.05.18

(30) 优先权数据

21176539.1 2021.05.28 EP

(71) 申请人 APTIV技术有限公司

地址 巴巴多斯圣迈克尔

(72) 发明人 M·罗泽维奇 J·波尔贝斯基

K·科格特

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限

公司 11127

专利代理师 师玮 党晓林

(51) Int. Cl.

G06K 9/62 (2022.01)

G06N 7/00 (2006.01)

G06F 17/16 (2006.01)

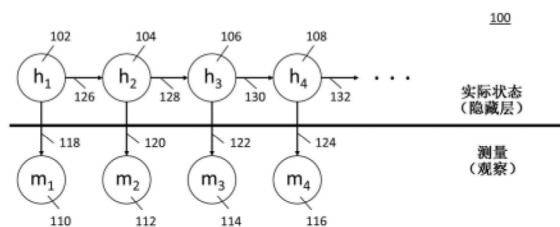
权利要求书3页 说明书13页 附图4页

(54) 发明名称

用于占用状态检测的方法和系统

(57) 摘要

本公开涉及用于占用状态检测的方法和系统。一种用于预定时间点的区域中的占用状态检测的由计算机实现的方法，由计算机硬件组件执行以下步骤：确定在先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布；确定在预定时间点处的与所述区域相关的测量数据；以及基于所述测量数据和在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的所述概率分布，确定在所述预定时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布。



1. 一种用于使用隐马尔可夫模型确定预定时间点处区域中的概率分布的由计算机实现的方法,该方法包括由计算机硬件组件执行的以下步骤:

-确定在先前时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的概率分布(204、206、208、210),其中,所述区域包括占用网格的小区,所述占用网格包括多个另外的小区;

-使用传感器确定在所述预定时间点处的与所述区域相关的测量数据;以及

-基于所述测量数据和在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的所述概率分布(204、206、208、210),确定在所述预定时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的概率分布(202);

其中,所述可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表包括:静态占用状态(S)、动态占用状态(D)、自由空间状态(F)、所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的第一不确定状态(SD)、所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的第二不确定状态(SF)、所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的第三不确定状态(DF)、以及未知占用状态(SDF)。

2. 根据权利要求1所述的方法,

其中,在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的所述概率分布(204、206、208、210)包括所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的预定初始状态分布。

3. 根据权利要求2所述的方法,

其中,所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的初始状态分布包括所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的相等分布。

4. 根据权利要求1至3中的至少一项所述的方法,

其中,在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的概率分布(204、206、208、210)是基于在所述先前时间点处的与所述区域相关的测量数据和在所述先前时间点之前的另一时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的概率分布来确定的。

5. 根据权利要求1至4中的至少一项所述的方法,

其中,在所述预定时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的所述概率分布(202)是进一步基于包括可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)之间的多个状态转移概率(302、304、306、308、310、312、314、316、318、320、322、324、326、328、330、332)的转移矩阵来确定的。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,以下状态转移概率(302、304、306、308、310、312、314、316、318、320、322、324、326、328、330、332)不同于零:

-从所述静态占用状态(S)到所述静态占用状态(S)的状态转移概率(302);

-从所述静态占用状态(S)到所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的所述第一不确定状态(SD)的状态转移概率(304);

-从所述静态占用状态(S)到所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的所述第二不确定状态(SF)的状态转移概率(306);

-从所述动态占用状态(D)到所述动态占用状态(D)的状态转移概率(308);

-从所述动态占用状态(D)到所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的所述第一不确定状态(SD)的状态转移概率(310)；

-从所述动态占用状态(D)到所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的所述第三不确定状态(DF)的状态转移概率(312)；

-从所述自由空间状态(F)到所述自由空间状态(F)的状态转移概率(314)；

-从所述自由空间状态(F)到所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的所述第二不确定状态(SF)的状态转移概率(316)；

-从所述自由空间状态(F)到所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的所述第三不确定状态(DF)的状态转移概率(318)；

-从所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的所述第一不确定状态(SD)到所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的所述第一不确定状态(SD)的状态转移概率(320)；

-从所述静态占用状态(S)和所述动态占用状态(D)之间的所述第一不确定状态(SD)到所述未知占用状态(SDF)的状态转移概率(322)；

-从所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的所述第二不确定状态(SF)到所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的所述第二不确定状态(SF)的状态转移概率(324)；

-从所述静态占用状态(S)和所述自由空间状态(F)之间的所述第二不确定状态(SF)到所述未知占用状态(SDF)的状态转移概率(326)；

-从所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的所述第三不确定状态(DF)到所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的所述第三不确定状态(DF)的状态转移概率(328)；

-从所述动态占用状态(D)和所述自由空间状态(F)之间的所述第三不确定状态(DF)到所述未知占用状态(SDF)的状态转移概率(330)；

-从所述未知占用状态(SDF)到所述未知占用状态(SDF)的状态转移概率(332)等于1。

7. 根据权利要求5至6中的至少一项所述的方法，

其中，所述转移矩阵依赖于所述区域中的对象的估计速度。

8. 根据权利要求1至7中的至少一项所述的方法，

其中，在所述预定时间点处所述区域的可能占用状态(S、D、F、SD、SF、DF、SDF)的列表上的概率分布(202)是进一步基于包括观察发射概率(222)的观察矩阵来确定的。

9. 根据权利要求1至8中的至少一项所述的方法，

其中，所述测量数据是基于LIDAR传感器确定的，并且所述测量数据包括静态占用和动态占用之间的不确定性信息或自由空间信息。

10. 根据权利要求1至9中的至少一项所述的方法，

其中，所述测量数据是基于雷达传感器确定的，所述测量数据包括静态占用信息、动态占用信息、静态占用和动态占用之间的不确定性信息、或自由空间信息。

11. 根据权利要求10所述的方法，

其中，所述观察矩阵依赖于距所述雷达传感器的检测临近速度和距所述雷达传感器的距离中的至少一者。

12. 一种计算机系统(500),所述计算机系统(500)包括多个计算机硬件组件,所述多个计算机硬件组件被配置为执行根据权利要求1至11中的至少一项所述的由计算机实现的方法的步骤。

13. 一种载具,所述载具包括根据权利要求12所述的计算机系统(500)和所述传感器。

14. 一种包括指令的非暂时计算机可读介质,所述指令用于执行根据权利要求1至11中的至少一项所述的由计算机实现的方法。

用于占用状态检测的方法和系统

技术领域

[0001] 本公开涉及用于占用状态检测的方法和系统。

背景技术

[0002] 诸如雷达传感器或LIDAR传感器的各种传感器可用于汽车应用中以监测载具的环境。在载具的环境中，一个区域可能被不同的对象占据，例如其他载具、行人、障碍物等，这些对象可能影响驾驶员辅助系统的安全性和可靠性。因此，可能希望知道区域是否被占用，如果是，则哪个占用状态对于该区域是有效的。然而，可靠的占用状态检测具有复杂性和高计算工作量的缺点。

[0003] 因此，需要提供用于占用状态检测的有效方法和系统。

发明内容

[0004] 本公开提供了由计算机实现的方法、计算机系统、载具和非暂时计算机可读介质。在说明书和附图中给出了实施方式。

[0005] 在一个方面，本公开针对一种用于在预定时间点在区域中进行占用状态检测的由计算机实现的方法，该方法包括由计算机硬件组件执行（换言之：进行）的步骤：确定在先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布；确定在预定时间点处的与所述区域相关的测量数据；以及基于所述测量数据和在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的所述概率分布，确定在预定时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布。可能占用状态的列表包括静态占用状态、动态占用状态、自由空间状态、静态占用状态和动态占用状态之间的第一不确定状态、静态占用状态和自由空间状态之间的第二不确定状态、动态占用状态和自由空间状态之间的第三不确定状态、以及未知占用状态。

[0006] 换言之，在所定义的可能占用状态（即，例如描述区域中是否存在对象的状态）的列表上确定区域的先前时间点处的概率分布。先前时间点可以紧接在预定时间之前（换言之：在先前时间点和预定时间点之间没有其它时间点）。应当理解，可以使用离散的时间点序列，例如等距的时间点，例如每预定量秒的时间点，例如每秒，或每1/10秒（即100ms）等。预定时间点可以是当前时间点或任意时间点。预定时间点可以直接跟随在先前时间点之后（换言之：在预定时间点和先前时间点之间没有其它时间点）。另外，在预定时间点处区域的测量数据可以由传感器测量。传感器可以是或者可以包括雷达传感器和/或LIDAR传感器。可以在所定义的可能占用状态的列表上确定区域在预定时间点处的概率分布，其中区域在预定时间点处概率分布可以依赖于该区域在先前时间点处概率分布和该区域在预定时间点处的测量数据。

[0007] 区域可以是机器人或载具的环境。该区域可以是可变大小的，或者该区域可以是特定关注区域（或区间），例如在机器人或载具的前方。

[0008] 区域中的占用状态检测可以被理解为对象检测和对象的可能状态的估计的组合。换言之，如果在该区域中检测到对象，则该区域可以被定义为被占用。否则，如果该区域未

被占用,则该区域可以被定义为自由空间。如果该区域被占用,则该区域中的对象可以具有一种可能的状态,即一种占用状态。占用状态可以是来自如本文所描述的可能占用状态的列表的所定义的可能占用状态种的一种。静态占用状态可以描述其中占用状态可以处于稳定状态或准稳定状态的状态,即占用状态可以相对于时间保持恒定(换言之:具有静态占用状态的物体不相对于时间移动)。动态占用状态可以描述其中占用状态可以具有相对于时间变化的行为的状态(换言之:具有动态占用状态的物体可以相对于时间移动)。因此,静态占用状态和动态占用状态之间的差异可以依赖于各个占用状态相对于时间的行为。对于可能占用状态的列表中描述各个不确定状态,可能不清楚物体具有相应的两种可能占用状态中的哪一种。对于未知的占用状态,可能不知道该区域是被占用还是自由空间。

[0009] 概率分布可以提供各个状态的概率。所有概率上的概率可以总计为1(即100%),或者概率可以总计为任何不同的值,使得相应概率不提供概率本身,但是状态的相应概率的相对值提供关于哪个状态比另一状态较为可能的信息。

[0010] 根据实施方式,在先前时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布包括该区域的可能占用状态的列表上的预定初始状态分布。

[0011] 根据实施方式,区域的可能占用状态的列表上的初始状态分布包括区域的可能占用状态的列表上的相等分布。

[0012] 该区域的可能占用状态的列表上的相等分布意味着在初始状态下各个可能状态的可能性是相同的。

[0013] 根据实施方式,在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布是基于在所述先前时间点处的与所述区域相关的测量数据和在所述先前时间点之前的另一时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布来确定的。

[0014] 换言之:在先前时间点处该区域的概率分布是在所定义的可能占用状态的列表上确定的,其中在先前时间点处该区域的概率分布依赖于另一先前时间点处该区域的概率分布和在先前时间点处该区域的测量数据。

[0015] 该另一时间点可以紧接在先前时间点之前(换言之:在该另一时间点与先前时间点之间不存在另一另外时间点)。先前时间点可以直接跟在另一时间点之后(在该另一时间点与先前时间点之间不存在另一另外时间点)。

[0016] 在另一时间点之前可以有多个另外时间点。然后可以类似于确定在预定时间点的概率分布或确定在先前时间点的概率分布来执行确定在其它时间点处该区域的概率分布。

[0017] 根据实施方式,在预定时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布还基于包括可能占用状态之间的多个状态转移概率的转移矩阵来确定。

[0018] 转移矩阵可以是马尔可夫模型的转移矩阵,并且根据各种实施方式的方法可以根据马尔可夫模型来执行。

[0019] 转移矩阵可以在传感器数据不可用的假设下指示状态转移的概率。

[0020] 多个状态转移概率可以是可能占用状态的第一占用状态中的每一者到可能占用状态的第二占用状态的相应的状态转移概率。第一占用状态可以与第二占用状态相同,或者第一占用状态可以与第二占用状态不同。

[0021] 根据实施方式,以下状态转移概率不同于零:从所述静态占用状态到所述静态占用状态的状态转移概率;从所述静态占用状态到所述静态占用状态和所述动态占用状态之

间的所述第一不确定状态的状态转移概率;从所述静态占用状态到所述静态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态的状态转移概率;从所述动态占用状态到所述动态占用状态的状态转移概率;从所述动态占用状态到所述静态占用状态和所述动态占用状态之间的所述第一不确定状态的状态转移概率;从所述动态占用状态到所述动态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态的状态转移概率;从所述自由空间状态到所述自由空间状态的状态转移概率;从所述自由空间状态到所述静态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态的状态转移概率;从所述自由空间状态到所述动态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态的状态转移概率;从所述静态占用状态和所述动态占用状态之间的所述第一不确定状态到所述静态占用状态和所述动态占用状态之间的所述第一不确定状态的状态转移概率;从所述静态占用状态和所述动态占用状态之间的所述第一不确定状态到所述未知占用状态的状态转移概率;从所述静态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态到所述静态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态的状态转移概率;从所述静态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态到所述未知占用状态的状态转移概率;从所述动态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态到所述动态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态的状态转移概率;从所述动态占用状态和所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态到所述未知占用状态的状态转移概率;从所述未知占用状态到所述未知占用状态的状态转移概率(其可以等于1)。

[0022] 所有其他可能的状态转移概率可以是零,即从静态占用状态到动态占用状态或到自由空间状态或到动态占用状态和自由空间状态之间的第三不确定状态或到未知占用状态的状态转移概率;从动态占用状态到静态占用状态或到自由空间状态或到静态占用状态和自由空间状态之间的第二不确定状态或到未知占用状态的状态转移概率;从自由空间状态到静态占用状态或到动态占用状态或到静态占用状态和动态占用状态之间的第一不确定状态或到未知占用状态的状态转移概率;从静态占用状态和动态占用状态之间的第一不确定状态到静态占用状态或到动态占用状态或到自由空间状态或到静态占用状态和自由空间状态之间的第二不确定状态或动态占用状态和自由空间状态之间的第三不确定状态的状态转移概率;从静态占用状态和自由空间状态之间的第二不确定状态到静态占用状态或到动态占用状态或到自由空间状态或到静态占用状态和动态占用状态之间的第一不确定状态或到动态占用状态和自由空间状态之间的第三不确定状态的状态转移概率;从动态占用状态和自由空间状态之间的第三不确定状态到静态占用状态或到动态占用状态或到自由空间状态或到静态占用状态和动态占用状态之间的第一不确定状态或到静态占用状态和自由空间状态之间的第二不确定状态的状态转移概率;从所述未知占用状态到所述静态占用状态或到所述动态占用状态或到所述自由空间状态或到所述静态占用状态与所述动态占用状态之间的所述第一不确定状态或到所述静态占用状态与所述自由空间状态之间的所述第二不确定状态或到所述动态占用状态与所述自由空间状态之间的所述第三不确定状态的转移。

[0023] 换言之:在静态占用状态和动态占用状态以及自由空间状态和未知占用状态之间可能没有状态转移概率。在静态占用状态或动态占用状态或自由空间状态到不确定状态之间可能没有状态转移概率,其中,该不确定状态不在相应的静态占用状态或相应的动态占

用状态或相应的自由空间状态与静态占用状态或动态占用状态或自由空间状态之间。可能没有从不确定状态回到静态占用状态或动态占用状态或自由空间状态的状态转移概率。除了未知占用状态本身之外,可能没有从未知占用状态到任何其它可能状态的状态转移概率。

[0024] 根据实施方式,转移矩阵依赖于区域中对象的估计速度。

[0025] 区域中对象的估计速度也可称为估计小区速度。

[0026] 根据实施方式,在预定时间点处区域的可能占用状态的列表上的概率分布还基于包括观察发射概率的观察矩阵来确定。

[0027] 观察矩阵可以是马尔可夫模型的观察矩阵,并且可以根据马尔可夫模型来执行根据各个实施方式的方法。

[0028] 观察矩阵可以将传感器数据引入该方法。

[0029] 观察发射概率可以是来自预定时间点处区域的可能占用状态的列表上的概率分布中的每一者到可能观察状态的列表上的观察状态的相应观察发射概率。可能的观察状态的列表可以依赖于用于观察的传感器。

[0030] 根据实施方式,该区域包括占用网格的小区,该占用网格包括多个另外的小区。

[0031] 换句话说,该区域可以由小区表示,其中,多个小区可以表示占用网格。各个另外的小区表示相应的另外的区域。在此描述的方法可以(也)针对这些另外的小区中的各个小区进行(换言之:对于另外的区域)。小区和各个另外的小区可以处于可能的状态之一,并且对于不同的小区,状态可以不同。

[0032] 根据实施方式,测量数据是基于LIDAR传感器确定的,并且测量数据包括静态占用和动态占用之间的不确定性信息或自由空间信息。

[0033] LIDAR传感器可以测量传感器与载具或对象之间的范围或距离。来自LIDAR传感器的测量数据还可以包括载具或对象相对于传感器的方位角和仰角。从LIDAR传感器的所记录的测量数据可以是非常详细的,并且可以包括关于远距离处的对象的精细和准确的信息。环境照明可能不会影响LIDAR捕获的信息的质量,因此白天和夜晚的结果可能不会由于诸如阴影、阳光或前灯眩光的干扰而造成任何性能损失。

[0034] 根据实施方式,测量数据是基于雷达传感器确定,并且测量数据包括静态占用信息、动态占用信息、静态占用和动态占用之间的不确定性信息、或自由空间信息。

[0035] 雷达传感器可以不受不利或恶劣天气条件的影响,在黑暗、潮湿或甚至有雾的天气下可靠地工作。雷达传感器能够识别载具或对象的距离、方向和相对速度。方向可以由方位角和仰角确定,其中方位角和仰角可以由雷达传感器测量。

[0036] 根据实施方式,观察矩阵依赖于来自雷达传感器的检测临近速度(range rate)和来自雷达传感器的距离中的至少一者。

[0037] 临近速度可以是速率,即相对速度。临近速度可以描述载具或对象朝向或远离雷达传感器移动的速率。

[0038] 在另一方面,本公开可以针对一种计算机系统,所述计算机系统包括被配置成执行本文所述的由计算机实现的方法的多个或所有步骤的多个计算机硬件组件。

[0039] 计算机系统可以包括多个计算机硬件组件(例如处理器,例如处理单元或处理网络,至少一个存储器,例如存储器单元或存储器网络,以及至少一个非暂时数据存储装置)。

应当理解,可以提供另外的计算机硬件组件并用于在计算机系统中执行计算机实现的方法的步骤。非暂时数据存储器 and/或存储器单元可以包括计算机程序,用于指示计算机例如使用处理单元和至少一个存储器单元来执行在此描述的由计算机实现的方法的若干或所有步骤或方面。

[0040] 在另一方面,本发明涉及一种载具,其包括本文所述的计算机系统和传感器,其中基于所述传感器的输出来确定所述测量数据。传感器可以是雷达系统和/或LIDAR系统。

[0041] 载具可以是汽车、卡车或摩托车,并且传感器可以安装在载具上。传感器可以指向载具前方或后方或侧面的区域。当载具移动时,传感器可以捕获测量数据。

[0042] 在另一方面,本公开针对一种非暂时计算机可读介质,其包括用于执行本文所述的由计算机实现的方法的若干或所有步骤或方面的指令。所述计算机可读媒介可以被配置为:光学介质,例如光盘(CD)或数字多功能盘(DVD);磁介质,例如硬盘驱动器(HDD);固态驱动器(SSD);只读存储器(ROM),例如闪存;等。此外,计算机可读介质可以被配置为可经由诸如因特网连接的数据连接来访问的数据存储。计算机可读介质例如可以是在线数据存储库或云存储。

[0043] 本公开还针对一种用于指示计算机执行本文所述的由计算机实现的方法的若干或所有步骤或方面的计算机程序。

[0044] 利用本文描述的方法和系统,隐马尔可夫模型可以被用作在占用网格方法框架中进行动态和静态占用区分的方法。例如,通过定义各个小区的可能状态和转移并对传感器数据观察矩阵建模,可以单独处理占用网格的各个小区。

附图说明

[0045] 本文结合以下示意性示出的附图描述了本公开的示例性实施方式和功能:

[0046] 图1是马尔可夫链的图形表示;

[0047] 图2是单概率分布的计算的可视化;

[0048] 图3示出了状态转移图;

[0049] 图4是示出根据各种实施方式的用于占用状态检测的方法的流程图;以及

[0050] 图5是具有多个计算机硬件组件的计算机系统,其被配置为执行根据各种实施方式的用于对象检测的由计算机实现的方法的步骤。

具体实施方式

[0051] 对象的占用状态检测等可以用于不同的技术领域。例如,机器人应用中的路径规划和碰撞避免或汽车工业中的驾驶辅助系统的对象检测可以使用基于占用状态检测的方法和系统。

[0052] 机器人或载具的环境例如可以包括具有不同状态的多个不同对象等,例如对于建筑物、树木等而言静态状态、对于行驶的载具和移动的行人等而言的动态状态、或者如果不能识别或测量对象等行为是什么则甚至是未知状态。为了检测对象的不同状态,可以通过网格将机器人、载具等的环境划分为多个小区的均匀间隔的区。网格的各个小区可以通过二进制随机变量表示环境中该位置处存在障碍物、对象、障碍物的一部分或对象的一部分。对于该小区或区段中的每一者,可以估计可以指定小区是否被占用的占用状态。该方法可

以称为占用网格映射。占用网格方法可以计算这些随机变量的近似后验估计。

[0053] 换句话说,占用网格映射是指例如用于移动机器人或载具的概率机器人学中的一系列方法,其解决了在已知机器人姿态或载具位置的假设下从有噪且不确定的传感器测量数据产生图的问题。

[0054] 为了在动态环境中可靠检测占用状态,可以使用鲁棒模型来获得准确的占用状态估计。例如,可以使用基于马尔可夫链模型的方法。马尔可夫链模型可以预测从当前状态切换的概率将不会根据先前状态而变化。在概率理论中,马尔可夫模型可以是用于模拟伪随机地 (pseudo-randomly) 变化的系统的随机 (stochastic) 模型。可以假设未来状态仅依赖于当前状态,而不依赖于在其之前发生的事件(即,其假设具有马尔可夫属性)。该假设可以允许利用否则将难以处理的模型进行推理和计算。因此,在预测性建模和概率预测领域中,可能期望给定的模型表现出马尔可夫特性。

[0055] 马尔可夫链方法的增强可以是隐马尔可夫模型 (HMM)。HMM可以是统计性马尔可夫模型,其中可以假设模型化的系统是具有不可观察(“隐藏”)占用状态的马尔可夫过程 X 。HMM可以假设可能存在另一过程,观察 Y ,其行为(概率地)依赖于过程 X 。HMM方法的主要构思可以通过观察过程 Y 来提取关于过程 X 的信息。

[0056] 隐马尔可夫模型 (HMM) 可以使用以作为观察不同的离散时间步长 ($t=0, 1, 2, \dots$) 创建的占用网格图。在各个离散时间步长 t ,系统可以处于某个内部(“隐藏”)占用状态 h_t ,并且可以仅基于 h_t 来发射测量(其也可以被称为观察) m_t 。系统可以从时间步长 t 到时间步长 $t+1$ 转换到新的占用状态 h_{t+1} ,并且该处理可以重复。这可以称为马尔可夫链,并且在图1中图示。

[0057] 图1示出马尔可夫链100的图形表示。图1由粗线划分成两个部分,其中粗线上方的区域示出了实际状态(其也可被称为隐藏层),粗线下方的区域示出了测量(其也可被称为观察)。实际状态包括在离散时间步长 t 处的多个占用状态 h_1 102、 h_2 104、 h_3 106、 h_4 108,这些占用状态以时间点的占用状态依赖于先前时间点的占用状态的方式连接,即先前时间点的的时间点正好在该时间点之前。占用状态之间的连接由箭头 q_{12} 126、 q_{23} 128、 q_{34} 130和 q_{45} 132表示,箭头 q_{12} 126、 q_{23} 128、 q_{34} 130和 q_{45} 132表示从先前时间点 $t-1$ 处的占用状态 h_{t-1} 到当前时间点的占用状态 h_t 的转移。例如,箭头 q_{34} 130连接占用状态 h_3 106和占用状态 h_4 108。此外,图1上部的各个占用状态 h_1 102、 h_2 104、 h_3 106、 h_4 108通过箭头连接到图1下部的相应测量 m_1 110、 m_2 112、 m_3 114、 m_4 116。箭头 b_1 118、 b_2 120、 b_3 122和 b_4 124表示如果存在占用状态 h_t 则发生测量 m_t 。

[0058] 为了应用隐马尔可夫模型 (HMM) 框架,可以预先定义一些变量和运算符。可以假设可能占用状态 Ω 的列表是有限的。占用状态 Ω 的列表可以包括 $\{S, D, F, SD, SF, DF, SDF\}$,其中占用状态可以被定义为静态占用状态 S 、动态占用状态 D 、自由空间状态 F 、静态占用状态 S 和动态占用状态 D 之间的第一不确定状态 SD 、静态占用状态 S 和自由空间状态 F 之间的第二不确定状态 SF 、动态占用状态 D 和自由空间状态 F 之间的第三不确定状态 DF 、以及未知的占用状态 SDF 。

[0059] 可以预先确定该区域的可能占用状态的列表上的初始状态分布 $p(\Omega_1 = \omega), \forall \omega \in \Omega$ 。

[0060] 状态转移概率 $p_{ij}(\Omega_{t+1} = \omega' | \Omega_t = \omega), \forall \omega, \omega' \in \Omega$ 可以被定义为指示如果存在

先前的占用状态 ω 则占用状态 ω' 出现的可能性。这些标注了图2中的向右的弧线。

[0061] 可以假设一组观察值 O 是有限的。观察发射概率 $b(O_t = o | \Omega_t = \omega), \forall \omega \in \Omega, o \in O$ 可以指示如果存在占用状态 ω 则观察 o 出现的可能性。这些标注了图2中的向下的弧线。

[0062] 如果 Ω 和 O 是有限的, 则初始状态分布 p 可以被表示为大小为 $|\Omega|$ 的向量 p 。

[0063] 在图2中, 状态转移概率 p_{ij} 可以指示如果占用状态 ω_i 在先前时间点 $t-1$ 处出现, 则在当前时间点 t 处的占用状态 ω_j 出现的可能性。

[0064] 转移概率形成大小为 $|\Omega| \times |\Omega|$ 的转移矩阵 P , 其中各个行 i 是在给定当前状态为 i 的情况下下一状态的多项式。类似地, 观察发射概率形成大小为 $|\Omega| \times |O|$ 的观察矩阵 Q , 其中, 各个行 i 是在给定占用状态的情况下观察上的多项式分布。

[0065] b_o 、 P 和 Q 可以一起形成 HMM 的模型。

[0066] 第 j 个占用状态概率 $\alpha_t(j)$ 的前向计算可以在各个步骤中通过以下算式来完成:

$$[0067] \quad \alpha_t(j) = \sum_{i=1}^{|\Omega|} \alpha_{t-1}(i) p_{i \rightarrow j} b_j(O_t)$$

[0068] 图2示出了单概率分布 $\alpha_t(j)$ 的计算的可视化。该计算可以由用预定时间点 t 处区域中的占用状态检测的由计算机实现的方法来执行。由计算机硬件组件执行以下步骤: 确定在时间 $t-1$ 的先前点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布 $\alpha_{t-1}(1)$ 204、 $\alpha_{t-1}(2)$ 206、 $\alpha_{t-1}(3)$ 208 至 $\alpha_{t-1}(N)$ 210; 确定预定时间点 t 处的与该区域相关的测量数据 (换言之: 观察) o_t 212; 以及基于测量数据 o_t 212 和先前时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布 $\alpha_{t-1}(1)$ 204、 $\alpha_{t-1}(2)$ 206、 $\alpha_{t-1}(3)$ 208 至 $\alpha_{t-1}(N)$ 210, 确定预定时间点 t 处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布 $\alpha_t(j)$ 202;

[0069] 换言之: 在预定时间点 t 处的第 j 个概率分布 $\alpha_t(j)$ 202 可以通过将在先前时间点 $t-1$ 的所有先前概率分布 $\alpha_{t-1}(1)$ 204、 $\alpha_{t-1}(2)$ 206、 $\alpha_{t-1}(3)$ 208 至 $\alpha_{t-1}(N)$ 210 用状态转移概率 p_{1j} 214、 p_{2j} 216、 p_{3j} 218 和 p_{Nj} 220 加权并且进一步乘以观察发射概率 $b_j(o_t)$ 222 再相加来计算, 其中 o_t 212 是在预定时间点 t 的观察。

[0070] 该区域可以由小区表示, 其中, 多个小区可以表示占用网格。来自占用网格的多个小区中的各个小区可以被作为单独的系统处理。上述方法的步骤可以在来自占用网格的多个小区的各个小区中执行。可以通过雷达传感器或 LIDAR 传感器观察来自占用网格的多个小区中的各个小区。

[0071] 如果可能占用状态的列表 Ω 是有限的并且例如被定义为 $\Omega = \{S, D, F, SD, SF, DF, SDF\}$, 则占用状态之间的可能的转移可以以图表的形式图形地呈现。图3中示出了状态转移图300的图示。可以如本文所述定义可能占用状态 Ω , 即静态占用状态 S 、动态占用状态 D 、自由空间状态 F 、静态占用状态 S 和动态占用状态 D 之间的第一不确定状态 SD 、静态占用状态 S 和自由空间状态 F 之间的第二不确定状态 SF 、动态占用状态 D 和自由空间状态 F 之间的第三不确定状态 DF 以及未知占用状态 SDF 。可能占用状态由表示可能占用状态之间的多个状态转移概率的多个箭头连接。可能占用状态之间的那些状态转移概率可以被定义为如在以下转移矩阵 P 中呈现:

$$[0072] \quad P = \begin{bmatrix} p_{S \rightarrow S} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{D \rightarrow D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{F \rightarrow F} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{S \rightarrow SD} & p_{D \rightarrow SD} & 0 & p_{SD \rightarrow SD} & 0 & 0 & 0 \\ p_{S \rightarrow SF} & 0 & p_{F \rightarrow SF} & 0 & p_{SF \rightarrow SF} & 0 & 0 \\ 0 & p_{D \rightarrow DF} & p_{F \rightarrow DF} & 0 & 0 & p_{DF \rightarrow DF} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{SD \rightarrow SDF} & p_{SF \rightarrow SDF} & p_{DF \rightarrow SDF} & 1 \end{bmatrix}$$

[0073] 在转移矩阵P中提供的概率可以被看作是衰减或遗忘因子(其可以规定在没有测量数据的情况下,状态的知识将衰减或将被遗忘)的等价物。

[0074] 如以上算式所示,以下状态转移概率不同于零,并定义为:从静态占用状态S到静态占用状态S的状态转移概率 $p_{S \rightarrow S}$ 302、从静态占用状态S到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率 $p_{S \rightarrow SD}$ 304、从静态占用状态S到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率 $p_{S \rightarrow SF}$ 306、从动态占用状态D到动态占用状态D的状态转移概率 $p_{D \rightarrow D}$ 308、从动态占用状态D到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率 $p_{D \rightarrow SD}$ 310、从动态占用状态D到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率 $p_{D \rightarrow DF}$ 312、从自由空间状态F到自由空间状态F的状态转移概率 $p_{F \rightarrow F}$ 314、从自由空间状态F到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率 $p_{F \rightarrow SF}$ 316、从自由空间状态F到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率 $p_{F \rightarrow DF}$ 318、从静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率 $p_{SD \rightarrow SD}$ 320、从静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD到未知占用状态SDF的状态转移概率 $p_{SD \rightarrow SDF}$ 322、从静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率 $p_{SF \rightarrow SF}$ 324、从静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF到未知占用状态SDF的状态转移概率 $p_{SF \rightarrow SDF}$ 326、从动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率 $p_{DF \rightarrow DF}$ 328、从动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF到未知占用状态SDF的状态转移概率 $p_{DF \rightarrow SDF}$ 330、以及从未知占用状态SDF到未知占用状态SDF的状态转移概率 $p_{SDF \rightarrow SDF}$ 332,其中,状态转移概率 $p_{SDF \rightarrow SDF}$ 332等于1。所有其它条目为零,即状态转移概率为零,因此在相应状态之间没有状态转移概率。

[0075] 对于可能不为零的所有状态转移概率,满足以下条件:

$$[0076] \quad \sum_{i \in \Omega} p_{S \rightarrow i} = 1, \sum_{i \in \Omega} p_{D \rightarrow i} = 1, \sum_{i \in \Omega} p_{F \rightarrow i} = 1$$

$$[0077] \quad \sum_{i \in \Omega} p_{SD \rightarrow i} = 1, \sum_{i \in \Omega} p_{SF \rightarrow i} = 1, \sum_{i \in \Omega} p_{DF \rightarrow i} = 1$$

[0078] 如果满足这些条件,则可以示出,在无测量更新情况下,在无限数目的步骤之后,将达到未知占用状态SDF,而这是期望的行为。换言之,无限次迭代(迭代次数 $n \rightarrow \infty$) (其中仅应用转移矩阵P而没有测量更新)之后,所有状态转移概率集中在未知占用状态SDF中。换言之,在转移矩阵P的“无限次幂”中,从任何占用状态到未知占用状态SDF的状态转移概率

是1,并且所有其它状态转移概率被设置为0:

$$[0079] \quad \lim_{n \rightarrow \infty} P^n = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0080] 如果计算的话,转移矩阵P可以依赖于区域中对象的估计速度 v ,即 $P=P(v)$ 。这种参数化可以提供较好的区域占用状态预测。

[0081] 雷达传感器和LIDAR传感器可以具有可用于检测的可能信息的不同特性,这可以导致用于雷达传感器和LIDAR传感器的不同集合。针对雷达传感器的观察集合可以被定义为 $O_{\text{radar}} = \{S, D, SD, F\}$,并且针对LIDAR传感器的观察集合可以被定义为 $O_{\text{LIDAR}} = \{SD, F\}$,其中缩写具有与本文所述相同的含义,即静态占用状态S、动态占用状态D、自由空间状态F以及静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD。

[0082] 这可能意味着基于LIDAR传感器,只有静态占用和动态占用之间的不确定性信息或自由空间信息(在射线投射模式中)可以被得出,而不区分静态占用状态S和动态占用状态D。射线投射模式可以是逆传感器模型校准,其不仅可以对占用区域建模,而且可以对占用区域之间的自由空间建模。在该模式中,自由空间在传感器原点和检测之间的射线下的小区中建模。在给定传感器测量的情况下,逆传感器模型使得能够估计占用和空区域。基于雷达传感器检测,如果检测可以被分类为动态或静态,则可以提取关于静态占用信息和动态占用信息的信息。否则,只有静态占用和动态占用之间的不确定性信息或自由空间信息(在射线投射模式中)可以从检测中获得。对于本文描述的方法,可以不使用传感器信息的预过滤;换言之:这里描述的方法甚至可以在没有预先过滤传感器信息的情况下工作。

[0083] 对于各个传感器,即对于雷达传感器和对于LIDAR传感器,可以定义观察矩阵 Q_{radar} 和观察矩阵 Q_{LIDAR} 。添加到观察矩阵 Q_{radar} 的各个项的观察发射概率 q 可以依赖于从检测到雷达传感器的距离 r ,与“经典”逆传感器模型”(ISM)相同,以及检测临近速度 \dot{r} 。基于上述值,可以进行静态占用状态S和动态占用状态D之间的区分:

$$[0084] \quad Q_{\text{radar}}(\dot{r}, r) = \begin{bmatrix} q_{S \rightarrow S} & q_{D \rightarrow S} & q_{SD \rightarrow S} & q_{F \rightarrow S} \\ q_{S \rightarrow D} & q_{D \rightarrow D} & q_{SD \rightarrow D} & q_{F \rightarrow D} \\ q_{S \rightarrow F} & q_{D \rightarrow F} & q_{SD \rightarrow F} & q_{F \rightarrow F} \\ q_{S \rightarrow SD} & q_{D \rightarrow SD} & q_{SD \rightarrow SD} & q_{F \rightarrow SD} \\ q_{S \rightarrow SF} & q_{D \rightarrow SF} & q_{SD \rightarrow SF} & q_{F \rightarrow SF} \\ q_{S \rightarrow DF} & q_{D \rightarrow DF} & q_{SD \rightarrow DF} & q_{F \rightarrow DF} \\ q_{S \rightarrow SDF} & q_{D \rightarrow SDF} & q_{SD \rightarrow SDF} & q_{F \rightarrow SDF} \end{bmatrix}$$

[0085] 观察矩阵 Q_{LIDAR} 可依赖于距LIDAR传感器的距离 r :

$$[0086] \quad Q_{LiDAR}(r) = \begin{bmatrix} q_{SD \rightarrow S} & q_{F \rightarrow S} \\ q_{SD \rightarrow D} & q_{F \rightarrow D} \\ q_{SD \rightarrow F} & q_{F \rightarrow F} \\ q_{SD \rightarrow SD} & q_{F \rightarrow SD} \\ q_{SD \rightarrow SF} & q_{F \rightarrow SF} \\ q_{SD \rightarrow DF} & q_{F \rightarrow DF} \\ q_{SD \rightarrow SDF} & q_{F \rightarrow SDF} \end{bmatrix}$$

[0087] 图4示出了例示根据各种实施方式的用于占用状态检测的方法的流程图400。在402,可以确定先前时间点处区域的可能占用状态的列表上的概率分布。在404,可以确定预定时间点处与该区域相关的测量数据。在406处,可以基于测量数据和在先前时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布来确定预定时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布,其中,可能占用状态的列表包括:静态占用状态S、动态占用状态D、自由空间状态F、静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD、静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF、动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF、以及未知占用状态SDF。

[0088] 根据各个实施方式,先前时间点处该区域的可能占用状态的列表上的概率分布包括该区域的可能占用状态的列表上的预定初始状态分布。

[0089] 根据各个实施方式,该区域的可能占用状态的列表上的初始状态分布包括该区域的可能占用状态的列表上的相等分布。

[0090] 根据各种实施方式,在所述先前时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布是基于在所述先前时间点处的与所述区域相关的测量数据和在所述先前时间点之前的另一时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的概率分布来确定的。

[0091] 根据各个实施方式,在所述预定时间点处所述区域的可能占用状态的列表上的所述概率分布是进一步基于包括可能占用状态之间的多个状态转移概率的转移矩阵来确定的。

[0092] 根据各种实施方式,以下状态转移概率不同于零:从静态占用状态S到静态占用状态S的状态转移概率302;从静态占用状态S到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率304;从静态占用状态S到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率306;从动态占用状态D到动态占用状态D的状态转移概率308;从动态占用状态D到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率310;从动态占用状态D到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率312;从自由空间状态F到自由空间状态F的状态转移概率314;从自由空间状态F到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率316;从自由空间状态F到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率318;从静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD到静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD的状态转移概率320;从静态占用状态S和动态占用状态D之间的第一不确定状态SD到未知占用状态SDF的状态转移概率322;从静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF到静态占用状态S和自由空间状态F之间的第二不确定状态SF的状态转移概率324;从静态占用状态S和自由空间状态F之间的

第二不确定状态SF到未知占用状态SDF的状态转移概率326;从动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF到动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF的状态转移概率328;从动态占用状态D和自由空间状态F之间的第三不确定状态DF到未知占用状态SDF的状态转移概率330;从未知占用状态SDF到未知占用状态SDF的状态转移概率332等于1。

[0093] 根据各个实施方式,转移矩阵依赖于区域中对象的估计速度。

[0094] 根据各个实施方式,还基于包括观察发射概率的观察矩阵来确定预定时间点处的区域的可能占用状态的列表上的概率分布。

[0095] 根据各个实施方式,该区域包括占用网格的小区,该占用网格包括多个另外的小区。

[0096] 根据各个实施方式,基于LIDAR传感器来确定测量数据,并且测量数据包括静态占用和动态占用之间的不确定性信息或自由空间信息。

[0097] 根据各种实施方式,基于雷达传感器确定测量数据,并且测量数据包括静态占用信息、动态占用信息、静态占用和动态占用之间的不确定性信息、或自由空间信息。

[0098] 根据各个实施方式,观察矩阵依赖于来自雷达传感器的检测临近速度和来自雷达传感器的距离中的至少一者。

[0099] 步骤402、404、406中的各个步骤以及上述进一步步骤可以由计算机硬件组件来执行。

[0100] 利用这里描述的方法和系统,可以提供占用状态检测。

[0101] 图5示出了具有多个计算机硬件组件的计算机系统500,所述多个计算机硬件组件被配置为执行根据各个实施方式的用于占用状态检测的由计算机实现的方法的步骤。计算机系统500可以包括处理器502、存储器504和非暂时数据存储装置506。摄像头508和/或距离传感器510(例如雷达传感器或LIDAR传感器)可以被提供为计算机系统500的一部分(如图5所示),或者可以被提供在计算机系统500的外部。

[0102] 处理器502可以执行存储器504中提供的指令。非暂时数据存储装置506可以存储计算机程序,包括可以传送到存储器504然后由处理器502执行的指令。摄像头508和/或距离传感器510可用于确定测量数据,例如在预定时间点与区域相关的测量数据,如本文所述。

[0103] 处理器502,存储器504和非暂时数据存储装置506可例如经由电连接512(例如电缆或计算机总线)或经由任何其它合适的电连接彼此联接以交换电信号。摄像头508和/或距离传感器510可以例如经由外部接口联接到计算机系统500,或者可以被提供为计算机系统的一部分(换言之:计算机系统内部,例如经由电连接512联接)。

[0104] 术语“联接”或“连接”旨在分别包括直接“联接”(例如经由物理链路)或直接“连接”以及间接“联接”或间接“连接”(例如经由逻辑链路)。

[0105] 应当理解,以上针对方法之一所描述的内容对于计算机系统500可以类似地成立。

[0106] 附图标记列表

[0107] 100 马尔可夫链

[0108] 102 占用状态 h_1

[0109] 104 占用状态 h_2

- [0110] 106 占用状态 h_3
- [0111] 108 占用状态 h_4
- [0112] 110 测量 m_1
- [0113] 112 测量 m_2
- [0114] 114 测量 m_3
- [0115] 116 测量 m_4
- [0116] 118 箭头
- [0117] 120 箭头
- [0118] 122 箭头
- [0119] 124 箭头
- [0120] 126 箭头
- [0121] 128 箭头
- [0122] 130 箭头
- [0123] 132 箭头
- [0124] 200 单概率分布计算
- [0125] 202 在预定时间点的概率分布
- [0126] 204 在先前时间点的概率分布
- [0127] 206 在先前时间点的概率分布
- [0128] 208 在先前时间点的概率分布
- [0129] 210 在先前时间点的概率分布
- [0130] 212 在预定时间点的观察
- [0131] 214 状态转移概率
- [0132] 216 状态转移概率
- [0133] 218 状态转移概率
- [0134] 220 状态转移概率
- [0135] 222 观察发射概率
- [0136] 300 状态转移图
- [0137] S 静态占用状态
- [0138] D 动态占用状态
- [0139] F 自由空间状态
- [0140] SD 第一不确定状态
- [0141] SF 第二不确定状态
- [0142] DF 第三不确定状态
- [0143] SDF 未知占用状态
- [0144] 302 状态转移概率
- [0145] 304 状态转移概率
- [0146] 306 状态转移概率
- [0147] 308 状态转移概率
- [0148] 310 状态转移概率

- [0149] 312 状态转移概率
- [0150] 314 状态转移概率
- [0151] 316 状态转移概率
- [0152] 318 状态转移概率
- [0153] 320 状态转移概率
- [0154] 322 状态转移概率
- [0155] 324 状态转移概率
- [0156] 326 状态转移概率
- [0157] 328 状态转移概率
- [0158] 330 状态转移概率
- [0159] 332 状态转移概率
- [0160] 400 示出根据各种实施方式的用于占用状态检测的方法的流程图
- [0161] 402 确定在先前时间点处的概率分布的步骤
- [0162] 404 确定测量数据的步骤
- [0163] 406 确定预定时间点处的概率分布的步骤
- [0164] 500 根据各种实施方式的计算机系统
- [0165] 502 处理器
- [0166] 504 存储器
- [0167] 506 非暂时数据存储单元
- [0168] 508 摄像头
- [0169] 510 距离传感器
- [0170] 512 连接

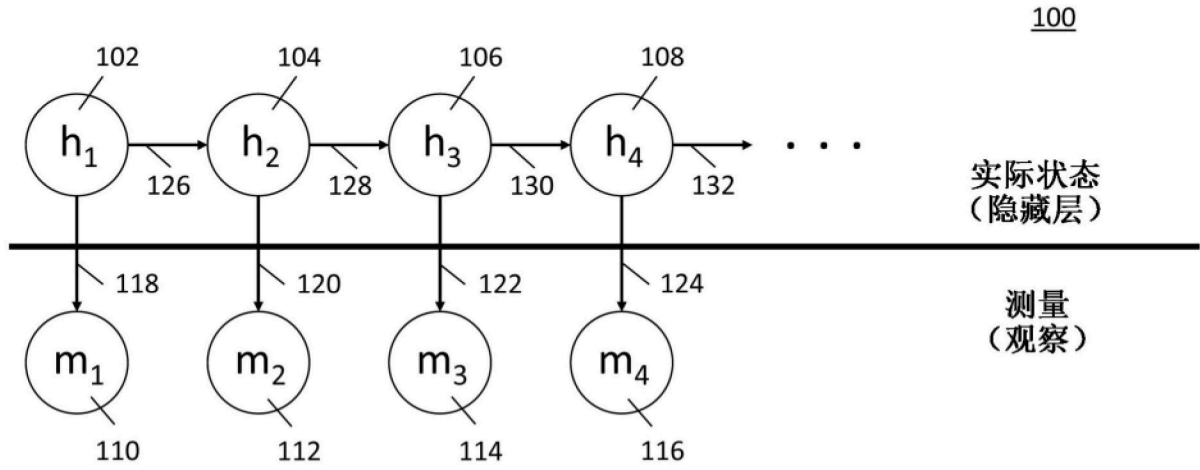


图1

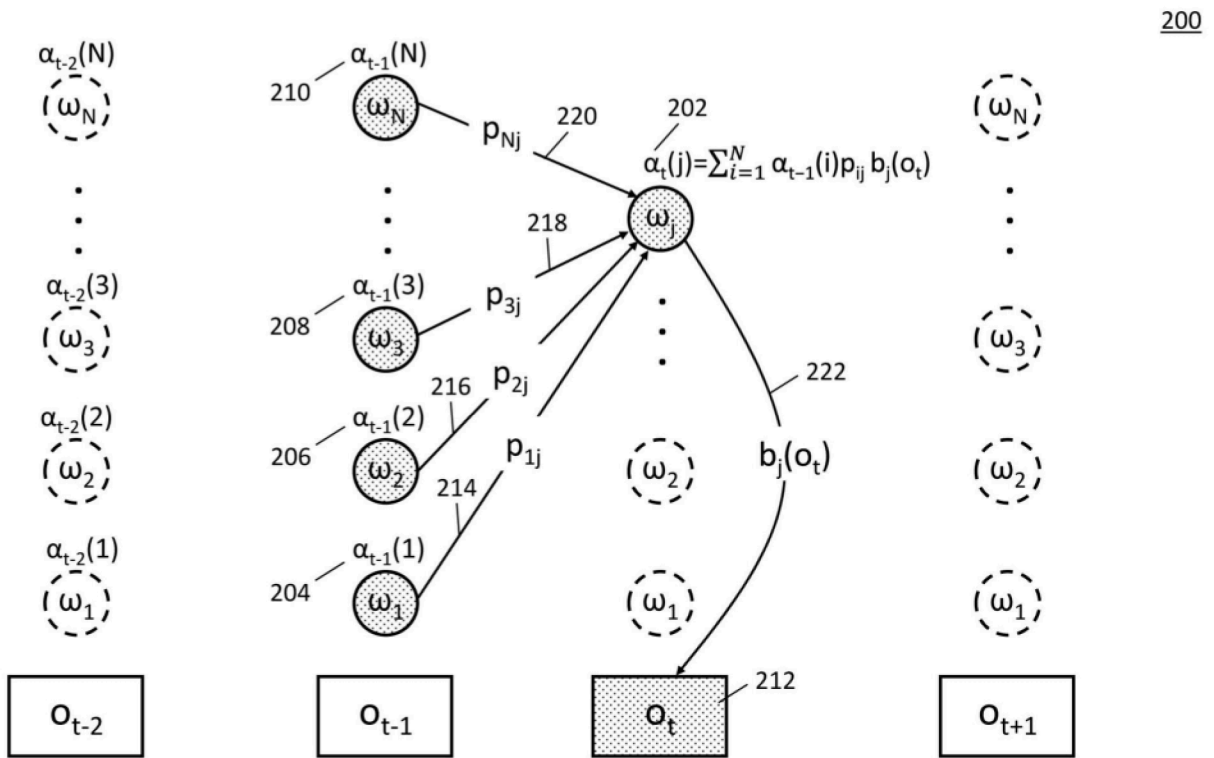


图2

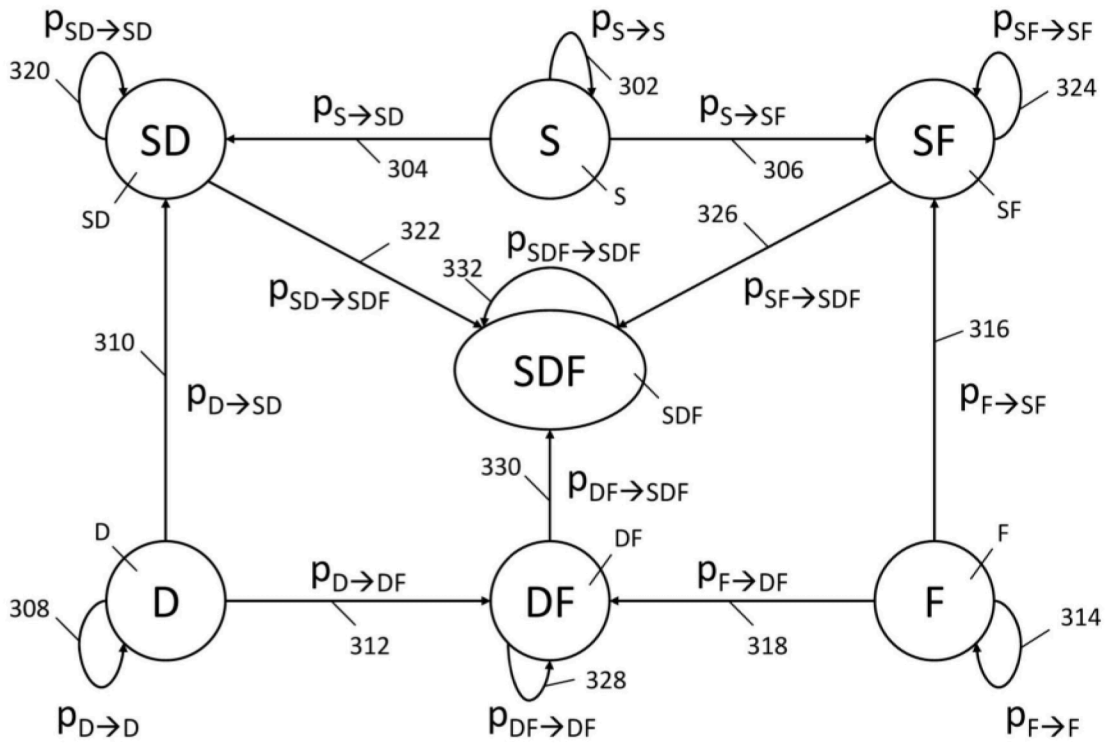


图3

400

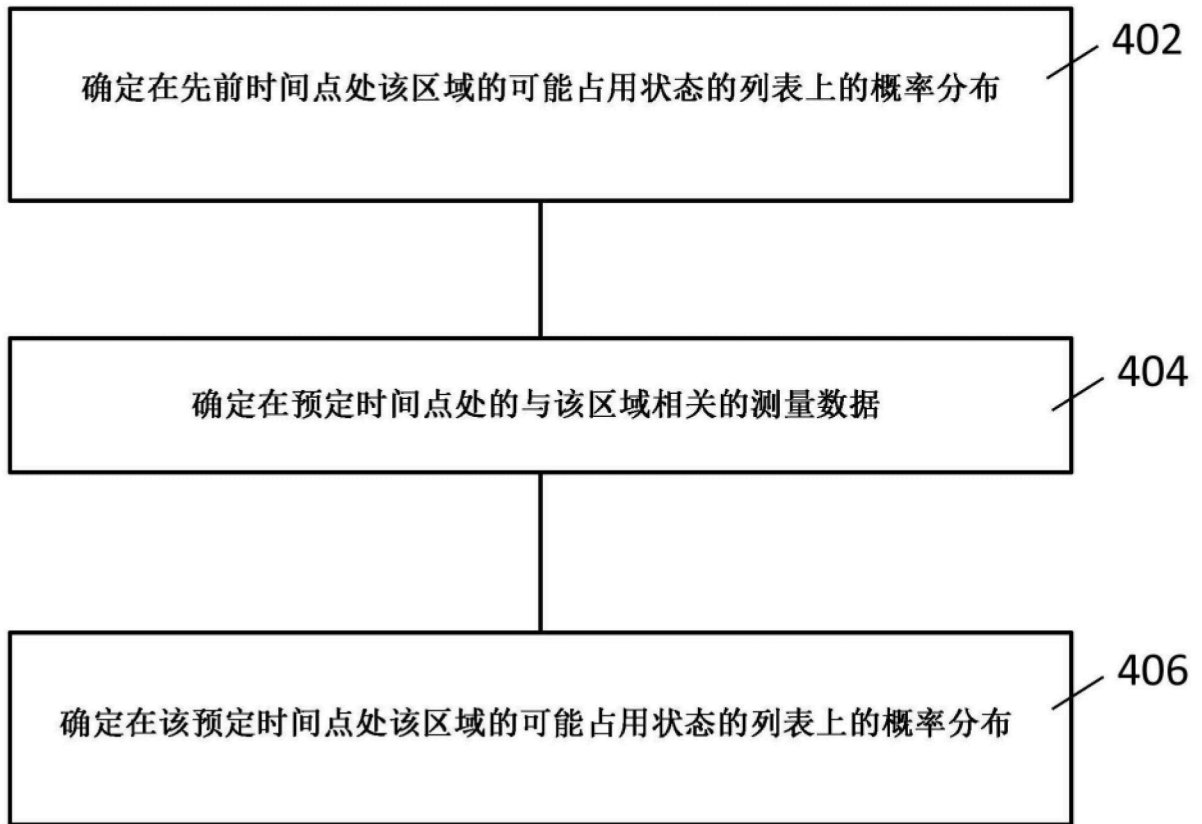


图4

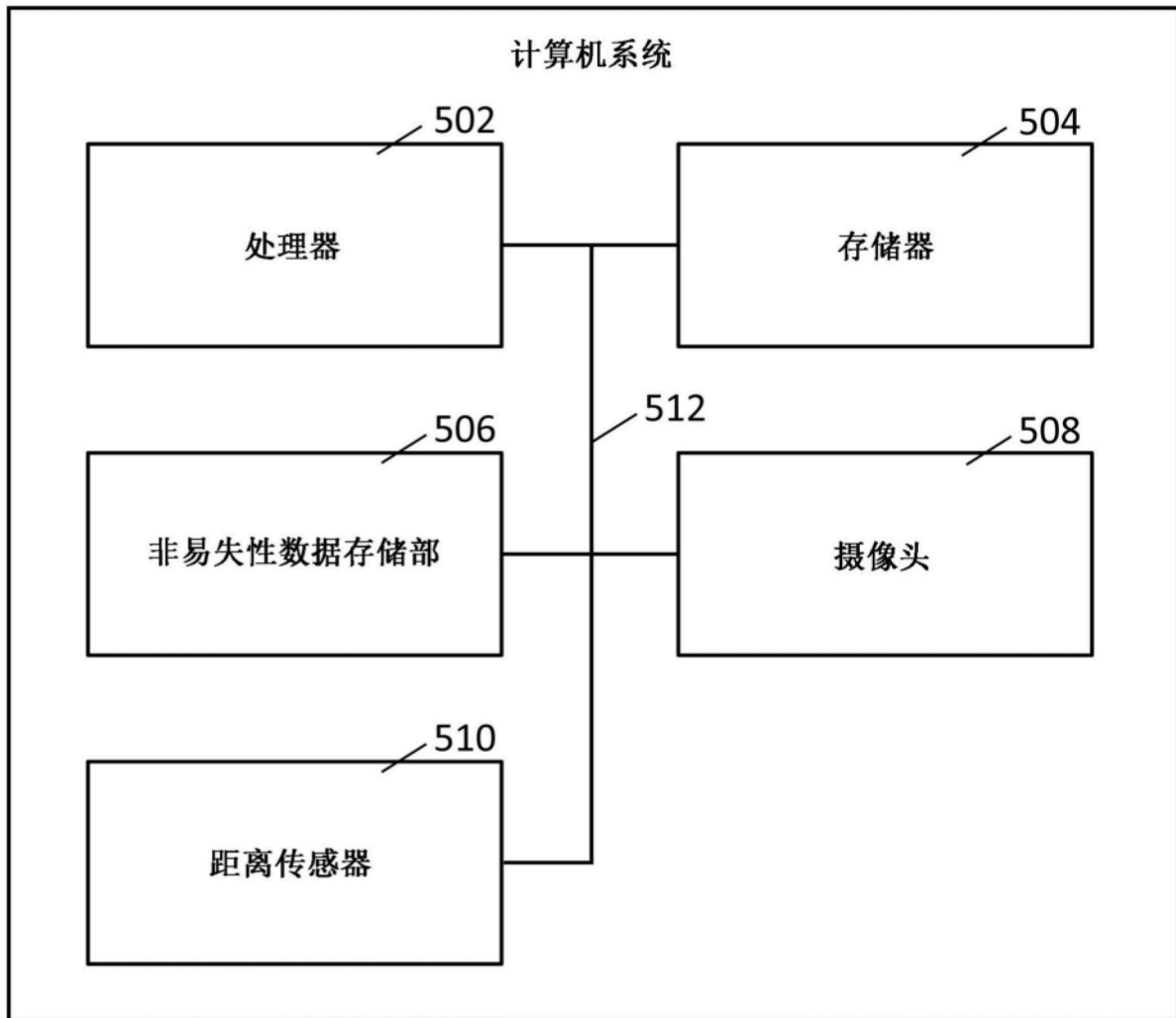


图5