



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101895953 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 24

(21) 申请号 201010229929. 3

(22) 申请日 2010. 07. 09

(71) 申请人 中国科学院软件研究所

地址 100190 北京市中关村南四街 4 号

(72) 发明人 孙利民 陈永乐 秦伟俊 张仲阳

(74) 专利代理机构 北京君尚知识产权代理事务所 (普通合伙) 11200

代理人 冯艺东

(51) Int. Cl.

H04W 40/02 (2009. 01)

H04W 84/18 (2009. 01)

G01C 21/00 (2006. 01)

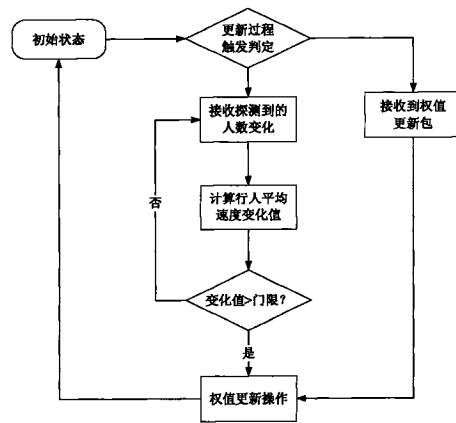
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种基于传感器网络的室内应急导航方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于传感器网络的室内应急导航方法,包括步骤:在室内场景部署传感器节点,在走廊部署探测节点,在交叉路口及出口部署导向节点;探测节点将检测到的人数信息发送给导向节点,导向节点计算出室内人员通过各走廊的平均速度,进一步计算出权值 w;建立传感器网络图 G = (V, E, w);如果室内人员通过各走廊的平均速度的变化值大于设定的门限值或者收到邻居节点发送的权值更新包,导向节点进行权值 w 更新;根据图 G 中权值 w 的更新调整导向节点的目标节点,指导室内人员沿着最优路径撤离。本发明将室内导航建模为动态网络图,并将人员撤离描述为网络流体的运动,通过动态的维护网络中的最短路径,实现了人员的最短时间撤离。



1. 一种基于传感器网络的室内应急导航方法,包括以下步骤:

1) 在室内场景中部署传感器节点,在走廊部署探测节点,在交叉路口及出口部署导向节点;

2) 探测节点将检测到的人数信息发送给导向节点,导向节点计算出室内人员通过各走廊的平均速度,进一步计算出权值 w ;

3) 建立传感器网络图 $G = (V, E, w)$, V 代表实际导向节点,边 E 表示两个导向节点之间走廊,权值 w 表示室内人员通过两个导向节点之间走廊的时间;任意导向节点 v 的键值为 $key(v) = \min_{x \in N(v)} \{d(x) + w(x, v)\}$, 其中 $d(x)$ 为所有出口节点到节点 x 的最短距离, $w(x, v)$ 为节点 x 与节点 v 之间边上的权值, $N(v)$ 表示 v 的所有邻居节点;

4) 每个导向节点计算所有邻边的权值,保存在邻居表中,所有出口节点向全网广播更新包 $(e, d(e))$, 其中 e 为出口节点号, $d(e)$ 代表出口节点 e 到所有出口节点的最短距离;

5) 当任意非出口节点 j 收到节点 i 的权值更新包 $(i, d(i))$ 后,首先将 i 的权值更新包与 $w(i, j)$ 插入 j 的邻居表中,如果在 j 的邻居表中 i 已经存在,则将较小的 $d(i)$ 值存入表中;然后重新计算 $key(j)$ 赋值给 $d(j)$,同时向其他邻居节点发送权值更新包 $(j, d(j))$;

6) 如果室内人员通过各走廊的平均速度的变化值大于设定的门限值或者收到邻居节点发送的权值更新包,导向节点进行权值 w 更新;

7) 根据图 G 中权值 w 的更新调整导向节点的目标节点,指导室内人员沿着最优路径撤离。

2. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述步骤 1) 中的传感器节点为 MicaZ 或者 telosb 传感器;所述导向节点上连接一个显示方向的装置。

3. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述显示方向的装置为 LED 显示屏。

4. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述步骤 2) 探测节点根据手持设备的数量检测出室内传感器范围内的人数。

5. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述步骤 2) 导向节点根据以下公式计算行人平均速度: $V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$, 其中 D 是人群密度,取值范围为 $0 < D \leq 0.92$ 。

6. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述步骤 6) 设定的门限值为 $0.1m/s$ 。

7. 如权利要求 1 所述的导航方法,其特征在于,所述步骤 6) 权值更新过程包括以下步骤:

如果节点 j 收到来自邻居节点 k 的权值更新包 $(k, d(k))$ 或者权值 $w(j, k)$ 发生变化,首先更新 j 的邻居表并重新计算 $key(j)$,然后判断节点 j 的状态;

对任意节点 v ,若 $key(v) > d(v)$,则节点 v 称为低不稳定节点,若 $key(v) < d(v)$,则节点 v 称为高不稳定节点;

如果 j 是低不稳定的,并且 k 是 j 的目标节点,则将满足 $key(j) = d(x) + w(x, j)$ 且 $x \in N(j)$ 条件的节点 x 设为 j 的新目标节点, $key(j)$ 赋值给新的最短路径值 $d(j)$,然后向除节点 x 外的所有邻居节点转发权值更新包 $(j, d(j))$;如果 k 不是 j 的目标节点,不做处理;

如果 j 是高不稳定的,并且 k 是 j 的目标节点,将 $key(j)$ 赋值给 $d(j)$, j 的目标节点不变,然后节点 j 将权值更新包转发给除 k 外的所有邻居节点;如果 k 不是 j 的目标节点,则

将满足 $\text{key}(j) = d(x) + w(x, j)$ 且 $x \in N(j)$ 条件的节点 x 设为 j 的新目标节点, $\text{key}(j)$ 赋值给新的最短路径值 $d(j)$, 然后向 j 的除 x 以外的邻居节点转发权值更新包 $(j, d(j))$ 。

8. 如权利要求 1 所述的导航方法, 其特征在于, 所述步骤 7) 如果满足 $\text{key}(v) = d(x) + w(x, v)$ 且 $x \in N(v)$, 那么称 x 是 v 的目标节点。

一种基于传感器网络的室内应急导航方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线传感器网络技术领域,涉及室内导航方法,尤其涉及一种面向传感器网络的能够感知拥塞的室内应急导航方法。

背景技术

[0002] 目前传感器网络导航主要有集中式和分布式两大类。其中集中式算法多用于周围环境静止或者变化缓慢的情境下,为移动机器人穿越障碍物构建导航路线,尽管这些集中式算法能够准确的完成导航任务,但是它们不适合环境动态变化的情景,不能根据实际情况快速的调整导航路线。而分布式算法在动态环境下具有较高的性能,最早由 Li 等人提出的基于势能的分布式导航算法 (Q. Li, M. D. Rosa, and D. Rus, Distributed algorithm for guiding navigation across a sensor network, Proc. of ACM MobiCom, 2003), 构建了一条尽可能远离危险区域的安全路径。该算法假设位于出口处的节点具有最小的势能值,用于吸引移动物体向它移动;而检测到危险的节点具有较高的势能,用于迫使移动物体远离它们移动,这样沿着高势能值的节点向低势能节点形成导航路径。然而该算法采用洪泛模型,通信开销较大。Buragohain 等人提出了一个低通信开销的分布式导航算法 (C. Buragohain, D. Agrawal and S. Suri, Distributed Navigation Algorithms for Sensor Networks, Proc. of IEEE INFOCOM, 2006), 该算法采用了骨干图的概念,骨干图作为传感器网络通信图的稀疏子图,能用较小的开销发现近似最安全的路径。Li 等人提出在不需要预知位置信息的前提下,利用安全区域的中轴线作为撤离的路线图嵌入到传感器网络中,指导人员沿着最快最安全的路径撤离,同时路线图的嵌入也有利于降低通信开销 (M. Li and Y. Liu and Z. Yang, "Sensor Network Navigation without Locations", Proc. of IEEE INFOCOM, 2009)。上述分布式导航算法解决了环境动态变化的问题,但是都忽视了人员撤离过程中造成的拥塞问题。Chen 等人考虑了导航过程中的拥塞问题,通过人数的变化估计拥塞,提出了人员撤离过程中的负载均衡导航算法 (W. T. Chen, P. Y. Chen, C. H. Wu and C. F. Huang, A Load-Balanced Guiding Navigation Protocol in Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE GLOBECOM, 2008)。另外用于导航营救人员的 ERN 算法,也通过人数来衡量拥塞,优先清除人数密集区域的危险以缓解拥塞 (S. Li, A. Zhan, X. Wu and G. Chen, ERN: Emergence Rescue Navigation with Wireless Sensor Networks, Proc. of IPDPS, 2009)。然而这些考虑拥塞的算法均通过人数来估计拥塞,不能准确的量化拥塞,不能准确的反应拥塞对撤离时间的影响,从而无法获得算法性能的界限。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术中存在的问题,提出一种基于传感器网络的能够感知室内拥塞的应急导航方法,该方法特别适用于室内应急导航。

[0004] 概括地说,本发明方法包括:通过引入行人平均速度与人群密度的关系模型,将拥塞过程中人数的变化转化为行人平均速度的变化,通过行人平均速度准确的计算出行人撤

离的时间并将人员的撤离描述为网络中流体的运动,从而将导航问题进一步转化成动态网络中最短路径的维护问题。再通过分布式的动态维护网络中的最短路径,实现室内所有人员的最短时间撤离。而应急导航方法的设计目标被形式化为任意节点 i 到所有出口节点最短距离 $d(i)$ 的总和的最小化,如下公式所示:

$$[0005] \quad \text{Minimize } \sum_{i \in V} d(i)$$

[0006] Subject to :

$$[0007] \quad d(i) < d(j) ; \forall i, j \in V, j \in p(i) \quad \textcircled{1}$$

$$[0008] \quad w(i, j) > 0 ; \forall i, j \in V \quad \textcircled{2}$$

$$[0009] \quad \text{root}(G) \geq 1 ; \quad \textcircled{3}$$

[0010] 本发明方法根据室内 GPS 无法使用,同时应急情况下逃生者携带测速装置的可能性很小,较大可能只带有手机或 PDA 等手持设备,很难直接测量行人的速度的实际情况,引入了 Predtechenskii 等人提出的行人平均速度与人群密度之间的函数模型,通过手持设备数量估计传感器范围内的人数,以此计算行人平均速度;通过大量长期的实验观察, Predtechenskii 等人给出了室内应急场景下行人平均速度与人群密度之间的关系函数。

$$[0011] \quad V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57 \text{ (m/min)} \quad (1)$$

[0012] 其中 D 是人群密度,即人群投影面积与人群占有

[0013] 区域总面积的比值,取值范围为 $0 < D \leq 0.92$,单位为 (m^2/m^2) 。人群密度 D 的表达公式如下:

$$[0014] \quad D = N \times f / S \quad (2)$$

[0015] 其中 S 为区域的总面积, N 为该范围内的所有人数, f 为一个人的水平投影面积。

[0016] 为了实现本发明的目的,采用的技术方案概述如下:

[0017] 一种基于传感器网络的室内应急导航方法,包括以下步骤:

[0018] 1) 在室内场景中部署传感器节点,在走廊部署探测节点,在交叉路口及出口部署导向节点;

[0019] 2) 探测节点将检测到的人数信息发送给导向节点,导向节点计算出室内人员通过各走廊的平均速度,进一步计算出权值 w ;

[0020] 3) 建立传感器网络图 $G = (V, E, w)$, V 代表实际导向节点,边 E 表示两个导向节点之间走廊,权值 w 表示室内人员通过两个导向节点之间走廊的时间;任意导向节点 v 的键值为 $\text{key}(v) = \min_{x \in N(v)} \{d(x) + w(x, v)\}$, 其中 $d(x)$ 为所有出口节点到节点 x 的最短距离, $w(x, v)$ 为节点 x 与节点 v 之间边上的权值, $N(v)$ 表示 v 的所有邻居节点;

[0021] 4) 每个导向节点计算所有邻边的权值,保存在邻居表中,所有出口节点向全网广播更新包 $(e, d(e))$, 其中 e 为出口节点号, $d(e)$ 代表出口节点 e 到所有出口节点的最短距离;

[0022] 5) 当任意非出口节点 j 收到节点 i 的权值更新包 $(i, d(i))$ 后,首先将 i 的权值更新包与 $w(i, j)$ 插入 j 的邻居表中,如果在 j 的邻居表中 i 已经存在,则将较小的 $d(i)$ 值存入表中;然后重新计算 $\text{key}(j)$ 赋值给 $d(j)$,同时向其他邻居节点发送权值更新包 $(j, d(j))$;

[0023] 6) 如果室内人员通过各走廊的平均速度的变化值大于设定的门限值或者收到邻

居节点发送的权值更新包,导向节点进行权值 w 更新;

[0024] 7) 根据图 G 中权值 w 的更新调整导向节点的目标节点,指导室内人员沿着最优路径撤离。

[0025] 步骤 1) 中的探测节点为 MicaZ 或者 telosb 传感器;所述导向节点上连接一个显示方向的装置。

[0026] 所述显示方向的装置为 LED 显示屏。

[0027] 所述步骤 2) 探测节点根据手持设备的数量检测出室内传感器范围内的人数。

[0028] 所述步骤 2) 导向节点根据以下公式计算行人平均速度: $V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$,其中 D 是人群密度,取值范围为 $0 < D \leq 0.92$ 。

[0029] 所述步骤 6) 设定的门限值为 0.1m/s 。

[0030] 所述步骤 6) 权值更新过程包括以下步骤:

[0031] 如果节点 j 收到来自邻居节点 k 的权值更新包 $(k, d(k))$ 或者权值 $w(j, k)$ 发生变化,首先更新 j 的邻居表并重新计算 $\text{key}(j)$,然后判断节点 j 的状态;

[0032] 对任意节点 v ,若 $\text{key}(v) > d(v)$,则节点 v 称为低不稳定节点,若 $\text{key}(v) < d(v)$,则节点 v 称为高不稳定节点;

[0033] 如果 j 是低不稳定的,并且 k 是 j 的目标节点,则将满足 $\text{key}(j) = d(x) + w(x, j)$ 且 $x \in N(j)$ 条件的节点 x 设为 j 的新目标节点, $\text{key}(j)$ 赋值给新的最短路径值 $d(j)$,然后向除节点 x 外的所有邻居节点转发权值更新包 $(j, d(j))$;如果 k 不是 j 的目标节点,不做处理;

[0034] 如果 j 是高不稳定的,并且 k 是 j 的目标节点,将 $\text{key}(j)$ 赋值给 $d(j)$, j 的目标节点不变,然后节点 j 将权值更新包转发给除 k 外的所有邻居节点;如果 k 不是 j 的目标节点,则将满足 $\text{key}(j) = d(x) + w(x, j)$ 且 $x \in N(j)$ 条件的节点 x 设为 j 的新目标节点, $\text{key}(j)$ 赋值给新的最短路径值 $d(j)$,然后向 j 的除 x 以外的邻居节点转发权值更新包 $(j, d(j))$ 。

[0035] 所述步骤 7) 如果满足 $\text{key}(v) = d(x) + w(x, v)$ 且 $x \in N(v)$,那么称 x 是 v 的目标节点。

[0036] 和现有技术相比,本发明的优势在于:

[0037] 1、本发明引入了行人速度与人群密度的关系模型,通过行人速度计算行人通过各走廊的时间,从而准确的量化了室内拥塞。

[0038] 2、本发明将室内导航建模为动态网络图,并将人员撤离描述为网络流体的运动,通过动态的维护网络中的最短路径,实现了人员的最短时间撤离;

[0039] 3、本发明通过设定速度变化的限值,在保障算法能够较灵敏的感知拥塞的情况下,减少了算法的洪泛开销。

附图说明

[0040] 图 1 为本发明方法的传感器网络模型, e_1, e_2 为出口节点;

[0041] 图 2 为导向节点权值更新触发全过程示意图;

[0042] 图 3 为权值更新操作流程示意图;

[0043] 图 4a 为本发明方法执行前的传感器网络模型;

[0044] 图 4b 为本发明方法执行后的传感器网络模型。

具体实施方式

[0045] 以下结合附图通过具体实施例详细说明本发明,但不构成对本发明的限制。

[0046] 本实施例提供一个采用本发明方法的室内应急导航系统实例。

[0047] 在本实施例中,将实际场景中部署的节点分为两类,部署在走廊的节点负责检测周围的人数变化,称为探测节点;部署在交叉路口的节点负责指导室内人员撤离,称为导向节点;其中室内出口位置被认为是特殊的交叉路口,需要部署导向节点。探测节点为 MicaZ 或者 telosb 传感器;在导向节点上连接一个显示方向的装置用来指示室内人员从最近的走廊离开,可以在导向节点地传感器上连接一个 LED 显示器。探测节点将感知到的人的数量信息发送给导向节点,导向节点利用公式 (1) (2) 计算出各走廊的平均速度,并根据预先设置的相邻走廊的长度进一步计算通过各走廊的时间,这样每一个导向节点能够获得室内人员通过相邻走廊的时间,将导航过程建模为权值动态变化的连通图 $G = (V, E, w)$ 。如图 1 所示,其中节点 V 代表实际导向节点,边 E 代表了两个导向节点之间的走廊,边上的权值 w 代表了室内人员通过该走廊的时间,另外节点中的数值代表当前节点到所有出口节点的最短距离。并且连通图 G 中的导向节点满足以下规则:

[0048] 1. 任意节点 v 的键值为 $key(v) = \min_{x \in N(v)} \{d(x) + w(x, v)\}$, 其中 $d(x)$ 为所有出口节点到节点 x 的最短距离, $w(x, v)$ 为节点 x 与节点 v 之间边上的权值, $N(v)$ 表示 v 的所有邻居节点。显然边的权值没有改变之前 $d(v)$ 等于 $key(v)$ 。以图 1 中节点 e 为例,节点 e 到所有出口节点的最短距离为 $d(e)$ 为圆圈中的数值 3, $key(e)$ 为 $d(h) + w(h, e)$, $d(c) + w(c, e)$, $d(d) + w(d, e)$ 三者中的最小值,其中 $d(h)$, $d(c)$, $d(d)$ 圆圈中值分别为 4, 2, 3; 同时 $w(h, e)$, $w(c, e)$, $w(d, e)$ 分别为 3, 1, 3。因此 $key(e) = d(c) + w(c, e) = 3$ 。

[0049] 2. 如果满足 $key(v) = d(x) + w(x, v)$ 且 $x \in N(v)$, 那么称 x 是 v 的目标节点,所有导向节点将指向其目标节点。如果 x 不唯一,则任意选取其一。

[0050] 3. 权值变化导致节点的 key 值发生变化,对应的节点将呈现两种状态:低不稳定状态和高不稳定状态。对任意节点 v , 若 $key(v) > d(v)$, 则节点 v 称为低不稳定节点,若 $key(v) < d(v)$, 则节点 v 称为高不稳定节点。稳定状态下, $key(v) = d(v)$ 。

[0051] 如果室内人员通过各走廊的平均速度大于设定的门限值或者收到邻居节点发送的权值更新包,导向节点进行权值 w 更新;如图 2 所示为权值更新的触发过程,根据权值的变化动态调整导向节点的目标节点,指导室内人员沿着最优路径撤离。该过程包括两个阶段:初始化阶段和权值更新阶段。

[0052] 初始化阶段:导向节点计算所有邻边的权值后,所有出口节点向全网广播权值更新包 $(e1, d(e1))$, 其中 $e1$ 为出口节点号。当任意非出口节点 j 收到节点 i 的权值更新包 $(i, d(i))$ 后,首先将 i 的权值更新包与 $w(i, j)$ 插入 j 的邻居表中,如果在 j 的邻居表中 i 已经存在,则将较小的 $d(i)$ 值存入表中。然后重新计算 $key(j)$ 赋值给 $d(j)$, 同时向其他邻居节点发送权值更新包 $(j, d(j))$ 。最终每个导向节点将维护一张邻居表,表中每一项包含邻居节点号、对应边的权值和邻居节点距离所有出口节点的最短距离,并且每个导向节点也都能根据规则 1, 2 得到其目标节点。

[0053] 权值更新阶段:参考图 3, 本实施例权值更新操作包括:

[0054] 1) 导向节点收到权值更新包或者平均速度变化大于门限后,更新其邻居表并重新

计算其键值,然后根据规则 3 判断该导向节点的状态。

[0055] 2) 如果该节点是低不稳定的:

[0056] a) 若导致其不稳定的节点是其目标节点,则将满足规则 2 条件的节点设为其的新目

[0057] 标节点,并将最短路径值赋值为其键值,然后向除新目标节点外的所有邻居节点

[0058] 转发权值更新包。

[0059] b) 若导致其不稳定的节点不是其目标节点,则不做处理。

[0060] 3) 如果 j 是高不稳定的:

[0061] a) 若导致其不稳定的节点是其目标节点,将新的最短路径值赋值为其键值,其目标节点不变,然后向除其目标节点以外的邻居节点转发权值更新包。

[0062] 若导致其不稳定的节点不是其目标节点,则将满足规则 2 条件的导向节点设为该节点的新目标节点,将新的最短路径值赋值为其键值,然后向除其目标节点以外的邻居节点转发权值更新包。

[0063] 权值更新的实施例如图 4a 所示,图中的箭头指向其目标节点,所有的边(包括带箭头的有向边)代表走廊;假设边的权值变化为 $w(e_2, d)$ 增加 2, $w(f, g)$ 减少 3, $w(c, e_1)$ 增加 2。根据本发明的方法将首先处理不稳定节点 c, d, f 和 g , 不稳定节点 e_1 和 e_2 为出口节点,不做处理。以节点 c 为例, $w(c, e_1)$ 增加 2, 根据 c 的邻居表计算 $key(c)$ 为 4, 而 $d(c)$ 为 2, 故 $key(c) > d(c)$, c 为低不稳定节点, 根据步骤 1) e_1 为 c 的目标节点, 设置 $d(c) = key(c) = 4$, e_1 仍为其目标节点。然后转发权值更新包 $(c, 4)$ 给邻居节点 b, e 。节点 b, e 均变为低不稳定状态, 根据步骤 1) $d(b)$ 变为 6 且 b 的目标节点变为 a ; 而 $d(e)$ 变为 5, 其目标节点仍为 c 。 b 节点继续发送权值更新包 $(b, 6)$ 给邻居节点 a, d ; e 节点继续发送权值更新包 $(e, 5)$ 给邻居节点 d, h 。根据步骤 1) 节点 b 不是节点 a, d 的目标节点, 节点 e 也不是节点 d, h 的目标节点, 对新节点 a, d, h 将不再做处理, 节点 c 处理完毕。然后依次处理节点 d, g, f 形成如图 4b 所示的结果。

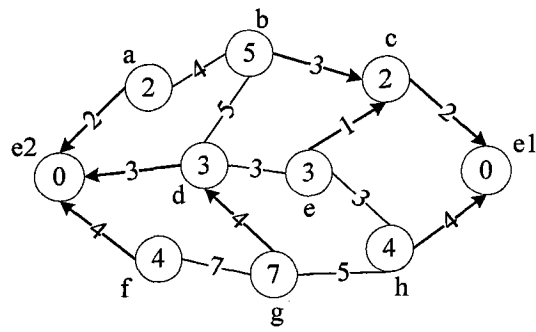


图 1

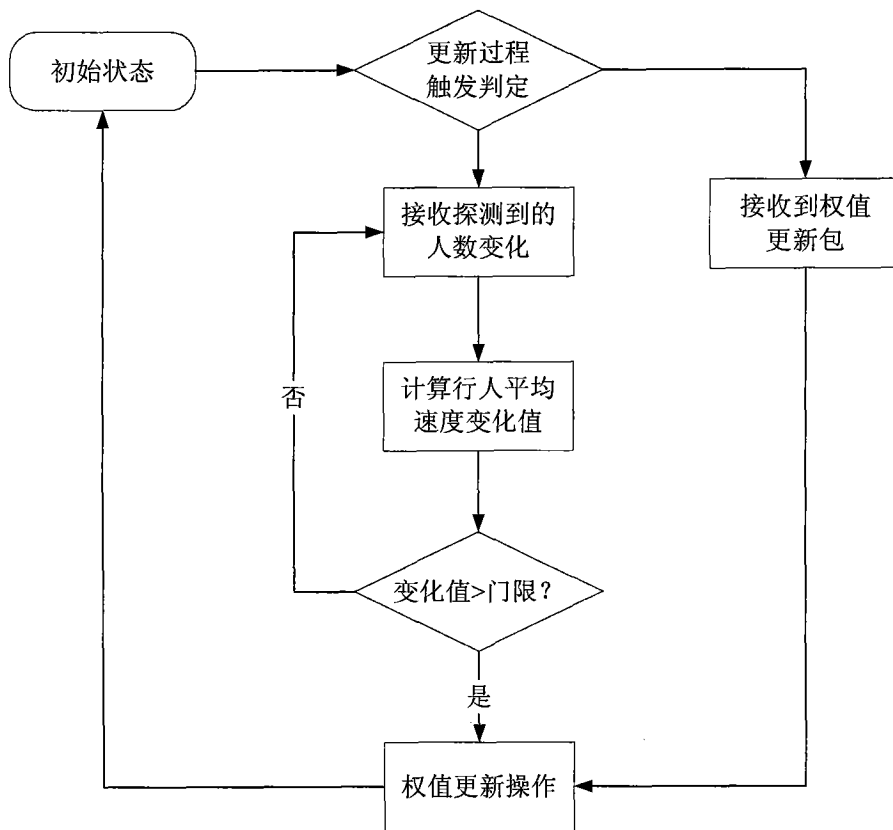


图 2

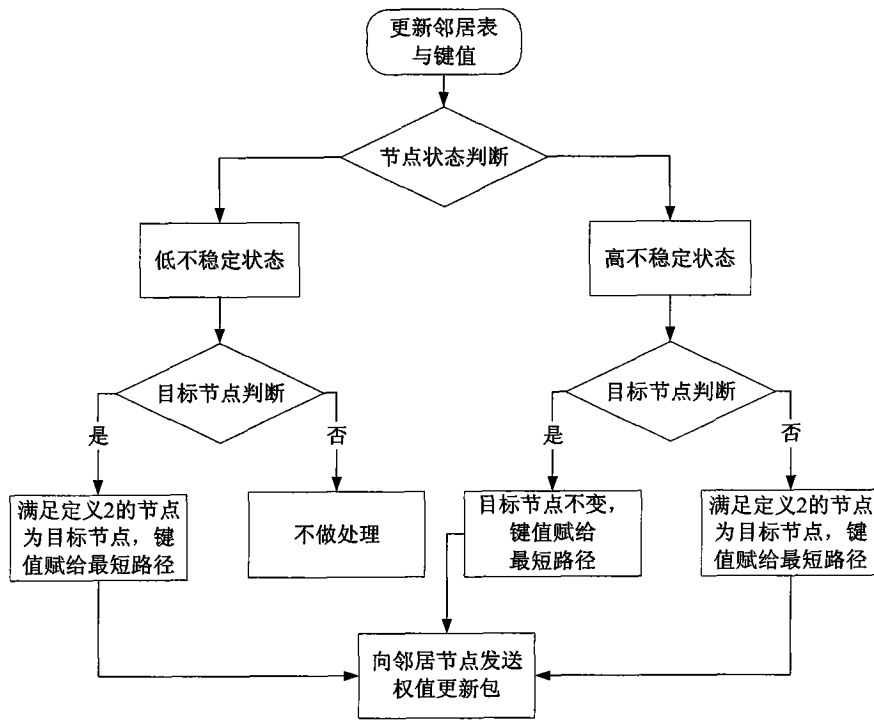


图 3

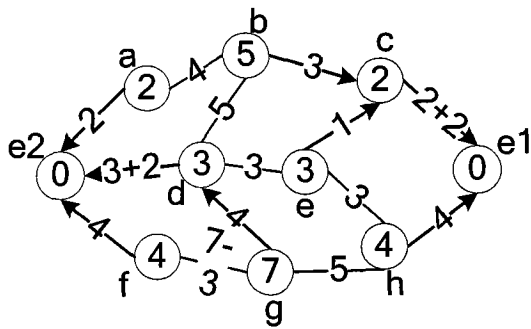


图 4a

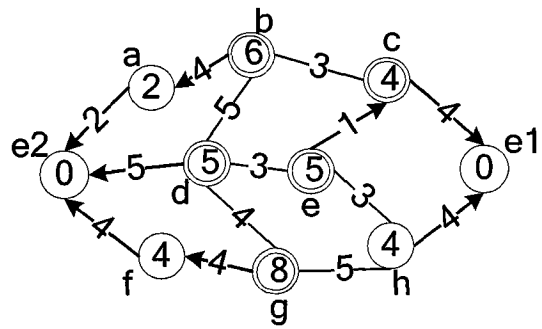


图 4b