



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104936249 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201510307174. 7

(22) 申请日 2015. 06. 05

(71) 申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)西
源大道 2006 号

(72) 发明人 林水生 刘悦 周亮 郭志勇

(74) 专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203

代理人 邹裕蓉

(51) Int. Cl.

H04W 40/04(2009. 01)

H04W 40/34(2009. 01)

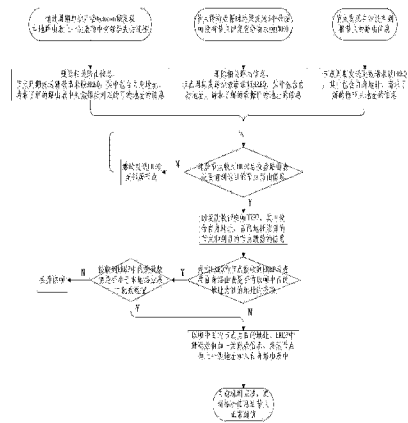
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于无线网络的路由自愈方法

(57) 摘要

本发明提供一种适用于无线网络的路由自愈方法。数据传输过程中,当节点发现本地路由表中上一跳节点失效或数据通信中断时触发问题自愈机制:节点启动问题自愈机制后,周期发送 HREQ、接收 HREP 更新信息。进一步的,本发明提供一种在单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点的方法。通过邻居节点发送 CREQ 来选择下一跳节点能避开失效或负载过重的邻居节点,正常自愈方式没有增加路由开销,问题自愈方式反应快速,影响的节点少,回复的速度快,与数据发送机制天然结合,回复代价小。本发明能更主动、更及时地完成无线网络中的路由自愈。



1. 一种适用于无线网络的路由自愈方法,其特征在于,包括:

数据传输过程中,源节点以单跳广播方式将之后的数据帧传输至目的节点;

当节点发现本地路由表中上一跳节点失效或数据通信中断时触发问题自愈机制;

节点启动问题自愈机制后,周期发送 HREQ 跳数请求帧, HREQ 中包含本节点地址、目的节点的地址;

邻居节点收到 HREQ 后查看本地路由表是否有到达该目的节点的路由信息,如否,则转发 HREQ 至其它邻居节点,如是,邻居节点回复 HREP 跳数回应帧, HREP 包含本节点地址、目的节点的地址和到目的节点的跳数数值;

发出 HREQ 的节点接收到 HREP 后以 HREP 中目的节点为目的地址、HREP 中跳数数值加 1 为跳数信息、发送 HREP 的节点地址为上一跳地址加入本地路由表中;当发出 HREQ 的节点接收到多个 HREP 后,选择跳数数值小的 HREP 更新路由表。

2. 如权利要求 1 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法,其特征在于,单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点。

3. 如权利要求 2 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法,其特征在于,通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点的具体方法是:

1) 当前节点接收到需转发的帧,将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点;

2) 各邻居节点接收到帧后查看帧内跳数数值,如果邻居节点自身到目的地址的跳数小于等于该跳数数值,则该邻居节点成为转发竞争节点,转发竞争节点开始计时;

3) 转发竞争节点计时到达退避时间 T 后,判断退避时间内是否接收到 CACK 竞争转发帧,如是,进入步骤 4),如否,进入步骤 5);

4) 转发竞争节点放弃本次的转发竞争,查看 CACK 竞争转发帧中包含的 CREQ 中的跳数数值,当自身到目的地址的跳数大于 CREQ 中的跳数数值,根据转发竞争节点自身到目的地址的跳数与 CREQ 中的跳数数值的差值延长退避时间 T,返回步骤 2);

5) 转发竞争节点向所述当前节点发送 CREQ,设置自身到目的地址的跳数为 CREQ 中的跳数数值;

6) 当前节点接收到 CREQ 后,选择发送该 CREQ 的转发竞争节点为下一跳中间节点,单跳广播 CACK 竞争转发帧至所有邻居节点,CACK 中包含有 CREQ 中的跳数数值;

7) 下一跳中间节点接收到 CACK 后确认自身为转发数据的当前节点,当前节点将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点,返回步骤 2)。

4. 如权利要求 3 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法,其特征在于,节点单跳广播帧后连续 N 次收到的 CACK 中包含的 CREQ 中的跳数数值均等于本节点到目的地址的跳数,则触发正常自愈机制;

节点启动正常自愈机制后,节点修改本地路由表中本节点到目的地址的跳数为原跳数加 1,并缩短连续收到 N 次收到的 CACK 中包含的 CREQ 中的跳数数值等于本节点到目的地址的原跳数的邻居节点的退避时间。

5. 如权利要求 4 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法,其特征在于,所述延长退避时间 T 的方法是:

$$T = t + (d - c) * m, m = \frac{\beta * L}{v},$$

其中, t 转发竞争节点设置的退避时间的初始值范围最大值, d 为转发竞争节点自身到根节点的跳数, c 为 CREQ 中的跳数数值, m 为调节系数, L 为 CREQ 大小, v 为物理层传输速率, β 为大于 1 的常系数;

所述缩短退避时间 T 的方法是, 将退避时间 T 恢复至 t ;

各转发竞争节点初始设置的退避时间 T 为 0 到 t 范围内的随机值。

6. 如权利要求 4 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法, 其特征在于, 退避时间的初始值范围最大值 $t = \frac{\alpha * L}{v}$, α 为加权值。

7. 如权利要求 1 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法, 其特征在于, 数据传输过程中, 当源节点未建立到目的节点的单向路由时, 在源节点以单跳广播方式将之后的数据帧传输至目的节点之前还包括以下步骤:

源节点先将数据帧以单跳广播方式传输至根节点; 单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点;

根节点接收到来自源节点的数据帧后, 查找本地路由表, 将数据帧单播至目的节点;

目的节点接收到来自源节点的数据帧后, 向全网广播 PREQ 广播路径请求帧至源节点, 源节点接收到 PREQ, 建立源节点到目的节点的单向路由;

其中, 根节点为全网设置一个固定节点; 数据发送之前, 根节点周期向全网周期性广播 PP 通告帧; 在每一个广播周期, 网络中各节点收到 PP 后将 PREP 路径回应帧以单跳广播方式传输至根节点, 建立根节点到网络中各节点的路由。

8. 如权利要求 7 所述一种适用于无线网络的路由自愈方法, 其特征在于,

节点触发问题自愈机制的具体方法为:

节点连续 10s 没有收到某邻居节点的信标帧 beacon, 则判断该邻居节点失效, 删除本地路由表中该失效邻居对应的路由信息, 再启动问题自愈机制;

节点传输数据时连续发送 5 个数据帧没有接收到 CREQ, 则判断数据通信中断, 删除本地路由表中下一跳节点的路由信息, 再启动问题自愈机制;

节点发现本地路由表中没有到根节点的路由信息, 无法进行数据通信, 则直接启动问题自愈机制。

一种适用于无线网络的路由自愈方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线网络技术领域,特别是涉及一种无线网络的路由自愈技术。

背景技术

[0002] 无线移动自组网是一个由移动节点的集合临时和动态形成的多跳无线网络,它不需要使用任何现有的网络基础设施或中心化管理,广泛应用于救灾、分布式协作计算和战场自动化等场合。自组织、快速部署和无需任何固定基础设施的特点,使自组网作为一个重要的和有前途的研究领域受到极大关注。然而由于节点移动、信号干扰和功率损耗等因素的影响,在自组网中本质上难以得到准确的链路状态信息和网络拓扑信息。另一方面,繁重的业务流量、频繁的链路中断和网络分离将引发传输中断,造成数据包的延迟和丢失。无线网络可以有效地增大了覆盖范围,增强了性能,覆盖范围的扩大对于解决目前运营商基站之间覆盖盲区或者集中热点接入能力不足等问题是大有益处的。无线网络可以适用于多种接入技术,不同应用技术对应于不同的应用场景,小到家庭宽带网络和小区网络,大到企业网和城域网,无线网络技术均十分适用。

[0003] 麻省理工大学的研究者提出了机会路由策略,它是一种用于无线多跳网络的路由协议,充分利用无线网络的广播特性能进行数据传输。机会路由协议的基本思想:源节点向目的节点发送一个数据包,首先发送给一个候选节点组A,根据某一度量,再从该节点组A中选出最优节点a,a把数据包广播给另外一组候选节点B,而A组中除a以外的其它节点并不广播此数据包。然后再从B组中选取最优节点b,b把该数据包广播给下一组节点C,如此重复直到目的节点接收到数据包。机会路由协议从源节点到目的节点发送的数据包并不是按一条固定的最佳路径传输,也就是说每次转发的数据包并不是单播给某一个节点,而是充分利用无线网络的广播传输特性,每次数据包都转发给一组节点,这些节点根据它们到目的节点的度量(Metric)来确定它们优先级,选择优先级最高的那个节点再次转发数据包给另外一组节点,如此重复直到目的节点。

[0004] 传输过程中节点只能通过下一次更新的网络信息的到来更新网络信息,同时传输性能依赖节点掌握网络信息的正确性和及时程度,由于没有及时的自愈机制,在网络拓扑变化时无法及时了解网络的变化,影响优先级别判定的正确性和及时性,影响传输性能。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种适用于无线网络的,实时性好的路由自愈方法。

[0006] 本发明为解决上述技术问题所采用的技术方案是,一种适用于无线网络的路由自愈方法:

[0007] 数据传输过程中,源节点以单跳广播方式将之后的数据帧传输至目的节点;

[0008] 当节点发现本地路由表中上一跳节点失效或数据通信中断时触发问题自愈机制:

[0009] 节点启动问题自愈机制后,周期发送 HREQ 跳数请求帧, HREQ 中包含本节点地址、目的节点的地址;

[0010] 邻居节点收到 HREQ 后查看本地路由表是否有到达该目的节点的路由信息,如否,则转发 HREQ 至其它邻居节点,如是,邻居节点回复 HREP 跳数回应帧, HREP 包含本节点地址、目的节点的地址和到目的节点的跳数数值;

[0011] 发出 HREQ 的节点接收到 HREP 后以 HREP 中目的节点为目的地址、HREP 中跳数数值加 1 为跳数信息、发送 HREP 的节点地址为上一跳地址加入本地路由表中;当发出 HREQ 的节点接收到多个 HREP 后,选择跳数数值小的 HREP 更新路由表。

[0012] 本发明能在发现问题时主动采取措施完成自愈,通过发送 HREQ、接收 HREP 更新信息。

[0013] 进一步的,本发明提供一种在单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点的方法。这种竞争转发的方式选择下一跳中间节点的方法本身就能在正常信息通信过程中完成自愈,具体方法是:

[0014] 1) 当前节点接收到需转发的帧,将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点;

[0015] 2) 各邻居节点接收到帧后查看帧内跳数数值,如果邻居节点自身到目的地址的跳数小于等于该跳数数值,则该邻居节点成为转发竞争节点,转发竞争节点开始计时;

[0016] 3) 转发竞争节点计时到达退避时间 T 后,判断退避时间内是否接收到 CACK 竞争转发帧,如是,进入步骤 4),如否,进入步骤 5);

[0017] 4) 转发竞争节点放弃本次的转发竞争,查看 CACK 竞争转发帧中包含的 CREQ 中的跳数数值,当自身到目的地址的跳数大于 CREQ 中的跳数数值,根据转发竞争节点自身到目的地址的跳数与 CREQ 中的跳数数值的差值延长退避时间 T,返回步骤 2);

[0018] 5) 转发竞争节点向所述当前节点发送 CREQ,设置自身到目的地址的跳数为 CREQ 中的跳数数值;

[0019] 6) 当前节点接收到 CREQ 后,选择发送该 CREQ 的转发竞争节点为下一跳中间节点,单跳广播 CACK 竞争转发帧至所有邻居节点,CACK 中包含有 CREQ 中的跳数数值;

[0020] 7) 下一跳中间节点接收到 CACK 后确认自身为转发数据的当前节点,当前节点将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点,返回步骤 2)。

[0021] 通过邻居节点发送 CREQ 来选择下一跳节点能避开失效或负载过重的邻居节点,正常自愈方式没有增加路由开销,问题自愈方式反应快速,影响的节点少,回复的速度快,与数据发送机制天然结合,回复代价小。

[0022] 本发明的有益效果是,能更主动、更及时地完成无线网络中的路由自愈。

附图说明

[0023] 图 1 为实施例的问题自愈流程;

[0024] 图 2 为实施例中节点失效的网络拓扑图;

[0025] 图 3 为实施例中节点移动的网络拓扑图。

具体实施方式

[0026] 对于现有的机会路由方法,在数据传输过程中,源节点以单跳广播方式将之后的

数据帧传输至目的节点；当节点发现本地路由表中上一跳节点失效或数据通信中断时触发本发明的问题自愈机制。

[0027] 本实施例给出一个优化实例，单跳广播基于一种新的在基于竞争转发选择下一跳中间节点的方法，这样除了问题自愈机制之外，还能在正常数据时避开失效或负载过重的邻居节点，这里称之为正常自愈机制。

[0028] 首先，给出应用了基于竞争转发选择下一跳中间节点的方法的一个路由方法的具体流程：

[0029] 1) 根节点路由建立：

[0030] 为全网设置一个固定的根节点；

[0031] 根节点周期向全网周期性广播 PP 通告帧；

[0032] 在每一个广播周期，网络中各节点收到 PP 后将 PREP 路径回应帧以单跳广播方式传输至根节点，根节点根据接收到的 PREP 更新本地路由表；单跳广播过程中通过如权利要求 1 所述竞争转发的方式选择下一跳中间节点；

[0033] 2) 数据发送：

[0034] 当源节点未建立到目的节点的单向路由时，源节点先将数据帧以单跳广播方式传输至根节点；单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点；

[0035] 根节点接收到来自源节点的数据帧后，查找本地路由表，将数据帧单播至目的节点；

[0036] 目的节点接收到来自源节点的数据帧后，判断数据帧是否经根节点转发，如是，目的节点向全网广播 PREQ 广播路径请求帧至源节点，源节点接收到 PREQ 后，以单跳广播方式将之后的数据帧传输至目的节点；如否，则直接以单跳广播方式将数据帧传输至目的节点；单跳广播过程中通过竞争转发的方式选择下一跳中间节点。

[0037] 其中，基于竞争转发的下一跳中间节点选择的方法，包括以下步骤：

[0038] 1) 当前中间节点接收到需转发的帧，将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点；

[0039] 2) 各邻居节点接收到帧后查看帧内跳数数值，如果邻居节点自身到目的地址的跳数小于等于该跳数数值，则该邻居节点成为转发竞争节点，转发竞争节点开始计时；

[0040] 3) 转发竞争节点计时到达退避时间 T 后，判断退避时间内是否接收到 CACK 竞争转发帧，如是，进入步骤 4)，如否，进入步骤 5)；

[0041] 4) 转发竞争节点放弃本次的转发竞争，查看 CACK 竞争转发帧中包含的 CREQ 中的跳数数值，当自身到目的地址的跳数大于 CREQ 中的跳数数值，根据转发竞争节点自身到目的地址的跳数与 CREQ 中的跳数数值的差值延长退避时间 T，返回步骤 2)；

[0042] 5) 转发竞争节点向所述当前中间节点发送 CREQ，设置自身到目的地址的跳数为 CREQ 中的跳数数值；

[0043] 6) 当前中间节点接收到 CREQ 后，选择发送该 CREQ 的转发竞争节点为下一跳中间节点，单跳广播 CACK 竞争转发帧至所有邻居节点，CACK 中包含有 CREQ 中的跳数数值；

[0044] 7) 下一跳中间节点接收到 CACK 后确认自身为转发数据的当前中间节点，当前中间节点将接收到帧的单跳广播至所有邻居节点，返回步骤 2)。

[0045] 具体的，延长退避时间 T 的方法是：

$$[0046] \quad T = t + (d - c) * m, m = \frac{\beta * L}{v},$$

[0047] 其中, t 转发竞争节点设置的退避时间的初始值范围最大值, d 为转发竞争节点自身到根节点的跳数, c 为 CREQ 中的跳数数值, m 为调节系数, L 为 CREQ 大小, v 为物理层传输速率, β 为大于 1 的常系数。

[0048] 各转发竞争节点设置的退避时间 T 的初始值可以为一固定值, 更优选的, 为了尽量使竞争等待小的同时也使因隐藏终端而发生 CREQ 碰撞的概率降到足够低, 各转发竞争节点初始设置的退避时间 T 为 0 到 t 范围内的随机值, $t = \frac{\alpha * L}{v}$, α 为加权值。

[0049] 当网络中有新节点加入或节点失效的情况下, 实施例中路由自愈机制体现在两个方面: 一是正常自愈, 及在正常信息通信过程中完成自愈, 如发送信息节点通过确认邻居返回的 CREQ 确定转发节点, 自然避开了失效的或负载过重的邻居节点; 收到邻居节点返回的 CREQ, 提取其中到目的节点跳数信息, 来更新自身到目的节点跳数信息; 二是问题自愈, 及发现路由信息存在错误而主动采取措施完成自愈, 如发现本地路由表中上一跳节点失效或数据通信中断, 通过发送 HREQ、接收 HREP 更新信息。

[0050] 正常自愈机制启动的触发条件为: 发送节点到目的节点的跳数为 a , 单跳广播信息后连续 N 次收到的 CREQ 中跳数信息等于 a , 则判断原来跳数小于 a 的节点不再能够正确接收发送点发送的信息。这里 N 取 15。

[0051] 启动正常自愈后, 发送节点修改自身到目的节点跳数数值为 $b = a + 1$, 同时邻居节点连续 N 次收到的 CACK 中跳数信息为 a 后, 取消原来推迟了的退避时间范围 T , 恢复其为 t , 达到更新拓扑信息的目的。当然本领域技术人员也可以想到类似有相同效果的延长或缩短退避时间 T 的方法。

[0052] 具体流程如图 1 所示, 问题自愈机制启动的触发条件有三个: 一是节点连续 10s 没有收到某邻居节点的信标帧 beacon, beacon 的广播周期为 0.5s, 则判断该邻居不再是自己的邻居节点, 若该失去联系的节点存储于本地路由表中上一跳表项中, 则删除本地路由表中该失效邻居对应的路由信息, 再启动问题自愈机制, 这种方式在节点空闲时适用; 二是节点传输数据时连续发送 5 个数据帧没有节点回复竞争请求帧 CREQ, 则判断数据通信中断, 删除本地路由表中下一跳节点的路由信息, 再启动问题自愈机制则启动自愈机制; 三是节点发现自身没有到根节点的路由信息, 无法进行数据通信, 则直接启动问题自愈机制。

[0053] 启动问题自愈机制后, 节点周期发送跳数请求帧 HREQ, 其中包含自身地址、请求了解的目的地址的信息。邻居节点收到 HREQ 后查看路由表是否有到达目的节点路由信息, 如果没有继续发送 HREQ 至邻居节点直到发现有节点拥有到目的节点路由信息。拥有目的节点路由信息的节点收到 HREQ 后回复跳数回应帧 HREP, 其中包含自身地址、目的地址为目的节点和到目的节点跳数的信息。发出 HREQ 的节点接收到 HREP 后以帧中目的节点为目的地址、HREP 中跳数数值加一为跳数信息、发送节点为上一跳地址加入自身路由表中。当收到多个 HREP 后, 选择跳数数值小的 HREP 中的信息更新路由表。

[0054] 使用本发明自愈方法后, 当有新的节点加入时, 若该节点无数据发送则等待根节点下次广播全网通告帧加入网络, 若有数据发送则会启动自愈机制寻找目的节点; 当节点移动后, 若路由表中上一跳表项中的节点不再是自身邻居, 则启动自愈机制, 寻找相应目的

节点路由；当链路上节点失效后，若有其它节点竞争数据转发权则通信正常进行，若该失效节点是发送节点唯一数据转发竞争节点则发送节点启动自愈机制，若失效节点存储于某邻居节点路由表中上一跳表项中，则相应邻居节点启动自愈机制。

[0055] 以下给出当网络拓扑出现问题之后，使用本发明自愈方法能让节点间依然能正常通信的例子：

[0056] (1) 数据传输过程中通信链路上节点失效的影响，如图 2 所示

[0057] 实施例路由方法没有固定某条链路，设 node R 为根节点，源节点为 node F，目的节点为 node A。在 node A 首次接收到 root 转发的来自 node F 的数据帧后广播 PREQ，网络中其它节点通过接收 PREQ 记录到达目的节点 node A 的最小跳数和相应的上一跳节点地址存储与路由表中，如 node F 路由表中到达 node A 跳数为 2，上一跳地址为 node D 地址。记录最小跳数的上一跳节点地址在数据传输中没有作用，但在传输链路上节点失效时，路由恢复自愈机制中需要该信息。Node F 发送的上一个数据包沿路由 F-D-A 到达目的节点，在 node F 发送下一数据包时 node D 失效，此时有两个操作时并行进行的，一是 node C 接收到数据包后发送 CREQ 请求转发权，node F 接收到 CREQ 后返回 CACK 确认，node C 收到 CACK 后发送该数据包，node D 的失效没有影响源目的节点正常通信；二是 node F 通过周期发送的信标帧 beacon 帧发现 node D 始终没有回复而判定 node D 不再是自己邻居，查看路由表发现 node D 地址存在于目的节点为 node A 的表项中，向其它邻居发送跳数请求帧 HREQ，其中包含目的节点 node A 地址。Node F 邻居节点收到 HREQ 后查看自身路由表发现有包含 node A 的表项，回复跳数回应帧 HREP，其中包含到达 node A 的跳数信息。Node F 从接收到的 HREP 中选择跳数最小的数值和相应的节点地址存储于路由表中目的地址为 node A 的表项中，完成自愈。

[0058] 上例中 node F 有多个转发节点，所以在 node D 失效后及时没有自愈机制通信依然正常进行。如果 node C、D 都失效后，node F 通过 node E 转发数据，次数达到 15 次后更新自身到达目的节点 node A 的跳数和上一跳地址，如跳数为 3、上一跳为 node E 地址，下次数据发送中，node E 将以跳数最少节点的身份，恢复退避时间范围为 $t = 56\mu s$ ，参与竞争数据转发权而使通信正常进行，没有因为 node C、D 失效而中断或不合理推迟退避时间范围。这种自愈方式开销极小，自愈速度快，在节点失效情况下保证了数据可靠、低时延传输。

[0059] (2) 数据传输过程中通信链路上节点移动的影响，如图 3 所示

[0060] 设 node R 为根节点，源节点为 node F，目的节点为 node A。在通信过程中节点的移动性，尤其是在数据转发开始后可能参与数据转发的节点的位置的改变，如果没有高效的自愈机制会严重影响网络性能，甚至中断通信。考虑到多种情况下的节点移动带来的影响，并快速反应保证了通信质量。

[0061] 如在上例中，node D 向 node F 移动，形成新的拓扑中，node A 与 node D 无法直接通信，如果没有应对机制，node D 竞争到转发权后无法发送给 node A，数据帧丢失，丢包率上升。node D 通过 beacon 帧或连续 5 次发送数据帧失败，发现 node A 不再是自己邻居后，通过 HREQ、HREP 请求确认机制更新了到达目的节点 node A 的跳数和上一跳地址，如跳数为 2、上一跳为 node R 地址，这样 node D 将不再以最小的退避时间范围 $t = 56\mu s$ 参与数据竞争转发，而是推迟到 $T = 162\mu s$ ，node C 以更大概率转发数据帧，网络恢复到最佳数据通信状态。

[0062] (3) 源节点或转发节点到达目的节点的跳数信息不正确

[0063] 以 node F 为源节点、node A 为目的节点, 在 node A 首次接收到 root 转发的来自 node F 的数据帧后广播 PREQ, node F 没有接收到 node C、D 转发的 PREQ 而接收到 node E 转发的 PREQ, node F 记录到达目的节点 node A 的跳数信息为 3 而不是真实的跳数 2, 此时若 node C、D、E 等概率转发数据帧或 node E 不参与转发都浪费了网络资源。路由算法在这种情况发生时仍能高效运行。源节点 node F 的广播数据帧内包含自身到目的节点的跳数信息, 邻居节点接收到该数据帧后发现自身到目的节点的跳数小于数据帧内跳数信息, 不一定是比数据帧内跳数信息少 1, 等待退避时间后便返回竞争请求帧 CREQ, 其中包含自身到目的节点跳数信息, 具体随机退避机制上文已有描述。在多个数据帧发送后 node C、D 将以更大的概率转发数据帧, 提高了传输性能。

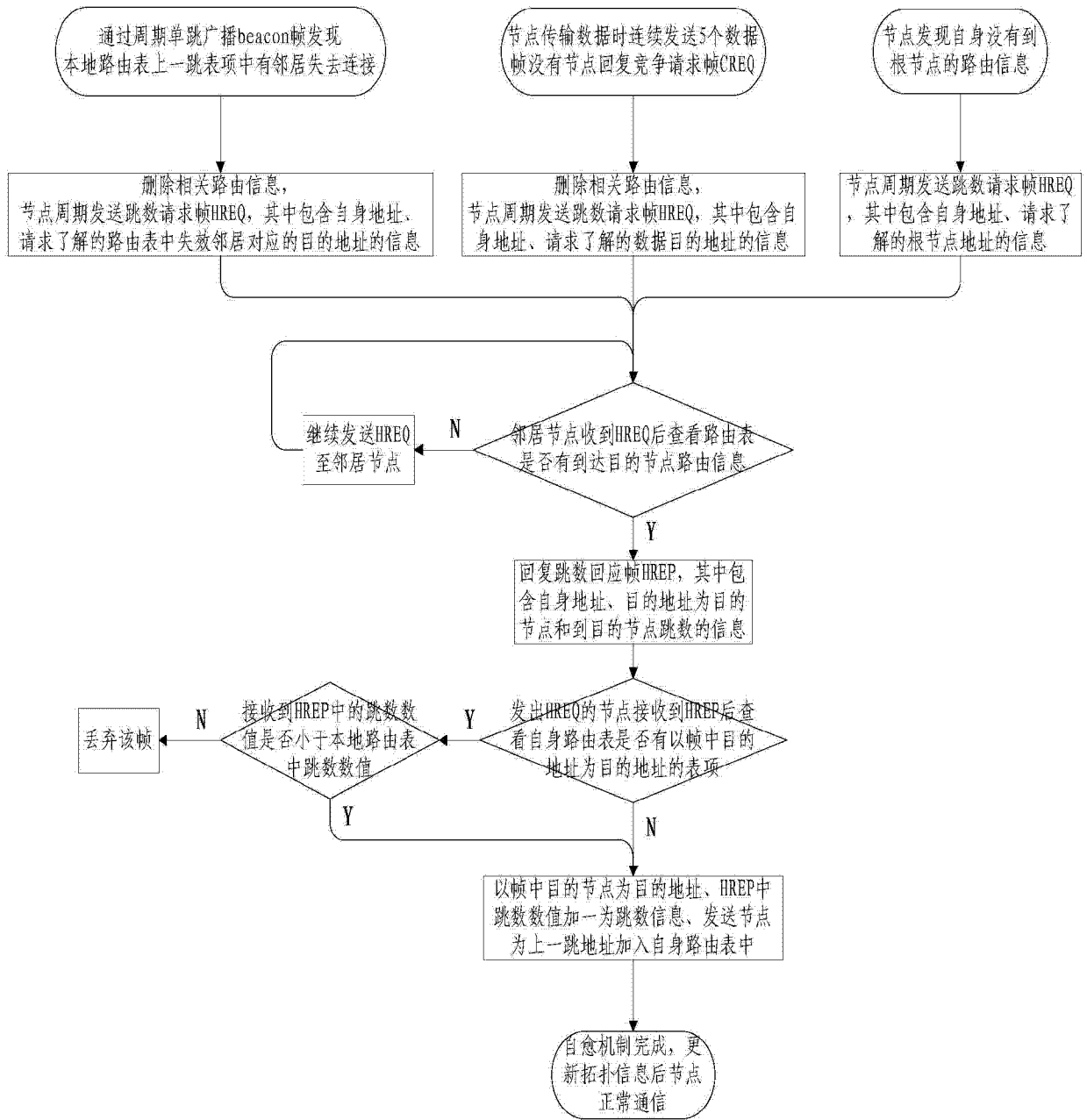


图 1

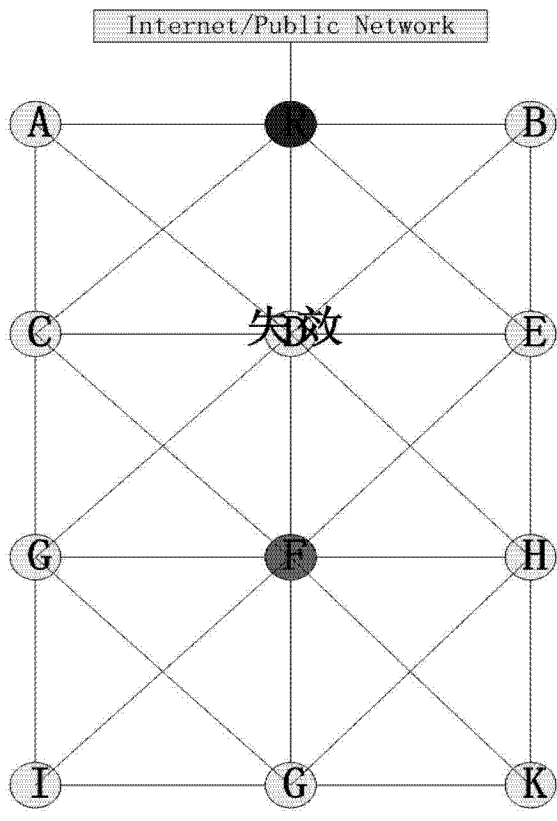


图 2

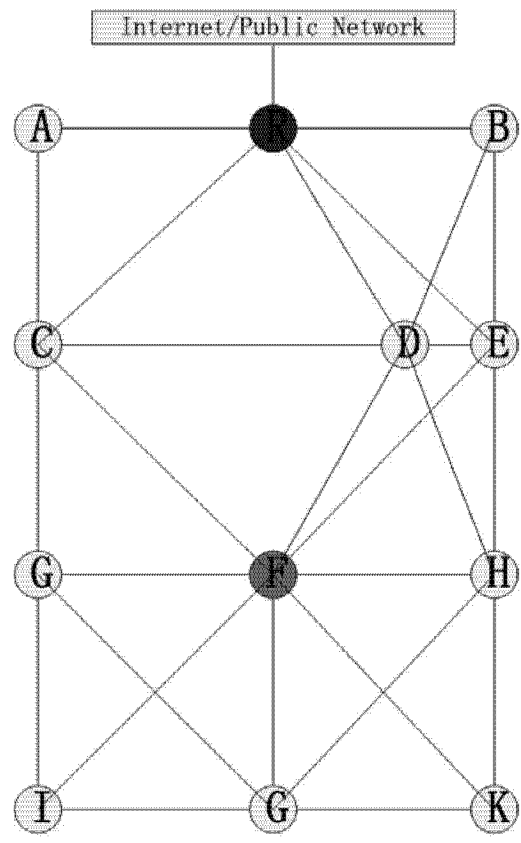


图 3