



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103414786 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 16

(21) 申请号 201310380204. 8

(22) 申请日 2013. 08. 28

(73) 专利权人 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 罗俊海 蔡济杨 倪静 李涛

(74) 专利代理机构 成都宏顺专利代理事务所

(普通合伙) 51227

代理人 周永宏

(51) Int. Cl.

H04L 29/08(2006. 01)

H04W 84/18(2009. 01)

(56) 对比文件

CN 101764857 A, 2010. 06. 30,

CN 103218776 A, 2013. 07. 24,

审查员 全红红

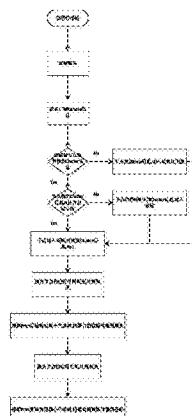
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于最小生成树的数据聚合方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于最小生成树的数据聚合方法,其主要步骤包括:部署无线传感器;选择簇头;分簇;簇内节点构成简单图模型;簇内权值的计算;簇内节点构建最小生成树;簇内数据聚合;簇头权值的计算;簇头节点构成简单图模型;簇头节点构建最小生成树;簇头数据聚合;均衡节点能耗;簇的维持。本发明通过合理布置传感器节点和对节点进行分簇,使传感器节点的能耗均匀分布,延长了整个无线传感器网络的生命周期,使得所有节点的能量能够得到高效的利用。



1. 一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,具体包括:

步骤 1、部署无线传感器:在检测区域内,将无线传感器部署在检测区域;

步骤 2、选择簇头:将整个检测区域按网格进行均匀划分,使每个网格的大小形状相同,在每个网格中选择位置距离网格中心最近的传感器节点作为簇头;

步骤 3、分簇:簇头选择完成后,簇头广播 Cluster {ID, N, Hop} 信息,其中, ID 为节点的编号,N 为 Cluster 信息转发的跳数,且 N 的初值为 0, Hop 为系统设定的跳数;处于簇头附近的邻居节点收到 Cluster 信息后 N 增加 1 再转发这一信息,直到 N = Hop 就不再转发 Cluster 信息;簇头的邻居节点转发 Cluster 信息后再向将 Cluster 信息转发给自己的邻居节点,然后发送一个反馈信息 Join {ID, N, E_{ir}, d_{ij}, k_i} 给将 Cluster 信息转发给自己的节点,最终将 Join 信息转发给簇头表示自己加入该簇,其中,E_{ir} 表示该节点此时的剩余能量,d_{ij} 表示两节点间的距离,k_i 表示该节点能够监测得到的数据包的大小;如果一个节点收到了多个 Cluster 信息,节点就选择 N 值小的加入该簇,若 N 相等节点就随便选择一个簇并加入到该簇;如果节点没有收到 Cluster 信息,则节点发送 Help 信息,加入离自己最近的一个簇;

步骤 4、簇内节点构成简单图模型:通过步骤 3 得到簇内所有节点在簇内所处的位置,将每个节点当做图的一个顶点,每两个相邻节点间用边相连接;

步骤 5、簇内权值的计算:通过所述步骤 3,簇头获取簇内成员节点的 E_{ir}、d_{ij} 和 k_i,计算相邻两节点 i, j 之间的权值,权值的计算公式为:

$$W_{ij} = a_1(E_{ir} + E_{jr}) + a_2d_{ij} + a_3(k_i + k_j) \quad (1)$$

其中,E_{jr}、k_j 分别表示节点 j 的剩余能量和节点 j 能够监测得的数据的大小,且 a₁+a₂+a₃=1;

步骤 6、簇内节点构建最小生成树:根据所述步骤 4 得到的簇内节点构成的简单图模型和所述步骤 5 得到的权值,构建簇内节点最小生成树;

步骤 7、簇内数据聚合:簇内节点的最小生成树构造完成后,传感器节点开始正常工作,从最低一级传感器节点开始,将收集的数据传给父节点,父节点将自己收集的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己的父节点,最终将聚合数据传输给簇头;

步骤 8、簇头权值的计算:通过步骤 3 分簇完成后,簇头获得整个簇内节点的位置、节点剩余能量和传感器节点可能监测得到数据的大小信息,其中,E_{cir}=E_{1r}+E_{2r}+...+E_{nr} 表示整个簇的剩余能量值,K_{ci} 表示簇头聚合的数据大小,D_{ij} 表示相邻簇头间的距离,对相邻两簇头 i, j 之间权值进行计算,权值定义为:

$$W_{ij} = b_1(E_{cir} + E_{cjr}) + b_2D_{ij} + b_3(K_{ci} + K_{cj}) \quad (2)$$

其中,E_{cjr} 和 K_{cj} 分别表示簇头 j 的剩余能量值和簇头 j 聚合的数据大小,且 b₁+b₂+b₃=1;

步骤 9、簇头节点构成简单图模型:将每个簇头当做图的一个顶点,相邻簇头之间用边相连接,每条边的权值由公式(2)计算得到;

步骤 10、簇头节点构建最小生成树:由步骤 8 给出的簇头节点构成的简单图模型后,构建簇头节点最小生成树;

步骤 11、簇头数据聚合:簇头节点的最小生成树构造完成后,从最低一级簇头开始,将收集的数据传给父节点,父节点将自己聚合的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己

的父节点,最终将聚合数据传输给基站;

步骤 12、均衡节点能耗:根据预先设定的轮数阈值 M,每进行 M 轮后,重新选择簇头,然后重新进行步骤 2-11,其中,节点的能耗可由 LEACH 能耗模型进行估算;

步骤 13、簇的维持:簇内节点死亡后,就可能会造成簇内的最小生成树路径失效,所以在节点即将死亡前,节点发送一个 Die 信息给簇头,表示自己即将死亡,簇头接收这一信息后,簇头就开始对簇内节点重新构建最小生成树。

2. 如权利要求 1 所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,在所述步骤 1 中,所有无线传感器同构,即具有相同的初始能量、感知半径、通信半径。

3. 如权利要求 1 所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,在所述步骤 3 中,得到每个节点初始的剩余能量 E_{ir} 后,通过 LEACH 能耗模型来估算节点能量的剩余值,在进行了 M 轮后,节点的剩余能量可以估算为:

$E = E_{ir} - M(E_{tx} + E_{rx}) = E_{ir} - M(2kE_{elec} + k \epsilon_{free space amp} d^2)$, 所述 E_{ir} 即为节点反馈给簇头的剩余能量, E_{elec} 表示无线收发电路能耗, $\epsilon_{free space amp}$ 表示自由空间模型的放大器能耗, d 是通信节点相隔距离, k 为要发送或接收的数据位数。

4. 如权利要求 3 所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,所述 LEACH 能耗模型是 LEACH 协议提出的传感器在发送和接收数据时能量消耗的消耗模型,其具体表达形式为:

$$E_{tx}(k, d) = E_{tx-elec}(k) + E_{tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{free-space-amp}d^2, & d \leq d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{two-way-amp}d^2, & d \geq d_0 \end{cases};$$

$$E_{rx}(k) = E_{re-elec}(k) = kE_{elec};$$

其中, $\epsilon_{two way amp}$ 表示多路消耗模型的放大器能耗, d_0 是常数, $E_{tx}(k, d)$ 和 $E_{rx}(k)$ 分别表示传感器发送和接收数据时的能耗;通过 LEACH 能耗模型即可得到所述节点的剩余能量。

5. 如权利要求 1 所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,所述步骤 6 和所述步骤 10 中,根据 Prim 最小生成树算法的定义来构建簇内节点最小生成树和簇头节点最小生成树。

6. 如权利要求 5 所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,根据 Prim 最小生成树算法的定义来构建最小生成树的具体过程为: $V = \{V_1, V_2, \dots, V_7\}$ 代表簇内的节点, V_1 表示簇头,边上的值表示权值;

从 V_1 开始,则 $U = \{V_1\}$, 选择权值最小的边,即 (V_1, V_7) ;

$U = \{V_1, V_7\}$, 继续选择权值最小的边,即 (V_7, V_2) ;

$U = \{V_1, V_7, V_2\}$, 继续选择权值最小的边,即 (V_7, V_3) ;

$U = \{V_1, V_7, V_2, V_3\}$, 继续选择权值最小的边,即 (V_3, V_4) ;

$U = \{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4\}$, 继续选择权值最小的边,即 (V_4, V_5) ;

$U = \{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 继续选择权值最小的边,即 (V_1, V_6) ;

如果 U 中有权值相同的边,就选择节点不在 U 中的边。

7. 如权利要求 1 至 6 任一项权利要求所述的一种基于最小生成树的数据聚合方法,其特征在于,在所述步骤 11 中,通过前面的步骤簇内和簇头的最小生成树都构建完成后,整个无线传感网络就开始正常工作,直到运行了 M 轮以后或者有节点死亡才对簇内或者簇头

的最小生成树进行重构。

一种基于最小生成树的数据聚合方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线传感器网络技术领域，涉及一种无线传感器间数据聚合方法，具体是一种基于最小生成树的数据聚合方法的设计。

背景技术

[0002] 无线传感器网络(WSN)是由部署在监测区域内的大量传感器节点组成，通过无线通信形成一个多跳的自组织的网络系统，它通过节点中内置的传感器测量周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波等信号，从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、速度和方向等物质现象，进行实时数据采集、监督控制和信息共享与存储管理等功能。传感器网络节点的能量十分有限，一旦能量耗尽将无法实时补充，并且有研究表明，数据传输阶段消耗的能量所占比重较大，因此在收集信息的过程中采用单个节点单独传送数据到汇聚节点的方法是不合适的，会浪费通信带宽和能量并降低信息收集的效率。

[0003] 数据聚合技术是解决这一问题的有效途径，由于大量随机部署的传感器节点所感知的数据具有较强的相关性，通过数据聚合，降低数据冗余信息，减少数据包的传输，提高能量的利用率。数据聚合利用的是节点的计算资源和存储资源，只要将增加计算量的能量消耗控制在小于降低通信量的能量消耗，就可以达到减少节点能量损耗、减少网络通信带宽，延长网络生命周期的目的。但是，数据聚合过程中，聚合节点要等待所有源节点将源数据传输到聚合节点后再进行数据聚合，等待时间必然会造成很大的网络延迟。

[0004] 现有的数据聚合方式一般有以下几种：

[0005] 1、LEACH :LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 是一个典型的分簇协议，通过等概率地随机循环选择簇头，将整个网络的能耗负载均衡地分配到每个传感器节点，从而达到降低网络能耗，延长网络生命周期的目的。但是由于 LEACH 假定所有节点能够与汇聚节点直接通信，并且每个节点都具备支持不同 MAC 协议的计算能力，因此该协议不适合在大规模的无线传感器网络中应用。协议没有说明簇头节点的数目怎么分布才能及于整个网络，因此，很可能出现被选的簇头节点集中在网络某一区域的现象，这样就会使得一些节点的周围没有任何簇头节点，从而导致网络能耗分布不均匀；

[0006] 2、PEGASIS:PEGASIS(Power-Efficient GAthering in Sensor Information Systems) 中的簇是一条基于地理位置的链，协议根据节点的地理位置形成一条相邻节点之间距离最短的链。PEGASIS 中通信只限于相邻节点之间，节点以最小功率发送数据，每轮只随机选择一个簇首与基站通信，减少了数据通信量。PEGASIS 算法建立在网络全局信息能够被所有节点知道的基础上，在实际应用中存在以下问题：由于节点能力有限，单个节点很难保存网络；当 节点意外死亡时，需要重新广播全局信息；容错性不佳，若 PEGASIS 链上的任一节点意外死亡则从链端到该节点的所有数据将丢失。

[0007] 3、Flooding :Flooding 协议中，节点产生或收到数据后向所有邻节点广播，数据包直到过期或到达目的地才停止传播。但该协议具有严重缺陷：(1)、内爆：节点几乎同时从邻节点收到多份相同数据；(2)、交叠：节点先后收到监控同一区域的多个节点发送的几

乎相同的数据；(3)、资源利用盲目：节点不考虑自身资源限制，在任何情况下都转发数据。
[0008] 这些协议在簇头的选择或者簇内的处理上都存在一定的问题，这就使得传感器的能耗不能得到很好的控制。

发明内容

[0009] 本发明所要解决的技术问题是提供一种基于最小生成树的数据聚合方法，该方法能够使传感器节点的能耗均匀分布，延长传感器网络的生存周期。

[0010] 本发明解决其技术问题采用的技术方案是：一种基于最小生成树的数据聚合方法，其特征在于，具体包括：

[0011] 步骤1、部署无线传感器：在检测区域内，将无线传感器部署在检测区域；

[0012] 步骤2、选择簇头：将整个检测区域按网格进行均匀划分，使每个网格的大小形状相同，在每个网格中选择位置距离网格中心最近的传感器节点作为簇头；

[0013] 步骤3、分簇：簇头选择完成后，簇头广播 Cluster {ID, N, Hop} 信息，其中，ID 为节点的编号，N 为 Cluster 信息转发的跳数，且 N 的初值为 0，Hop 为系统设定的跳数；处于簇头附近的邻居节点收到 Cluster 信息后 N 增加 1 再转发这一信息，直到 N=Hop 就不再转发 Cluster 信息；簇头的邻居节点转发 Cluster 信息后再向将 Cluster 信息转发给自己的邻居节点，然后发送一个反馈信息 Join {ID, N, E_{ir}, d_{ij}, k_i} 给将 Cluster 信息转发给自己的节点，最终将 Join 信息转发给簇头表示自己加入该簇，其中，E_{ir} 表示该节点此时的剩余能量，d_{ij} 表示两节点间的距离，k_i 表示该节点能够监测得到的数据包的大小；如果一个节点收到了多个 Cluster 信息，节点就选择 N 值小的加入该簇，若 N 相等节点就随便选择一个簇并加入到该簇；如果节点没有收到 Cluster 信息，则节点发送 Help 信息，加入离自己最近的一个簇；

[0014] 步骤4、簇内节点构成简单图模型：通过步骤3得到簇内所有节点在簇内所处的位置，将每个节点当做图的一个顶点，每两个相邻节点间用边相连接；

[0015] 步骤5、簇内权值的计算：通过所述步骤3，簇头获取簇内成员节点的 E_{ir}、d_{ij} 和 k_i，计算相邻两节点 i, j 之间的权值，权值的计算公式为：

$$W_{ij} = a_1(E_{ir} + E_{jr}) + a_2d_{ij} + a_3(k_i + k_j) \quad (1)$$

[0017] 其中，E_{jr}、k_j 分别表示节点 j 的剩余能量和节点 j 能够监测得的数据的大小，且 a₁+a₂+a₃=1，这样系统就可以根据系统对 E_{ir}、d_{ij} 或 k_i 所要求的比重不同调整 a_i 的值而得到满足不同需要的权值；

[0018] 步骤6、簇内节点构建最小生成树：根据所述步骤4得到的簇内节点构成的简单图模型和所述步骤5得到的权值，根据 Prim 最小生成树算法的定义构建簇内节点最小生成树；

[0019] 步骤7、簇内数据聚合：簇内节点的最小生成树构造完成后，传感器节点开始正常工作，从最低一级传感器节点开始，将收集的数据传给父节点，父节点将自己收集的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己的父节点，最终将聚合数据传输给簇头；

[0020] 步骤8、簇头权值的计算：通过步骤3分簇完成后，簇头获得整个簇内节点的位置、节点剩余能量和传感器节点可能监测得到数据的大小信息，其中 E_{cir}=E_{1r}+E_{2r}+…+E_{ir} 表示整个簇的剩余能量值，K_{ci} 表示簇头聚合的数据大小，D_{ij} 表示相邻簇头间的距离，对相邻两簇

头 i, j 之间权值进行计算, 权值的公式(2) 定义为 :

$$[0021] \quad W_{ij} = b_1(E_{cir} + E_{cjr}) + b_2D_{ij} + b_3(K_{ci} + K_{cj}) \quad (2)$$

[0022] 其中, E_{cjr} 和 K_{cj} 分别表示簇头 j 的剩余能量值和簇头 j 聚合的数据大小, 且 $b_1 + b_2 + b_3 = 1$, 这样系统就可以根据系统对 E_{cir} 、 D_{ij} 或 K_{ci} 要求的比重不同调整 b_i 的值而得到满足不同需要的权值;

[0023] 步骤 9、簇头节点构成简单图模型 : 将每个簇头当做图的一个顶点, 相邻簇头之间用边相连接, 每条边的权值由步骤 8 的公式(2) 计算得到;

[0024] 步骤 10、簇头节点构建最小生成树 : 由步骤 8 给出的簇头节点构成的简单图模型后, 根据 Prim 最小生成树算法的定义来构建最小生成树;

[0025] 步骤 11、簇头数据聚合 : 簇头节点的最小生成树构造完成后, 从最低一级簇头开始, 将收集的数据传给父节点, 父节点将自己聚合的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己的父节点, 最终将聚合数据传输给基站;

[0026] 步骤 12、均衡节点能耗 : 每进行 M 轮以后, 就重新选择簇头, 然后重新进行前面的步骤, 其中, 节点的能耗可由 LEACH 能耗模型进行估算;

[0027] 步骤 13、簇的维持 : 簇内节点死亡后, 就可能会造成簇内的最小生成树路径失效, 所以在节点即将死亡前, 节点发送一个 Die 信息给簇头, 表示自己即将死亡, 簇头接收这一信息 后, 簇头就开始对簇内节点重新构建最小生成树。

[0028] 进一步的, 在所述步骤 1 中, 所有无线传感器同构, 即具有相同的初始能量、感知半径、通信半径。

[0029] 进一步的, 在所述步骤 3 中, 得到每个节点初始的剩余能量 E_{ir} 后, 通过 LEACH 能耗模型来估算节点能量的剩余值, 在进行了 M 轮后, 节点的剩余能量可以估算为 :

[0030] $E = E_{ir} - M(E_{tx} + E_{rx}) = E_{ir} - M(2kE_{elec} + k\varepsilon_{free\ space\ amp}d^2)$, 所述 E_{ir} 即为节点反馈给簇头的剩余能量。

[0031] 更进一步的, 所述 LEACH 能耗模型是 LEACH 协议提出的传感器在发送和接收数据时能量消耗的消耗模型, 其具体表达形式为 :

$$[0032] \quad E_{tx}(k, d) = E_{tx-elec}(k) + E_{tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\varepsilon_{free-space-amp}d^2, & d \leq d_0 \\ kE_{elec} + k\varepsilon_{two-way-amp}d^2, & d \geq d_0 \end{cases};$$

$$[0033] \quad E_{rx}(k) = E_{re_elec}(k) = kE_{elec};$$

[0034] 其中, E_{elec} 表示无线收发电路能耗, $\varepsilon_{free\ space\ amp}$ 和 $\varepsilon_{two\ way\ amp}$ 分别表示自由空间模型和多路消耗模型的放大器能耗, d_0 是常数, d 是通信节点相隔距离, k 为要发送或接收的数据位数, $E_{tx}(k, d)$ 和 $E_{rx}(k)$ 分别表示传感器发送和接收数据时的能耗 ; 通过 LEACH 能耗模型即可得到所述节点的剩余能量。

[0035] 进一步的, 所述步骤 6 和所述步骤 10 中, 根据 Prim 最小生成树算法的定义来构建最小生成树的具体过程为 : $V = \{V_1, V_2, \dots, V_7\}$ 代表簇内的节点, V_1 表示簇头, 边上的值表示权值 ;

[0036] 从 V_1 开始, 则 $U = \{V_1\}$, 选择权值最小的边, 即 (V_1, V_7) ;

[0037] $U = \{V_1, V_7\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_7, V_2) ;

[0038] $U = \{V_1, V_7, V_2\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_7, V_3) ;

- [0039] $U = \{V_1, V_7, V_2, V_3\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_3, V_4) ;
- [0040] $U = \{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_4, V_5) ;
- [0041] $U = \{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_1, V_6) ;
- [0042] 如果 U 中有权值相同的边, 就选择节点不在 U 中的边。
- [0043] 进一步的, 在所述步骤 11 中, 通过前面的步骤簇内和簇头的最小生成树都构建完成后, 整个无线传感网络就开始正常工作, 直到运行了 M 轮以后或者有节点死亡才对簇内或者簇头 的最小生成树进行重构。
- [0044] 本发明的有益效果是 : 本发明一种基于最小生成树的数据聚合方法, 通过合理布置传感器节点和对节点进行分簇, 使传感器节点的能耗均匀分布, 延长了整个无线传感器网络的生命周期, 使得所有节点的能量能够得到高效的利用。

附图说明

- [0045] 图 1 为本发明实施例的一种基于最小生成树的数据聚合方法的流程框图 ;
- [0046] 图 2 为本发明实施例的一种基于最小生成树的数据聚合方法中簇头选择示意图 ;
- [0047] 图 3 为本发明实施例的一种基于最小生成树的数据聚合方法中 PRIM 的附图说明。

具体实施方式

- [0048] 下面结合附图对本发明的实施例作进一步的说明。
- [0049] 如图 1 所示为本发明实施例的一种基于最小生成树的数据聚合方法的流程框图, 具体包括 :
- [0050] 步骤 1、部署无线传感器 : 在面积为 $S=W \times L$ 的检测区域内, 将无线传感器部署在检测区域, 基站部署在检测区域外, 所述基站用于接收和处理整个无线传感网络收集到的数据信息 ;
- [0051] 其中, 在整个检测区域内所有无线传感器的构成相同, 即具有相同的初始能量、感知半径、通信半径等 ; 在二维平面上, 传感器节点的覆盖范围是一个以节点为圆心, 半径为 R 的圆形区域, 该圆形区域即为传感器节点的感知半径, 所述感知半径 R 由节点感知单元的物理特性决定 ; 所述通信半径为节点可以发送消息的最大范围构成的圆的区域, 在本发明实施方案中要求通信半径至少为感知半径的 2 倍。
- [0052] 步骤 2、选择簇头 : 将整个检测区域按网格进行均匀划分, 如图 2 所示为对检测区域内的网格进行划分、选择簇头的示意图, 划分原则是使每个网格的大小形状相同, 在每个网格中选择位置距离网格中心最近的传感器节点作为簇头。
- [0053] 步骤 3、分簇 : 簇头选择完成后, 簇头广播 Cluster {ID, N, Hop} 信息, 其中, ID 为节点的编号, N 为 Cluster 信息转发的跳数, 且 N 的初值为 0, Hop 为系统设定的跳数 ; 处于簇头附近的邻居节点收到 Cluster 信息后 N 增加 1 再转发这一信息, 直到 $N=Hop$ 就不再转发 Cluster 信息 ; 簇头的邻居节点转发 Cluster 信息后再向将 Cluster 信息转发给自己的邻居节点, 然后发送一个反馈信息 Join {ID, N, E_{ir}, d_{ij}, k_i} 给将 Cluster 信息转发给自己的节点, 最终将 Join 信息转发给簇头表示自己加入该簇, 其中, E_{ir} 表示该节点此时的剩余能量, d_{ij} 表示两节点间的距离, k_i 表示该节点能够监测得到的数据包的大小 ; 如果一个节点收到了多个 Cluster 信息, 节点就选择 N 值小的加入该簇, 若 N 相等节点就随便选择一个簇并加

入到该簇；如果节点没有收到 Cluster 信息，则节点发送 Help 信息，加入离自己最近的一个簇；

[0054] 其中，得到每个节点初始的剩余能量 E_{ir} 后，就可以通过 LEACH 能耗模型来估算节点能量的剩余值，例如进行了 M 轮后，所述一轮为传感器节点得到监测数据然后将数据逐层上传，最终将数据传输给基站的这一过程为一轮，节点的剩余能量可以估算为：

[0055] $E = E_{ir} - M(E_{tx} + E_{rx}) = E_{ir} - M(2kE_{elec} + k \epsilon_{free_space_amp} d^2)$ ，所述 E_{ir} 即为节点反馈给簇头的剩余能量。所述 LEACH 能耗模型是 LEACH 协议提出的传感器在发送和接收数据时能量消耗的消耗模型，其具体表达形式为：

$$[0056] E_{tx}(k, d) = E_{tx-elec}(k) + E_{tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{free-space-amp}d^2, & d \leq d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{two-way-amp}d^2, & d \geq d_0 \end{cases};$$

[0057] $E_{rx}(k) = E_{re_elec}(k) = kE_{elec}$ ；

[0058] 其中， E_{elec} 表示无线收发电路能耗， $\epsilon_{free_space_amp}$ 和 $\epsilon_{two_way_amp}$ 分别表示自由空间模型和多路消耗模型的放大器能耗， d_0 是常数， d 是通信节点相隔距离， k 为要发送或接收的数据位数， $E_{tx}(k, d)$ 和 $E_{rx}(k)$ 分别表示传感器发送和接收数据时的能耗；通过 LEACH 能耗模型即可得到所述节点的剩余能量。

[0059] 步骤 4、簇内节点构成简单图模型：通过步骤 3 得到簇内所有节点在簇内所处的位置，将每个节点当做图的一个顶点，每两个相邻节点间用边相连接。

[0060] 步骤 5、簇内权值的计算：通过所述步骤 3，簇头获取簇内成员节点的 E_{ir} 、 d_{ij} 和 k_i ，计算相邻两节点 i, j 之间的权值，权值的计算公式为：

$$[0061] W_{ij} = a_1(E_{ir} + E_{jr}) + a_2d_{ij} + a_3(k_i + k_j) \quad (1)$$

[0062] 其中， E_{jr} 、 k_j 分别表示节点 j 的剩余能量和节点 j 能够监测得的数据的大小，且 $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ ，这样系统就可以根据系统对 E_{ir} 、 d_{ij} 或 k_i 所要求的比重不同调整 a_i 的值而得到满足不同需要的权值。

[0063] 步骤 6、簇内节点构建最小生成树：根据所述步骤 4 得到的簇内节点构成的简单图模型和所述步骤 5 得到的权值，根据 Prim 最小生成树算法的定义构建簇内节点最小生成树；

[0064] 其中，所述 Prim 最小生成树算法的定义为：假设 E 是连通图 $G=(V, E)$ 上最小生成树中边的集合，其中 V 为传感器中的节点，

[0065] (1)、初始化： $U=\{u_0\}$ ($u_0 \in V$)，其中 u_0 表示开始时选择的顶点，U 是他们的集合， $E=\{\Phi\}$ ，其中 E 表示选择的边的集合；

[0066] (2)、对于任意的 $u \in U$, $v \in V-U$ 所构成的边 $(u, v) \in E$ ，寻找一条权值最小的边 (u_0, v_0) ，并将其加到 E，同时将 v_0 并入 U；

[0067] (3)、假如 $U=V$ ，则转 (4)，否则转到 (2)；

[0068] (4)、因此，在生成树 $T=(V, E)$ 中，一定具有 $n-1$ 条边构成边的集合 E，则 T 为连通图 G 的最小生成树。

[0069] 如图 3 所示为本发明一种基于最小生成树的数据聚合方法中 PRIM 的附图说明，在本发明申请方案中根据 PRIM 算法的定义，采用的具体算法过程为： $V=\{V_1, V_2, \dots, V_7\}$ 代表簇内的节点， V_1 表示簇头，边上的值表示权值；

- [0070] 从 V_1 开始, 则 $U=\{V_1\}$, 选择权值最小的边, 即 (V_1, V_7) ;
- [0071] $U=\{V_1, V_7\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_7, V_2) ;
- [0072] $U=\{V_1, V_7, V_2\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_7, V_3) ;
- [0073] $U=\{V_1, V_7, V_2, V_3\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_3, V_4) ;
- [0074] $U=\{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_4, V_5) ;
- [0075] $U=\{V_1, V_7, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 继续选择权值最小的边, 即 (V_1, V_6) ;
- [0076] 如果 U 中有权值相同的边, 就选择节点不在 U 中的边, 其数据的流向如图 3 中 h 所示。
- [0077] 步骤 7、簇内数据聚合 : 簇内节点的最小生成树构造完成后, 传感器节点开始正常工作, 从最低一级传感器节点开始, 将收集的数据传给父节点, 父节点将自己收集的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己的父节点, 最终将聚合数据传输给簇头 ;
- [0078] 其中, 所述父节点为在最小生成树中按照数据的传输方向汇聚数据的节点称为父节点, 将数据传给父节点的节点为子节点。
- [0079] 步骤 8、簇头权值的计算 : 通过步骤 3 分簇完成后, 簇头获得整个簇内节点的位置、节点剩余能量和传感器节点可能监测得到数据的大小信息, 其中 $E_{cir}=E_{1r}+E_{2r}+\dots+E_{ir}$ 表示整个簇的剩余能量值, K_{ci} 表示簇头聚合的数据大小, D_{ij} 表示相邻簇头间的距离, 对相邻两簇头 i, j 之间权值进行计算, 权值的公式(2) 定义为 :
- $$W_{ij}=b_1(E_{cir}+E_{ejr})+b_2D_{ij}+b_3(K_{ci}+K_{ej}) \quad (2)$$
- [0080] 其中, E_{ejr} 和 K_{ej} 分别表示簇头 j 的剩余能量值和簇头 j 聚合的数据大小, 且 $b_1+b_2+b_3=1$, 这样系统就可以根据系统对 E_{cir}, D_{ij} 或 K_{ci} 要求的比重不同调整 b_i 的值而得到满足不同需要的权值 ;
- [0081] 步骤 9、簇头节点构成简单图模型 : 将每个簇头当做图的一个顶点, 相邻簇头之间用边相连接, 每条边的权值由所述步骤 8 中的权值计算公式(2) 得到。
- [0082] 当然, 所述步骤 8 和步骤 9 的顺序也可以进行交换, 即先在簇头节点之间构成简单图模型, 在根据所述步骤 3 中得到的簇头节点信息, 计算相邻两簇头之间的权值
- [0083] 步骤 10、簇头节点构建最小生成树 : 由步骤 8 给出的簇头节点构成的简单图模型后, 根据 Prim 最小生成树算法的定义来构建最小生成树 ;
- [0084] 其中 Prim 最小生成树算法的定义在所述步骤 6 中已经给出, 在此不再累述。
- [0085] 步骤 11、簇头数据聚合 : 簇头节点的最小生成树构造完成后, 从最低一级簇头开始, 将收集的数据传给父节点, 父节点将自己聚合的数据和子节点传来的数据聚合后再传给自己的父节点, 最终将聚合数据传输给基站 ;
- [0086] 其中, 通过前面所述步骤 6 和所述步骤 10 中所述的簇内和簇头的最小生成树都构建完成后, 整个无线传感网络就开始正常工作, 直到运行了 M 轮以后或者有节点死亡才对簇内或者簇头的最小生成树进行重构, 所述节点死亡为节点电池能量耗尽, 节点不再进行工作。
- [0087] 步骤 12、均衡节点能耗 : 为了平衡节点能量的消耗, 防止节点过快死亡, 维持簇正常运行, 每进行 M 轮以后, 就重新选择簇头, 然后重新进行前面的步骤, 其中, 节点的能耗可由 LEACH 能耗模型进行估算。
- [0088] 步骤 13、簇的维持 : 簇内节点死亡后, 就可能会造成簇内的最小生成树路径失效,

所以在节点即将死亡前,节点发送一个 Die 信息给簇头,表示自己即将死亡,簇头接收这一信息后,簇头就开始对簇内节点重新构建最小生成树。

[0090] 采用本发明的方法,利用 NS-2 仿真器对本发明一种基于最小生成树的数据聚合方法用于无线传感器网络的结果进行仿真。随机选取 100 个传感器节点在给定实验区域中,基站与最近节点间距离不小于 75 米,信道带宽设置为 1M BPS,每个数据包的平均发送和接受延迟均为 25S,平均数据长度为 500BYTES,发送机发送信息和接受机接受信息的能量消耗均为 50NJ/BIT,每传输 1BIT 信息通过单位距离发送端放大器需消耗的能量为 100PJ/BIT/M²,以此模型进行仿真实验来评估该算法的效果,实验表明该算法能使传感器节点的能耗均匀分布,最大的延长整个网络的生存周期,最终使得节点能量得到高效利用。

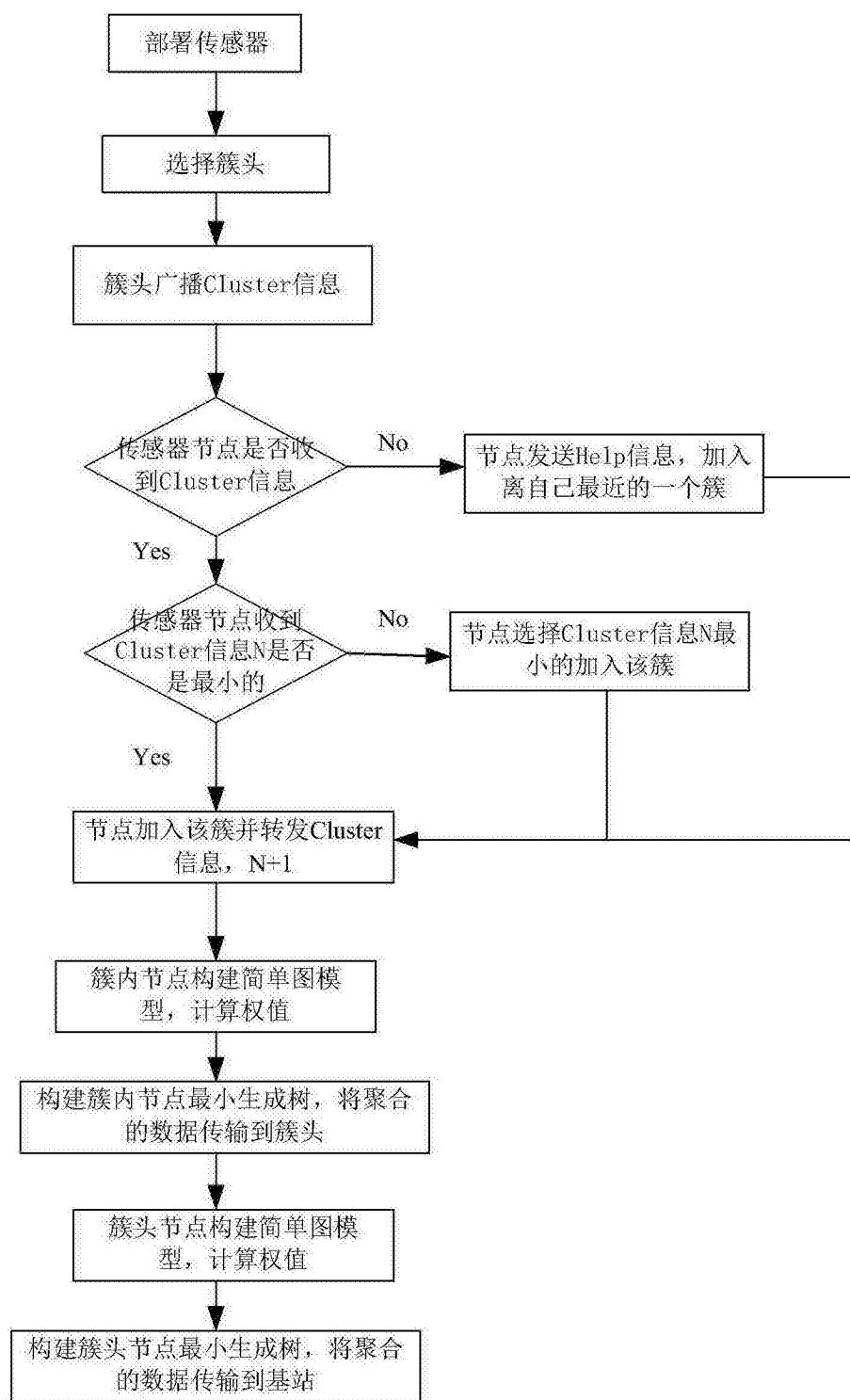


图 1

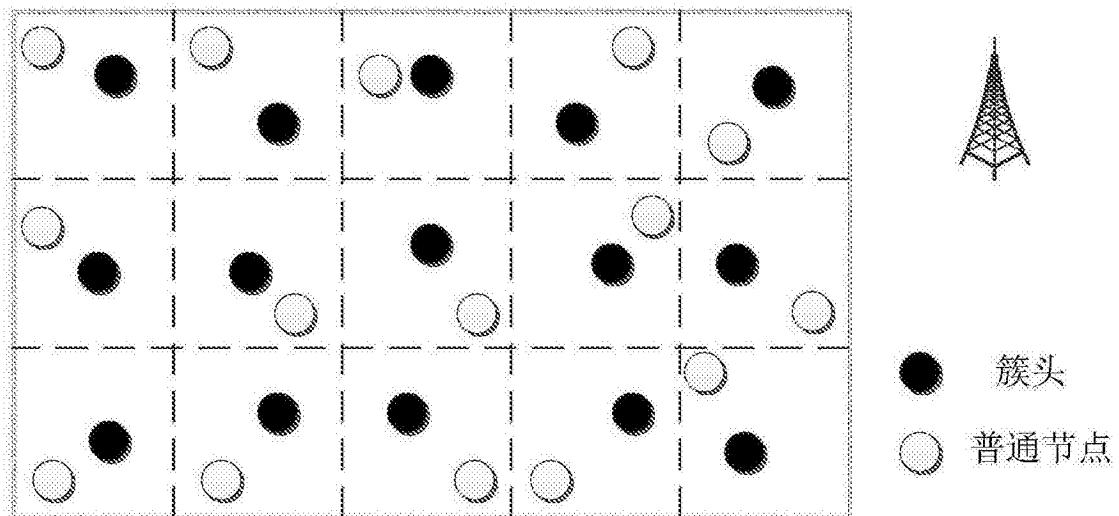


图 2

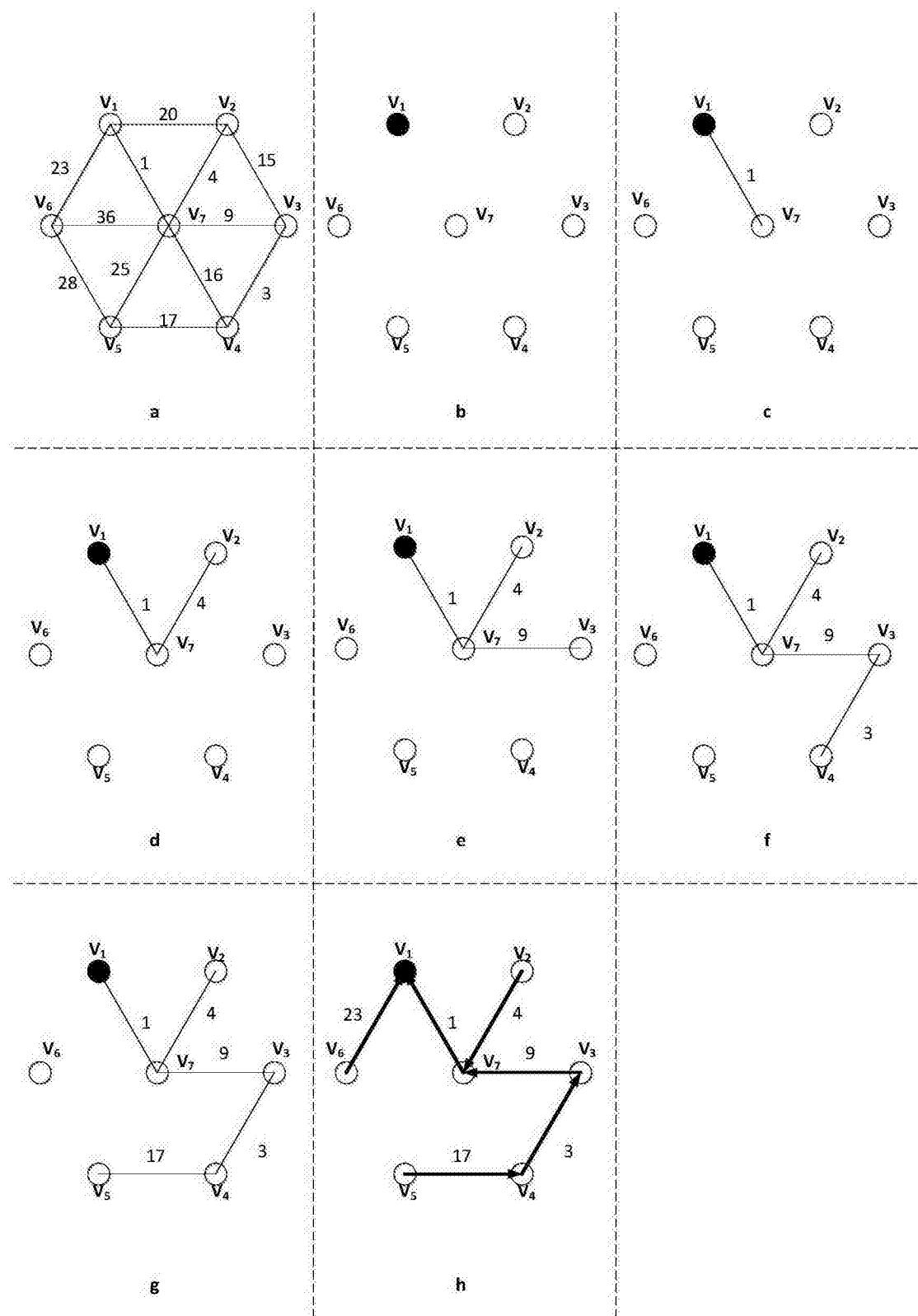


图 3