

一种基于虚拟网格位置的分簇算法^①

王行甫, 侯成龙, 熊 焰

(中国科学技术大学 计算机学院, 合肥 230027)

摘要: 为了延长无线传感器网络生命周期, 提出一种基于虚拟网格的分簇路由算法 RPLG. 该算法将监测区域划分为若干虚拟网格, 同一网格内节点自组织成簇. 根据节点所在网格位置和剩余能量启动计时器选取本地簇首, 且簇内成员可以根据局部的信息调整簇的大小, 达到节省能量的目的. 仿真实验和分析表明: 该协议能均衡网络能量, 延长网络的生存时间.

关键词: 无线传感器网络; 网格; 簇头; 生存时间

A Routing Protocol Based on the Location of Grid (RPLG)

WANG Xing-Fu, HOU Cheng-Long, XIONG Yan

(School of Computer Science, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In order to extend the network lifetime in wireless sensor network, A Routing Protocol Based On The Location Of Grid In WSN(RPLG) was presented. Whole network is divided into some virtual grids and sensor nodes in each grid form a cluster respectively. The cluster head was chosen by the node's location in grid and residual energy. In order to save network energy, cluster members can adjust cluster size according to local information. Simulation results show the proposed routing protocol effectively balances the energy consumption for sensor nodes in wireless sensor networks and significantly prolongs wireless sensor networks lifetime.

Key words: WSN; grid; cluster head; lifetime

1 引言

由于无线传感器网络的能量、计算能力和带宽等资源受限, 使得无线传感器网络路由成为一个非常具有挑战性的问题. 传统的分簇路由协议 LEACH 存在若干问题: 1)簇头是随机产生的, 且没有考虑节点的剩余能量; 2)LEACH 协议无法保证簇头节点均匀分布, 将造成某些区域簇头密度过大; 3)簇头到基站(base station, BS)采用单跳通信模式. 根据空间信道模型, 随着传输距离的增加, 节点传输数据所需能量就越大. 因此, 对于离基站较远的簇头节点, 死亡速度会大大增加. 在 LEACH 协议的基础上, 国内外研究学者提出了一些改进算法, 例如: HEED(hybrid energy-efficient distributed)分簇协议, PEGASIS 协议等. 针对无线传感器网络多跳数据传送过程中遇到的问题, 文献[4]提出一种非均匀分簇的数据传输路由协议. 其核心思想是

从概率的角度出发分层和分簇, 使得靠近汇聚节点分层内的簇数量较多, 簇内节点数较少, 而远离汇聚节点的分层内的簇数量较少, 簇内节点较多, 从而均衡能量消耗. 为了提高网络生存寿命, 文献[5]提出了一种采用簇间平衡能耗和簇内不平衡能耗的混合能耗机制的分簇算法. 所有节点被分为大小不同的静态簇, 避免了分簇过多或过少. 通过该分簇算法, 有效降低了簇间和簇内通信能耗. 文献[6]提出了一种基于虚拟网格单元的高可靠性路由算法. 算法为每个网络及其簇头节点分配一个虚拟 ID, 节点根据该 ID 自主选择其多个下一跳节点, 使数据的多个拷贝在朝向汇聚节点方向上交错传播, 从而提高数据传输的可靠性. 文献[7]提出了基于网格的路由协议(A Routing Algorithm Based on Virtual Grid in WSN, CRVB), 由基站计算出最优网格边距后将网络划分为虚拟网格, 簇内节点分

^① 基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX10004-301-609); 国家自然科学基金(61272472, 61232018, 61202404); 安徽省教学研究计划 2010

收稿时间: 2013-03-14; 收到修改稿时间: 2013-04-19

布式的构建近优生成树进行路由; 簇首形成高层链路多跳与基站通信, 各簇可以并发通信, 在节省能耗的同时大大减少了通信时延.

本文提出了一种基于虚拟网格位置的分簇算法, 簇头选举过程中, 综合考虑节点的位置和能量, 使簇头的分布更趋近于网格的中心部分, 使网络结构更加均衡, 节约簇内传输所需能量, 提高网络生存时间.

2 问题陈述

利用网络进行分簇, 节点可以不交换信息就找到自己所在的簇, 但是网格固定, 簇的大小也固定了, 但是根据 CRVB 算法中的簇头选择算法, 分簇中能量最高的节点会成为簇头, 并不考虑簇头所在位置, 会导致簇头有很大概率在簇边缘位置出现, 如图 1 所示, 节点 A、B 分别为簇头节点, b 点到 A 点所需能量明显小于到 B 点所需能量.

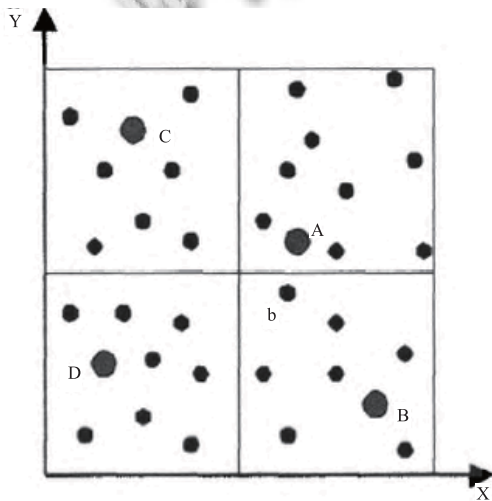


图 1 网络模型

同样, 如图 2 所示, 考虑在同一簇内, 若节点 P 成为簇头, 则 O 点和 Q 点到簇头的能量消耗为

$$E_P = E_{OP} + E_{QP} \tag{1}$$

而若 O 点成为簇头, 则 P 点和 Q 点到簇头的能量消耗为

$$E_O = E_{PO} + E_{QO} \tag{2}$$

很明显, 当簇头分布于分簇中央时, 簇内传输能耗消耗最少. 如何保证簇头尽可能分布在分簇中央以及分簇边缘节点的选择分簇是本文要解决的两个问题.

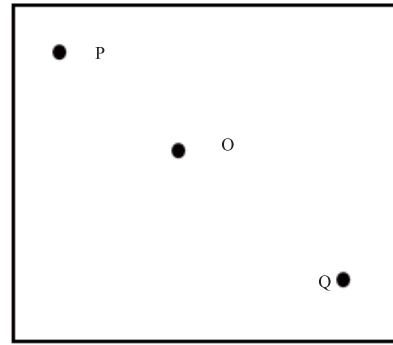


图 2 节点通信模型

3 算法

3.1 网络模型

为了便于研究, 作如下合理的假设:

- 1) 传感器节点具有唯一标识, 及相同的初始能量;
- 2) 传感器节点随机部署于方形监测区域内, 可通过 GPS 设备或者定位算法获知自身地理坐标;
- 3) 通信基站能能量可以持续供应, 且能与网内所有节点通信;
- 4) 所有节点部署之后无法自由移动.

采用了与 LEACH 相同的自由空间和多径空间传输的能量模型. 无线传感器网络中节点能耗主要由通信能耗和数据处理能耗组成, 其中, 节点发送数据包的能耗与通信环境、传输距离、数据包的大小有关.

3.2 算法步骤

3.2.1 计算虚拟网格大小

按照网络模型中的假设, N 个节点随机分布于边长为 R 的正方形区域内. 首先, 基站计算出虚拟网格的边长 D, 保证网格能覆盖全部的监测区域. 文献[1]中提出了最优分簇数:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2\pi} \cdot \frac{e_{fs}}{e_{mp}} \cdot \frac{M}{d_{toBS}^2}} \tag{3}$$

其中, N 为节点总数, e_{fs} 、 e_{mp} 为能量模型参数, M 为网络范围, d_{toBS}^2 为节点到基站的距离.

根据最优分簇数可以近似求出网格的边距值 D. 假设监控区域为正方形区域, 将之划分为大小均等的正方形网格, 网格数即为簇的数目. 由于网格为正方形方格且所有网格必须覆盖全部区域, 所以必须最优簇数进行取整处理之后求出网格的边距值^[7].

3.2.2 节点计算网格编号

每个节点通过定位算法或者装备 GPS 装置获得自

己的坐标信息,且通过下式计算属于哪个网格

$$GX = \left\lfloor \frac{x}{D} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{y}{D} \right\rfloor \quad (4)$$

式中 $\lfloor s \rfloor$ 表示小于 s 的最大的整数.

3.2.3 簇的构建

各网格内节点接收到基站的 HELLO_MSG 报文,并计算出自己的网格编号后,进入簇的构建阶段.

成簇的具体流程如下:

Step1: 节点根据自身坐标和网格边长计算自身所处网格 ID.

Step2: 节点启动定时器,定时器时长 T 定为:

$$T = T_{\max} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2} \cdot D - d}{\sqrt{2} \cdot D} \cdot \frac{E_{\text{res}}}{E_{\text{init}}}\right) \quad (5)$$

其中 T_{\max} 为初始化的固定时间, D 为网格边距值, E_{res} 为节点剩余能量, E_{init} 为节点初始化能量.

Step3: 节点在定时器结束时向半径为 r 的范围内广播 HEAD_MSG 报文,宣布自己成为本分簇簇头,同时将 HEAD_LIST 设置为 0 表示自身为簇头节点.其中 HEAD_MSG 报文中应该包含本节点的节点编号(NODE_ID)、位置信息(x,y)、分簇编号(C_ID)、节点剩余能量(E).

Step4: 节点若在定时器结束前收到其他节点广播的 HEAD_MSG 报文,先将报文信息存储在 HEAD_LIST 中,若是本分簇内节点广播的报文则计时器停止,若为其他分簇节点广播的报文,则计时器继续计时.若计时器结束则转 step3,若计时器停止转 step5.

Step5: 若计时器停止,节点将 HEAD_LIST 中所有存储的节点信息取出进行比较,计算出自身节点与存储的簇头节点的距离,选取距离最小的分簇加入.

通过上述簇的构建流程,能够保证簇头选取过程中综合考虑簇头位置和剩余能量,让簇头节点尽可能分布与分簇中央;而普通节点则根据自身与簇头节点距离判断,加入距离最近的分簇中,这样就可以解决分簇边缘节点到本分簇簇头距离过远的问题.

3.2.4 数据转发阶段:

现有的数据转发方式分别为单跳传输和簇间多跳传输.单跳固然存在很多缺点,多跳传输同样存在可改进的地方,比如在靠近基站的簇头会承担过多的数据转发任务,导致能量消耗加剧,使网络寿命下降.

故本文采用一种单跳和多跳结合的数据转发策略,根据局部网络的信息来决定转发路由.

簇头节点计算自己的评价函数 $g(\text{ch})$ 值,然后向它的邻居簇头节点广播消息,消息包含其节点 ID 与路由评价函数 $g(\text{ch})$ 值,各簇头节点将自身的评价函数值和收到的其他簇头发送的评价函数值进行比较,若处于其下一跳转发路径上的簇头节点评价函数值小于其自身的评价函数值,则选择单跳传输,否则则选择其下一跳转发路径上的评价函数值最高的节点进行转发.路由评价函数如下:

$$g(\text{ch}) = a \cdot \frac{E_{\text{res}}}{E_{\text{avg}}} + (1-a) \cdot \frac{D(\text{s}_{\text{ch}}, \text{BS})}{d_{\text{max}}} \quad (6)$$

其中, a 为 0~1 之间的参数, E_{res} 为簇头节点剩余能量, E_{avg} 为簇头节点平均能量, $D(\text{s}_{\text{ch}}, \text{BS})$ 为本簇头到基站的距离, d_{max} 为簇头到基站的最大距离.

4 仿真结果分析

为验证本文提出 RPLG 算法的性能,对 RPLG、LEACH、CRVB 算法进行了仿真实验,并对实验结果进行分析总结.

本文采用 matlab 仿真,仿真参数如下:

表 1 仿真参数设置

参数	参数值
网络监测区域	160m*160m
基站位置	(80,80)
节点初始能量	0.5J
节点数目	160
距离门限 d_0	87m
E_{elec}	50nJ/bit
E_{fs}	10(pJ/bit)/m ²
E_{mp}	0.0013(pJ/bit)/m ⁴
E_{DA}	5nJ/bit
数据包大小	4000bit

本文主要从剩余节点数和网络消耗总能量两方面对 RPLG、LEACH 和 CRVB 协议性能进行了比较和分析.

4.1 剩余节点数分析

图 3 表示仿真运行 2100 轮,3 种协议各自存活节点数目随网络运行分布情况.由于 LEACH 协议是这 3 个协议中最差的,在网络运行到 50 轮时开始出现死亡节点,1150 轮死亡节点数占有所有节点的 50%,1300 轮死亡节点达 90%; CRVB 协议比 LEACH 协议表现优秀,在第 1050 轮开始出现死亡节点,1200 轮死亡节点达到

50%，在 1400 轮死亡节点达到 90%；而本文提出的 RPLG 协议性能最好，在第 1150 轮开始出现死亡节点，在 1200 轮时死亡节点百分比为 82.5%，大约在 1275 轮时死亡节点到达 50%，1450 轮死亡节点达到 90%。可知，本文提出的 RPLG 算法在同样仿真条件下，相同的运行时间，网络中生存节点是最多的，尤其在第一个死亡节点的出现时间上更是优于 LEACH 和 CRVB 协议。

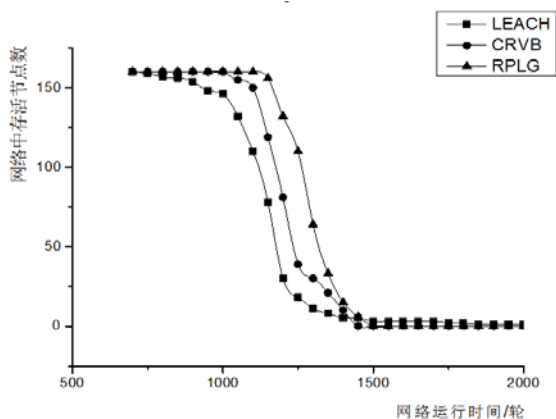


图 3 网络生命周期比较

4.2 网络消耗能量比较

图 4 表示仿真进行 2100 轮，三种协议网络消耗总能量随网络运行时间的变化。可以清楚的看到，无论是 RPLG 协议还是 CRVB 协议，在网络消耗方面都优于 LEACH 协议，而且，RPLG 协议由于考虑到了分簇内簇头节点的位置因素和网络边缘位置节点的因素，可以使簇头节点更多的位于分簇中央，而且分簇边缘的节点可以选择最近的簇头加入其分簇中，使簇内信息传输能量减小，最终体现在网络消耗总能量方面优于仅仅考虑能量问题的 CRVB 协议。

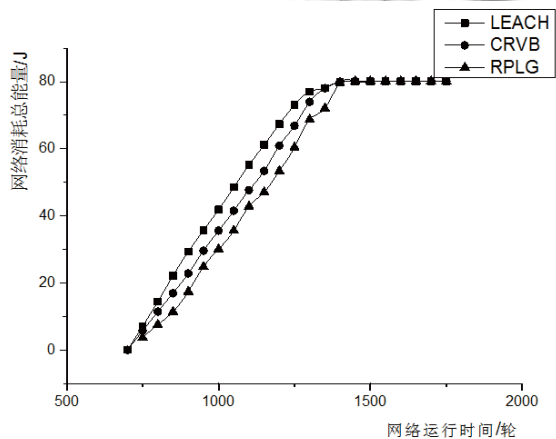


图 4 网络总能耗比较

5 结论

本文提出了一种提出了一种基于虚拟网格位置的分簇路由协议，对传统的仅考虑簇头能量的网格分簇算法进行了改进。在簇头选举过程中，当能量充足时，能够保证簇头分布于网络的中央，均衡网络结构，同时，对位于分簇边缘的节点，不限制加入自身分簇，而是考虑周围分簇距离，加入最近的分簇中，通过以上两个策略，可以大大的减少簇内能量消耗，从而延长网络的生存时间。在数据传输阶段，簇间采用了路由评价函数机制，将单跳和多跳结合。仿真结果表明，RPLG 协议比 LEACH、CRVB 协议能耗更低，可以有效地均衡能量负载，延长网络的生存周期。

参考文献

- 1 Heinzelman WB, Chandrakasan AP, Balakrishnan H, et al. An application specific protocol architecture for wireless microrsensor networks. IEEE Transactions On Wireless Communications,2002,1(4):660-670.
- 2 Younis O, Fahmy S. Distributed clustering in Ad Hoc Senser networks:A hybrid energy-efficient approach. Proc. of IEEE computer and Communications Societies,2004:629-640.
- 3 Lindsey S, Raghavendra CS. Pegasus:pow-efficient gathering in sensor information systems. Proc. of IEEE Aerospace Conference;Aerospace and Electronic Systems Society. 2002:1125-1130.
- 4 杨军,张德运.非均匀分簇的无线传感器网络数据传送机制.西安交通大学学报,2009,43(4):14-17.
- 5 向敏,石为人,罗志勇,等.基于混合能耗机制的无线传感器网络分簇算法.仪器仪表学报,2009,30(4):673-678.
- 6 闽斌,周小佳,王厚军,等.基于虚拟网格的无线传感器网络高可靠性路由.软件学报,2009,20(6):1591-1601.
- 7 朱敏,肖震,刘昊霖,等.WSN 中基于虚拟网格的分簇路由协议.四川大学学报,2012,44(5):143-148.