

基于最优簇首数划分单元格的 改进 GAF 算法*

梁 青¹, 李卓冉¹, 韩昊澎¹, 熊 伟²

(1. 西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710061; 2. 空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077)

摘 要: 为构造良好的拓扑结构,降低节点能耗,延长网络生存期,对传统的 GAF 算法进行了改进。改进算法中考虑到连通度和最优簇首数的问题,提出了新的虚拟单元格划分方法。在簇首选择阶段,不仅考虑到节点剩余能量及节点距基站的距离,还考虑到节点吞吐率的问题,并通过定义簇首选择函数来进行簇首选择。仿真结果显示,改进的 GAF 算法有效地节省了节点能耗,延长了网络生存期。该算法的各项性能均优于传统的 GAF 算法。

关键词: 无线传感器网络; GAF 算法; 最优簇首数; 节点吞吐率; 簇首选择函数

中图分类号: TP393; TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3622-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.027

Improved GAF algorithm of dividing cells based on optimal number of cluster heads

LIANG Qing¹, LI Zhuo-ran¹, HAN Hao-peng¹, XIONG Wei²

(1. School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China; 2. Institute of Information Navigation, The Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to construct a good topology, reduce nodes energy consumption and extend the lifetime of the network, this paper improved the traditional GAF algorithm. Considering the problem of connectivity and the optimal number of cluster heads, this paper proposed a new method of dividing the virtual cells. Not only considering the residual energy of nodes and the distances from base station, but also taking into account the node throughput in the cluster head selection stage. Besides, by defining the cluster-head selection function to find the cluster head. Simulation results show that, the improved GAF algorithm has effect on reducing the node's energy consumption and extending the network lifetime. The performance of the algorithm is better than the traditional GAF algorithm.

Key words: wireless sensor network; GAF algorithm; optimal number of cluster heads; node throughput; cluster-head selection function

0 引言

无线传感器网络是一个智能的网络监测系统,由大量廉价的同构或异构具有无线通信与计算能力的微型传感器节点组成,通常部署在环境复杂或无人职守的区域中,该系统的主要任务是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域里被监测对象的信息,并发送给观察者^[1,2]。无线传感器网络的最大限制是节点的能量、通信能力、计算及存储能力都是有限的。因此,如何减少能耗,延迟网络的生存时间是无线传感器网络的关键问题。

通过控制网络的拓扑结构可以有效地节省节点能量,延迟网络的生存期。在拓扑控制算法中,GAF 算法是一种以节点地理位置为依据的分簇算法,该算法主要分为两个阶段:a)根据节点的位置信息和通信半径划分虚拟单元格;b)簇头选择阶段,每个节点都周期性地处于发现、活动及睡眠状态,处于活动状态的节点担任簇头^[3]。根据 GAF 算法的缺点,Blough 等

人^[4]提出了 GAF 的改进算法,根据节点已知单元格中相关信息多少,设计了两种不同的簇头选择机制,在簇头选举阶段考虑到了节点的剩余能量,有利于延长节点的生存时间。文献[5]采用层次蜂窝结构对单元格进行划分,使得整个网络的负载均衡。文献[6]中采用定期自动划分虚拟单元格的方法划分单元格,并在每个单元格中寻找最节约能耗的簇头位置。文献[7]根据地理位置将节点划分为组,每组中只任意保留一个节点与骨干网连接,不仅保证了节点连通度,还可加快网络收敛速度。本文根据相关研究,对 GAF 算法的虚拟单元格划分方法及簇头选举方法进行改进,以达到增加网络连通度、减少节点能耗、延长网络生存期的目的。

1 网络模型与能耗模型

1.1 网络模型

a) 监测区域内所有节点及基站均不可移动,基站位于整

收稿日期: 2013-04-27; **修回日期:** 2013-06-04 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61202490);陕西省教育厅科学研究计划基金资助项目(12JK0559)

作者简介: 梁青(1966-),女,山西临猗人,副教授,硕士,主要研究方向为无线传感器网络(liangqing@xupt.edu.cn);李卓冉(1989-),女,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络拓扑控制;韩昊澎(1988-),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络;熊伟(1965-),男,安徽凤阳人,副教授,硕士,博士,主要研究方向为无线传感器网络。

个区域的中心。

b) 所有节点的初始能量相同且能量有限。

c) 节点已知整个监测区域的位置信息和自身的位置信息。

d) 节点具有一定的计算能力和数据存储转发能力。

1.2 能耗模型

在无线传感器网络中,节点的大多数能耗都是用于数据通信,因此本文只考虑节点用于收发数据时的能耗。节点的能耗模型采用文献[8]中的表达方式,假设网络中的节点传输 l bit 的数据,则其发送和接收数据的能耗分别为

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{friss-amp}d^2 & d < d_{crossover} \\ lE_{elec} + l\epsilon_{two-ray-amp}d^4 & d \geq d_{crossover} \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

式中: E_{elec} 为接收/发送电路收发数据的能耗; $\epsilon_{friss-amp}$ 为自由空间模型的功率放大损耗; $\epsilon_{two-ray-amp}$ 为多路径衰减模型的功率放大损耗; d 为节点传输数据的距离; $d_{crossover}$ 为距离门限, $d_{crossover} =$

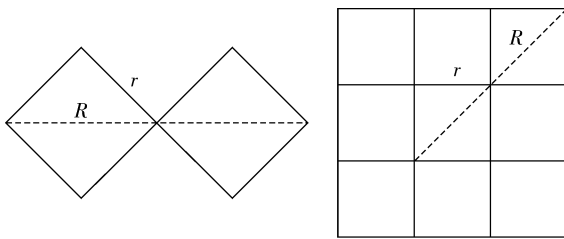
$$\sqrt{\frac{\epsilon_{friss-amp}}{\epsilon_{two-ray-amp}}}。$$

2 虚拟单元格的划分

在 GAF 算法中,对监测区域进行单元格划分时只考虑到连通度的问题,GAF 算法要求相邻两个单元格内的任意两个节点能够直接通信。因此单元格边长 r 需要满足 $r \leq \frac{R}{\sqrt{5}}$,其中 R 为节点的通信半径。文献[9]提出另一种相邻区域的关系,如图 1(a)所示,可保证每个单元格内的节点与周围相邻的八个区域能够直接通信,如图 1(b)所示。因此单元格边长 r 需要满足以下关系式:

$$(2r)^2 + (2r)^2 \leq R^2 \Rightarrow r \leq \frac{R}{2\sqrt{2}} \quad (3)$$

本文采用此关系式作为划分单元格的条件之一。



(a) 相邻区域关系 (b) 单元格边长与通信半径的关系
图 1 虚拟单元格的划分

在文献[9]提出的条件下,考虑最优簇首数及通信能耗的问题,提出新的划分条件。假设监测区域是一个边长为 M 的正方形区域,区域中随机分布了 N 个节点,簇首数为 K 。由于本文已设定基站在区域的中心,因此监测区域中节点与基站的距离平方的期望为

$$E[d_{toBS}^2] = \frac{1}{M^2} \int_{M \times M} (x - \frac{M}{2})^2 + (y - \frac{M}{2})^2 dx dy = \frac{M^2}{6} \quad (4)$$

本文中一个单元格即为一个簇,则每个簇的面积 S 大约为 M^2/K ,每个簇的边长 r 即单元格的边长 r 为 $M/\sqrt{K}$,簇内普通节点的分布密度 $\rho(x, y)$ 为 K/M^2 。则簇内普通节点与簇首的距离平方的期望为

$$E[d_{toCH}^2] = \frac{K}{M^2} \int_S x^2 + y^2 dx dy = \frac{2M^2}{3K} \quad (5)$$

在一个簇内,簇首节点的主要任务是接收簇内成员发来的数据,并对数据进行融合后再转发给基站,因此簇首节点的能耗主要由这三部分的能耗组成。由于簇首离基站的距离通常都大于距离门限 $d_{crossover}$,故簇头节点的能耗计算应采用多路径衰减模型。根据文献[10,11]提出的公式可计算出簇首传输 l bit 数据的能耗为

$$E_{CH} = l \left[\left(\frac{N}{K} - 1 \right) E_{elec} + \frac{N}{K} E_{DA} + E_{elec} + \epsilon_{two-ray-amp} d_{toBS}^4 \right] \quad (6)$$

式中: E_{DA} 为簇首进行数据融合的能耗。

簇内成员的主要任务是将监测到的数据发送给簇首,簇内成员距离簇首较近,故簇内节点的能耗计算采用自由空间模型。簇内节点传输 l bit 数据的能耗为

$$E_{non-CH} = l(E_{elec} + \epsilon_{friss-amp} d_{toCH}^2) \quad (7)$$

由上述可知,一个簇内所有节点传输 l bit 数据的能耗为

$$E_{cluster} = E_{CH} + \left(\frac{N}{K} - 1 \right) E_{non-CH} \quad (8)$$

整个监测区域内所有节点传输能耗为

$$E_{total} = KE_{cluster} = l \left[2NE_{elec} + NE_{DA} + K\epsilon_{two-ray-amp} \frac{M^4}{36} + \left(\frac{N}{K} - 1 \right) \epsilon_{friss-amp} \frac{2M^2}{3} - KE_{elec} \right] \quad (9)$$

令 $\frac{dE_{total}}{dK} = 0$, 得出最优簇首数为

$$K_{opt} = \frac{\sqrt{2N}}{\sqrt{3}} M \frac{\sqrt{\epsilon_{friss-amp}}}{\sqrt{\frac{M^4}{36} \epsilon_{two-ray-amp} - E_{elec}}} \quad (10)$$

则在最优簇首数条件下的虚拟单元格边长需满足的条件为 $r \leq M/\sqrt{K_{opt}}$ 。

综上所述,虚拟单元格的边长可由下式确定:

$$r = \min(R/2\sqrt{2}, M/\sqrt{K_{opt}}) \quad (11)$$

3 簇头节点的选举

在簇头选举阶段综合考虑单元格中每个节点的剩余能量、吞吐率和到基站的距离来进行合理的簇头选举,以达到节点负载均衡,减少节点的能量消耗。

在理想情况下,监测区域中每个节点的吞吐率应满足以下关系式:

$$\lambda \leq \frac{16AW}{\pi \Delta^2 L} \times \frac{1}{nr} \quad (12)$$

式中: A 为区域面积; W 为节点的最高传输速率; Δ 为大于0的常数; L 为节点到基站的距离; n 为节点数; r 为理想球状无线电发射模型的发射半径^[12]。

设节点的剩余能量为 E_0 , 吞吐率为 λ , 到基站的距离为 d_0 , 定义如下簇头选择函数为

$$f = \alpha E_0 + \beta \lambda + \gamma \frac{R}{d_0} \quad (13)$$

式中: α, β, γ 为大于零的影响因子,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$, 影响因子的大小取决于对网络性能的综合要求, R 为节点的通信半径。在每个簇中选择函数 f 值最大的节点作为簇头。

4 仿真结果

本文中采用 MATLAB 仿真对改进的 GAF 算法进行性能分析,在节点的平均能量消耗和网络生存期等方面对 GAF 算法和改进 GAF 算法进行了比较。仿真过程中网络中的节点随机

分布,每个节点的初始能量为 0.5 J,当节点的能量为零时,则定义节点为死亡节点。其他参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真的参数设置

参数名称	参数值	参数名称	参数值
节点数目	400 个	E_{elec}	50 nJ/bit
区域边长	200 m	E_{DA}	5 pJ/bit/signal
数据包长度	4000 bit	ε_{fs}	10 pJ/bit/m ²
控制包长度	100 bit	ε_{amp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴

图 2 所示为改进算法与 GAF 算法的网络生存期的比较,网络生存期的定义为网络中生存节点的个数随着时间的变化率。

$$lifetime_Rate(t) = \frac{N_nodes(E > 0)}{N_nodes(t = 0)} \quad (14)$$

式中: $N_nodes(E > 0)$ 为 t 时刻存活节点的个数; $N_nodes(t = 0)$ 为网络中的初始节点数^[13]。由图 2 可以比较出,在同一时刻改进 GAF 算法的存活节点比例均高于 GAF 算法。

图 3 所示为两种算法中节点的平均能量消耗随时间的变化。如图中所示,改进 GAF 算法更加节约节点能耗,从而达到延长网络生存期的目的。

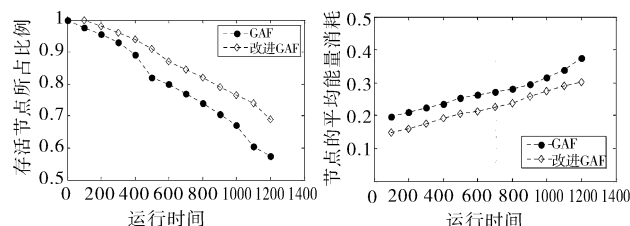


图 2 网络生存期比较

图 3 节点平均能量消耗比较

5 结束语

在传统 GAF 算法的基础上,对确定单元格边长提出了新的约束条件,在保证连通度的情况下还要满足最优簇首数条件,同时对簇头选择进行了改进,提出了簇头选择函数。改进的 GAF 算法有效地减少了节点能耗,延长了网络生存期。该算法中基站位于监测区域的中心,对于基站位于其他位置的情况还需要作进一步的研究。

参考文献:

[1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学

出版社,2005.

- [2] LIU Zhi-xin, DAI Li-li, MA Kai. Balance energy-efficient and real-time with reliable communication protocol for wireless sensor network [J]. China Universities of Posts and Telecommunications, 2013, 20(1): 37-46.
- [3] XU Y, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing[C]//Proc of Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2001: 70-84.
- [4] BLOUGH D M, SANTI P. Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary Ad hoc network [C] //Proc of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2002: 183-192.
- [5] 陈祖爵, 欧阳烨龙. 一种层次蜂窝结构的负载均衡 GAF 算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(3): 104-106.
- [6] QI Xiao-gang, QIU Chen-xi. An improvement of GAF for lifetime elongation in wireless sensor networks[J]. Journal of Convergence Information Technology, 2010, 5(7): 112-119.
- [7] LUO Xiao-yuan, YAN Yan-lin, LI Shao-bao. Topology control based on optimally rigid graph in wireless sensor network [J]. Computer Networks, 2013, 57(4): 1037-1047.
- [8] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.
- [9] 胡长俊, 姚善化. 无线传感器网络基于中转区域的分簇算法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(18): 104-109.
- [10] 林元丰. 能量高效的无线传感器网络分簇路由算法研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(4): 1529-1532.
- [11] 王金伟, 孙华志, 孙德兵. 基于能耗的无线传感器网络最优簇首数研究[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(7): 45-48.
- [12] 余成波, 李洪兵, 陶红艳. 无线传感器网络实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [13] ZEBBANE B, CHENAIT M, BADACHE N. Towards an energy-efficient algorithm based sleep-scheduling for wireless sensor networks [C]//Proc of International Conference on New Technologies, Mobility and Security. [S. l.]: IEEE Press, 2012: 7-10.

下期要目

- ◆ 硬件虚拟化 rootkit 检测方法研究综述
- ◆ 超像素分割算法研究综述
- ◆ 全参考图像质量评价综述
- ◆ 代理重签名研究进展
- ◆ 社会网络分析在政府间国际组织研究中的应用
- ◆ 基于平衡采样的轻量级广告点击率预估方法
- ◆ 基于句法分析的汉语词义消歧
- ◆ 基于时间特性的微博热门话题检测算法研究
- ◆ 基于模糊 PA 算法的微博信息传播分享预测研究
- ◆ 基于 DSM 和 GA 的消费者感性需求聚类
- ◆ 游戏引擎最短路径搜索优化遗传算法设计
- ◆ 基于局部最优解的改进人工蜂群算法
- ◆ 外电场作用下神经网络同步特性
- ◆ 一种邻域线性竞争的排列降维方法
- ◆ 基于坡度的鲁棒优化方法

- ◆ 一种基于模糊 Petri 网的 CGF 决策方法研究
- ◆ 基于平均偏离度的证据组合方法
- ◆ 一种基于统计学判别分析的老人摔倒检测算法的研究
- ◆ 基于 OGC 规范的多星多传感器卫星地面系统设计与实现
- ◆ 基于定时谓词变迁系统客运专线区间通用模型及仿真
- ◆ 一种带有负载均衡的军事信息服务聚合模型
- ◆ 基于博弈视角的交通信息提供与道路收费联合定价模型
- ◆ 基于概念设计阶段的解耦模式车门截面形状优化方法
- ◆ 基于云服务的物流园区服务资源共享与配置模式研究
- ◆ 基于事件的连续数据保护系统研究
- ◆ 基于云计算技术的地铁自动售票系统研究
- ◆ 代码缺陷与代码味道的自动探测与优化研究
- ◆ 基于变异技术的程序故障自动化修复方法
- ◆ 一种基于 Cloud-P2P 网络平台的泛知识云模型
- ◆ 一种面向可靠云计算的自适应故障检测方法
- ◆ 基于 MapReduce 的 PageRank 算法优化研究
- ◆ 基于受限语言的领域需求描述方法