

基于非竞争机制的改进 GAF 拓扑控制算法

唐长春¹, 敖志刚¹, 张康益¹, 郭杰¹, 敖卫清²

(1. 解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007;

2. 解放军理工大学 气象学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 能量问题是制约无线传感器网络发展和应用的瓶颈之一。为均衡网络节点的能量消耗, 延长网络的生命周期, 需要建立高效的拓扑控制机制。在深入研究 GAF 算法的基础上, 提出了一种基于非竞争机制的改进算法。利用建立的适合度函数和顺序表优化了簇头的选举策略; 通过改进虚拟单元格的划分方法, 并推导出动态剩余能量阈值估算公式, 有效地改善了 GAF 算法的相关性能。仿真结果表明, 改进算法对于减少拓扑控制耗费、延长网络生命周期具有显著效果。

关键词: 无线传感器网络; GAF 算法; 非竞争机制; 拓扑控制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)08-0114-05

Improved GAF Algorithm of Topology Control Based on Non-competitive Mechanism

TANG Chang-chun¹, AO Zhi-gang¹, ZHANG Kang-yi¹, GUO Jie¹, AO Wei-qing²

(1. Engineering Institute of Corps of Engineers, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China;

2. Institute of Meteorology, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 211101, China)

Abstract: Energy problem is one of the bottlenecks that restrict the development and application of wireless sensor network. An efficient topology control mechanism is needed to balance the nodes' energy consumption and extend the life circle of the network. In this paper, proposed an improved GAF algorithm based on non-competitive mechanism. Use a fitness function and a seqlist to optimize the cluster head election strategy; By improving the approach of the virtual cell division, and deriving an equation that used to estimate the dynamic remaining energy threshold, some related performance achieved effective improvement than GAF algorithm. Simulations show this improved algorithm has a significant effect on reducing the topology control cost and extending the network's life cycle.

Key words: wireless sensor network; GAF algorithm; non-competitive mechanism; topology control

0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 无论是在国家安全, 还是国民经济等诸方面都有着广泛的应用前景。但由于构成 WSN 的感知节点都是体积微小的嵌入式设备, 其能量供应、计算能力以及通信能力都非常有限, 极大地限制了 WSN 的应用。能耗是 WSN 设计需首要考虑的问题。拓扑控制即是在满足网络联通度和覆盖度的前提下, 通过剔除节点之间不必要的通信链路, 来优化网络的结构, 从而降低 WSN 的工作能耗^[1,2]。Heinzelman 提出的 LEACH 自组织成簇算法^[3], Xu 等人提出的基于地理位置信息的

GAF (Geographical Adaptive Fidelity) 算法^[4,5] 等是经典的拓扑控制算法。

GAF 算法是一种基于地理位置信息的分簇算法, 其主要思想是将监测区域划分为若干虚拟单元格 (Virtual Cell, VC), 各感知节点根据自身信息选择加入某个 VC, VC 内的节点定期选出一个节点作为簇头保持活动状态, 其它节点则进入休眠。GAF 算法的执行过程包括 VC 的划分和 VC 内簇头节点的选择两个阶段。

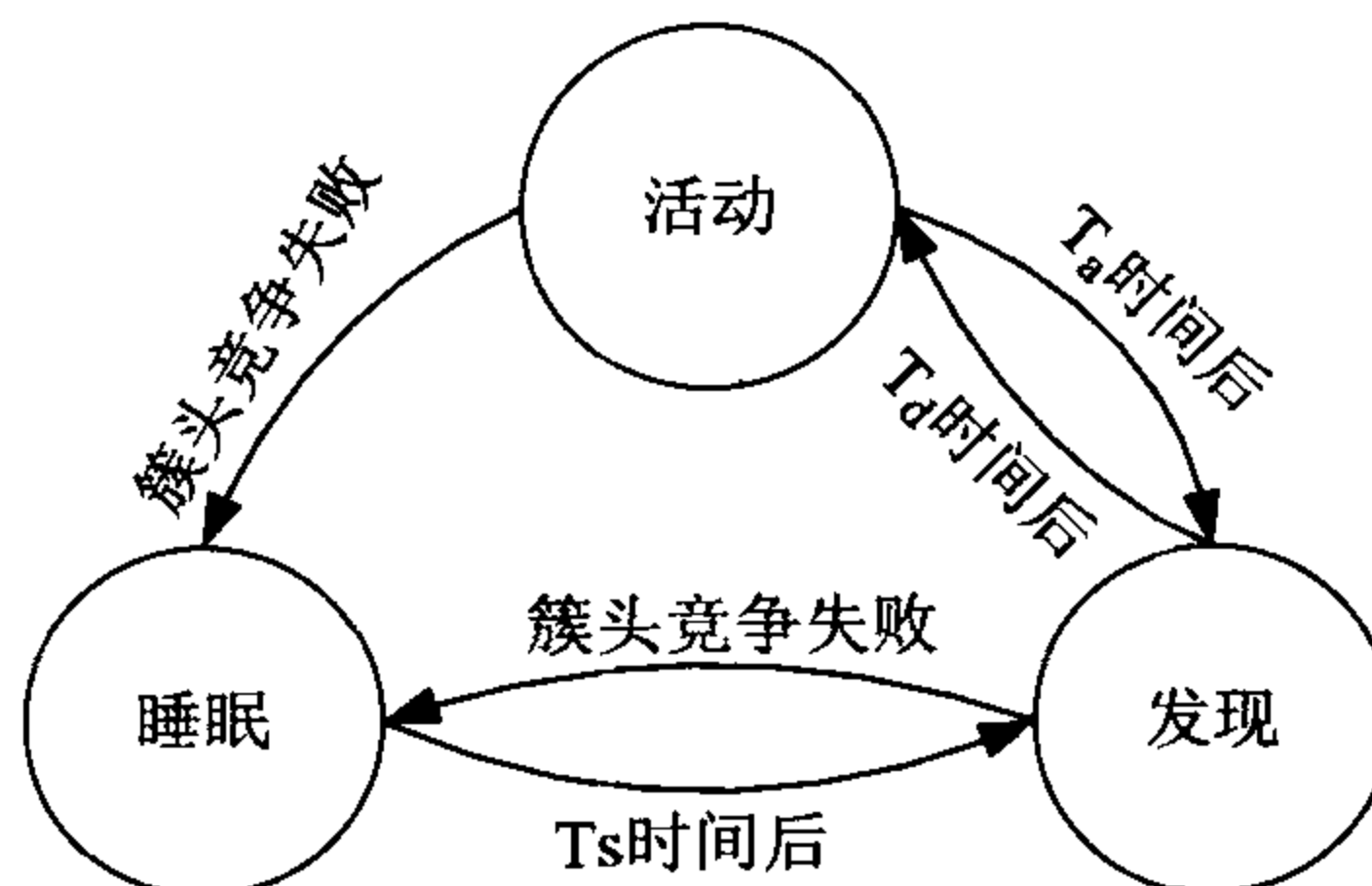


图1 GAF 算法中的节点状态转换图

收稿日期: 2011-12-14; 修回日期: 2012-03-14

基金项目: 江苏省自然科学基金 (SBK200921910); 全军军事学研究课题 (2010JY0284-159)

作者简介: 唐长春 (1986-), 男, 广西桂林人, 硕士研究生, CCF 会员, 研究方向为联合作战系统分析与集成; 敖志刚, 教授, 研究方向为指挥自动化与战场环境数字化、万兆以太网。

如图1所示,VC内的每个节点都可以处于发现、活动和睡眠三种状态。在簇头节点的选择阶段,首先节点之间通过相互交换信息来进行网络的初始化,此时所有节点都处于发现状态;然后每个节点都给自己的定时器随机设定一个值 T_d ,率先超时的将声明自己成为簇头,其他节点被迫睡眠。处于活动状态的节点将在 T_d 后回到发现状态,而处于睡眠状态的节点也将在 T_d 后重回发现状态进行下一轮簇头的选举。

GAF算法通过让尽量多的节点处于睡眠状态来达到节能的目的,算法本身非常简单,但存在很多不足,如缺乏对节点能量的考虑,簇头的选举方法和VC的划分也有待进一步改进等。文中结合WSN的一些具体应用需求,针对GAF算法的特点和不足作出改进,提出了一种改进GAF算法。

1 GAF算法的改进

1.1 基本假设

为简化研究,文中将在以下假设中展开:

(1) WSN的监测区域为一个平面区域,范围内没有影响节点通信的障碍物存在;

(2) 目标区域的基本信息(诸如大致面积,方位等)能够事先得知;

(3) 传感器节点在播撒到目标区域之前,可以预先设定相关参数;

(4) 节点的初始状态相同,并且节点在目标区域内的分布基本均匀;

(5) 传感器节点能够感知自身位置坐标,具有一定的计算和数据存储能力。

1.2 WSN监测区域虚拟单元格VC的划分

把WSN的监测区域用一系列VC来覆盖的主要目的是为了实现在簇的均匀分布。在划分VC时,除了要考虑连通度之外,还需要考虑覆盖度,优化分簇(即VC)的数量。GAF算法只从连通度方面作了考虑,要求相邻单元内任意两个节点都能直接通信,如图2(a)所示,容易理解 d_{\max} 不能大于节点的通信半径 R_{com} ,从而VC的边长 r 需要满足: $r \leq (R_{\text{com}}/\sqrt{5})$ 。文中的改进算法将增加对VC划分的约束,优化虚拟单元格的划分方法。

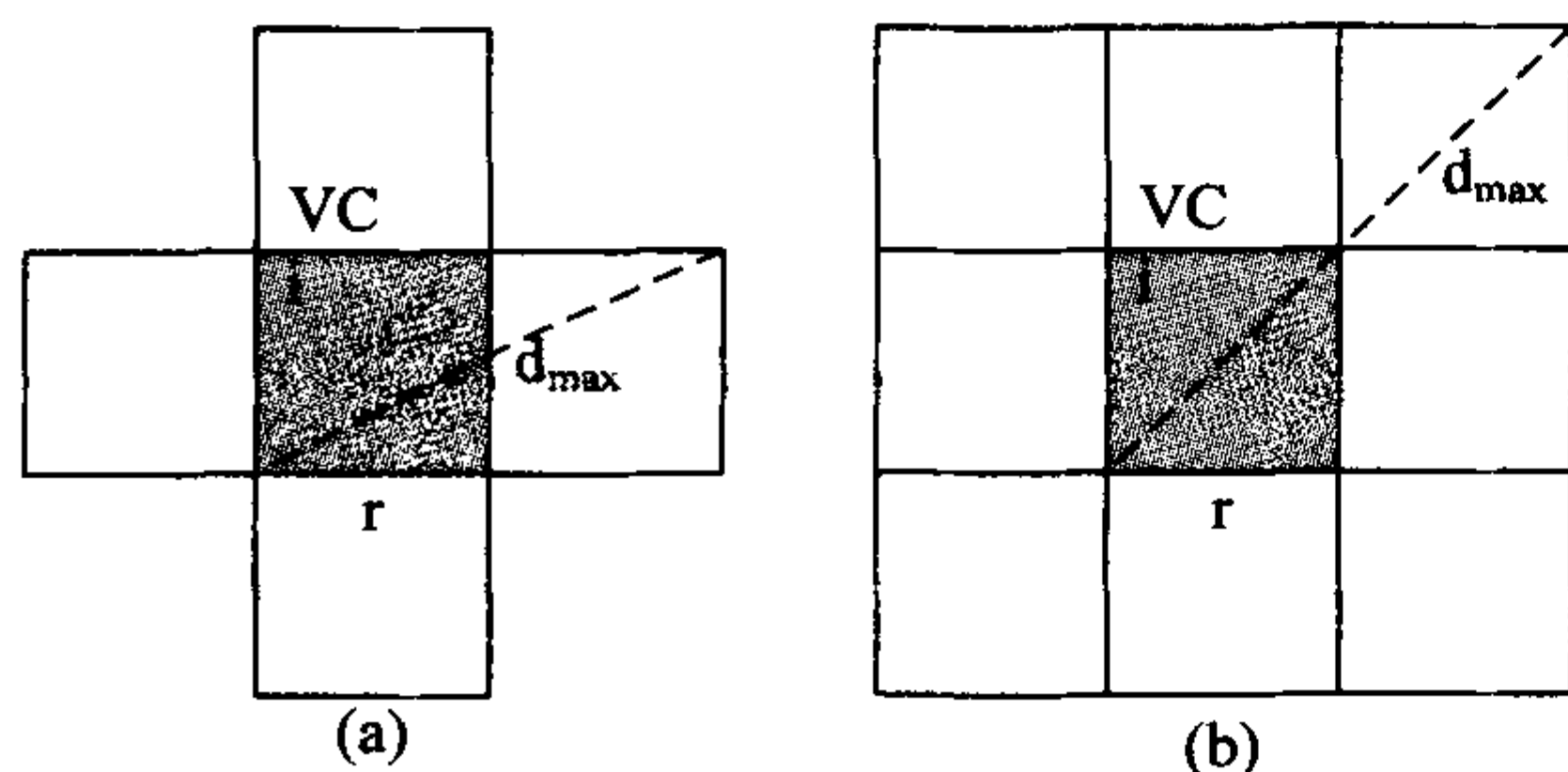


图2 虚拟单元格VC的划分

约束1:仍从连通性的角度考虑。定义“相邻”指两个单元格有一条公共边或一个公共点。这样,一个VC就有八个相邻的VC,如图2(b)所示。若要求任意相邻两个VC内的节点都能直接通信,则VC的边长 r 需要满足关系式(1):

$$d_{\max} \leq R_{\text{com}} \Rightarrow r \leq (R_{\text{com}}/\sqrt{2}) \quad (1)$$

约束2:分簇太多,对于节省网络的能耗将失去意义,而分簇太少,则会增加簇头的工作量,加速簇头节点的死亡,影响连通度。一般认为,当簇头节点的数量(即分簇的数量)占节点总数的5%时比较合适,文中将采用这个数据对VC的边长 r 进行约束,如式(2)所示:

$$0.05Nr^2 \leq S \Rightarrow r \leq \sqrt{(20S)/N} \quad (2)$$

上式中: S 为区域的面积, N 为传感节点总数。VC的边长 r 越大,则被包含在一个VC内的节点数将越多,这对节省网络能耗是有益的,因此 r 在满足条件的情况下应尽可能大,综合约束1和约束2, r 的取值可由式(3)确定:

$$r = \min(R_{\text{com}}/\sqrt{2}, \sqrt{(20S)/N}) \quad (3)$$

1.3 簇头选举

GAF算法中,簇头随机产生,没有考虑节点成为簇头的适合度,这不利于均衡节点能量消耗和延长网络生命周期。理论上,位于同一VC内的节点在初始情况下同构,谁做簇头都可以,但在理想情况下,最适合做簇头的节点应该距VC内其他节点的平均通信距离最少。一般认为节点距离VC的中心越近,其与VC内其他节点的平均距离就越小。令 d_i 为节点 i 到VC中心的欧氏距离,则 d_i 越小,节点 i 越适合作簇头节点^[6]。

节点的剩余能量 E_i 对节点能否成为簇头节点拥有一票否决权。显然,节点的 E_i 越多,则其越适合做簇头,因此其在簇头选举时的胜算也应该越大。综合分析,文中用 d_i 和 E_i 建立为了表征节点成为簇头适合度的函数 $f(d_i, E_i)$,形如式(4):

$$f(d_i, E_i) = w_1 \frac{r}{\sqrt{2}d_i} + w_2 \frac{E_i}{E_0} \quad (4)$$

式中, E_0 为感知节点的初始能量; w_1 、 w_2 为相应的权值,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。从式(4)可以看出,适合度函数的递增方向即为簇头选举的优化方向。

1.4 动态剩余能量阈值估算公式

1.4.1 节点能耗模型

根据无线传感器节点通信模块的状态(开启或休眠),文中认为WSN中的节点可能处于两大状态:通信和休眠。相应地,节点的能耗分为两大部分:通信能耗 E_c 和休眠能耗 E_{sleep} 。节点参与通信一次的能耗期

望值 \bar{E}_c 与平均数据量的大小 λ 有关,由于传感器网络通常只对特定的事件感兴趣,因此节点每次通信的数据量大小近似相等^[7~9]。

$$\bar{E}_c = \lambda E_B \quad (5)$$

式(5)中, E_B 为传输 1 比特数据的能耗。在休眠状态,节点的通信模块关闭,但其仍需担负对周围兴趣事件的侦听、数据采集以及相关的计算处理工作。节点休眠状态时的功率可用式(6)表示:

$$P_{\text{sleep}} = P_d + F(P_R + P_w) \quad (6)$$

式(6)中, P_d 、 P_R 、 P_w 分别为节点在侦听、数据采集、计算处理时的功率, F 为监测区域兴趣事件发生的频度。

1.4.2 估算公式

当簇头节点的剩余能量低于某一阈值时,其就要放弃簇头身份,但此时该节点并不是立即死亡,仍需担负一定的感知和通信任务,就是说当簇头沦为普通节点时,它必须要保有一定的能量来支持后续的工作,这个保有的能量值就是阈值。由于 WSN 存在生命周期,在不同的时间放弃簇头身份,节点需要保有的剩余能量值是不同的。通过建立动态剩余能量阈值公式,可以求得簇头节点在放弃簇头身份时需保有的能量值,从而有利于延长网络的生命周期。根据经验和能耗模型,得到了如式(7)所示的经验公式。

$$E_{Ti} = \frac{N[(N + t2 - 1)F\bar{E}_c - P_{\text{sleep}}]E_0}{(N + t2)^2 F\bar{E}_c - N(F\bar{E}_c - P_{\text{sleep}})} \quad (7)$$

E_{Ti} 即为剩余能量阈值, $t2$ 为簇内簇头已经更换的次数。其中 F 、 \bar{E}_c 、 P_{sleep} 可在传感器节点布设之前根据经验事先进行估算和设定。式(7)表明,随着 $t2$ 值的增加, E_{Ti} 值逐渐减小,这也说明节点在放弃簇头身份时所需的剩余能量随网络的运行时间增长而减小。

2 算法执行过程

传感器节点在播撒到目标区域之后,首先要借用定位和感知手段获取自身的位置信息,进行网络节点的初始化。在 GAF 改进算法中,拓扑控制分为两个阶段:拓扑构造和拓扑维护^[10~12]。

2.1 拓扑构造

传感器被播撒到目标区域之初,彼此之间相互孤立,并不能立即形成无线传感器网络。在拓扑构造阶段,就要建立起节点之间的联系,采取适当的机制,理清节点之间的层次关系;优化 WSN 节点的拓扑结构;首次在 VC 内选举出簇头并创建骨干网络。具体过程如图 3 所示。

图3中, C 是一个可按一定规则设置的常数。根据

节点信息 $SM(VC_id, Node_id, f(d_i, E_i))$ 中的 $f(d_i, E_i)$ 值,可降序排列建立一张顺序表。局部顺序表由各节点在簇头选举过程中产生,保存的是各节点自身的 SM 及满足 $f(d_i, E_i) \geq C$ 的节点的 SM ;全局顺序表在簇头选举产生后,由簇头节点建立,保存 VC 内所有节点的 SM 。簇头节点在与相邻 VC 的簇头节点建立联系时,生成的是一张转发表,这张表主要储存相邻 VC 簇头节点的 SM 及到达路径。

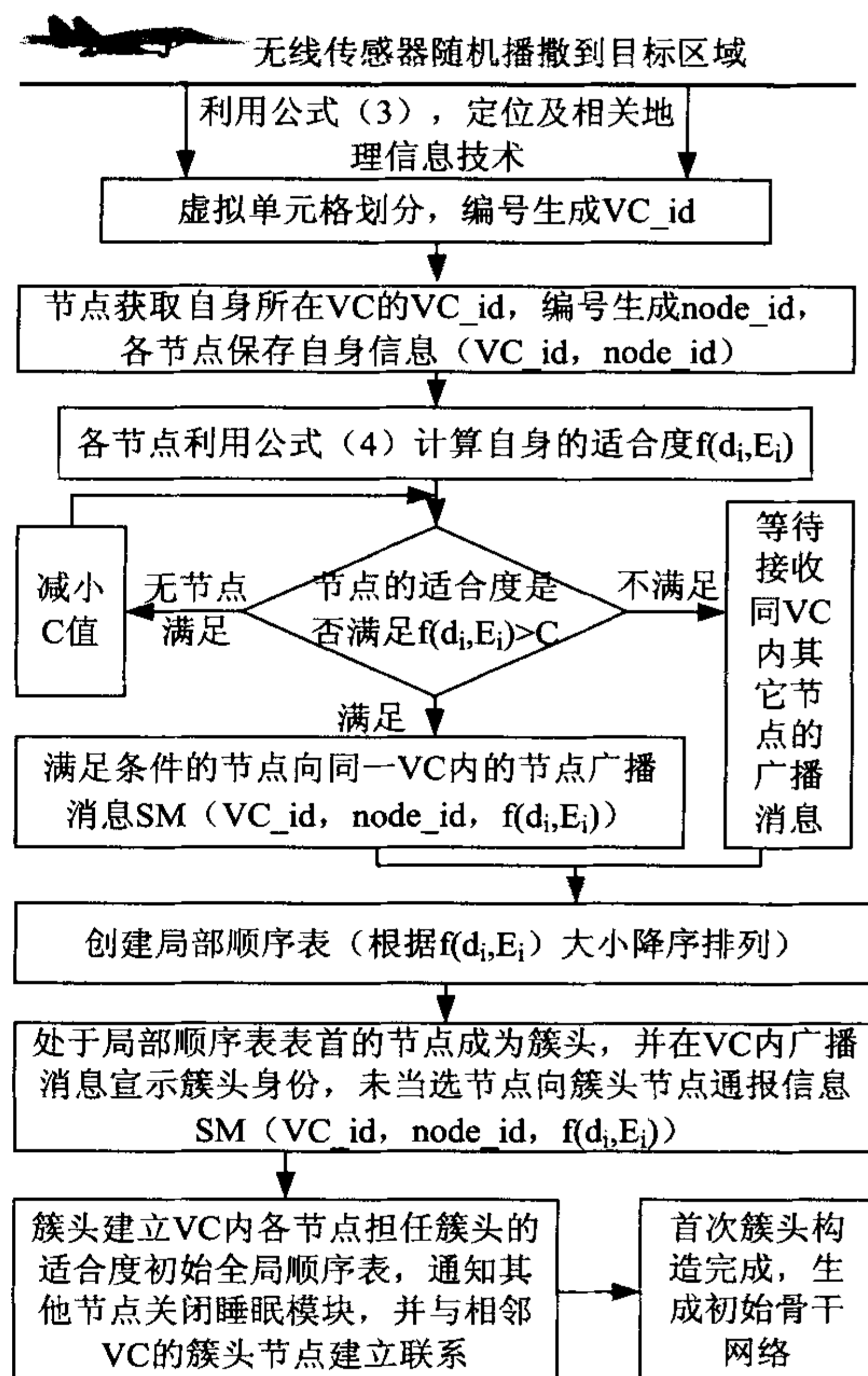


图3 首次拓扑构造过程

2.2 拓扑维护

传感器在播撒部署之前,需要预置一些属性信息,这些信息统一存储在一个结构体 ST_i 中。定义

$\text{struct } ST_i = \{\text{int}; \text{int}; \text{double}; \text{int } t1; \text{int } t2; \text{float } E_0; \text{float } E_i\}$

ST_i 的前三个元素在拓扑构造阶段填入,分别对应 $VC_id, Node_id, f(d_i, E_i)$; $t1$ 为节点参与数据传输的次数计数器; $t2$ 为 VC 内簇头更换次数的计数器, $t1$ 和 $t2$ 的初始值都为 0, 经过拓扑构造阶段后, $t2$ 的值自加 1, $t1$ 的值将由节点自身根据情况更新; 初始情况下 $E_0 = E_i$ 。

拓扑构造完成之后, WSN 将进入拓扑维护阶段。在这一阶段, 网络采用非竞争机制进行簇头轮换。

具体来看, 该阶段包含以下几个步骤:

step1: 顺序表更新。如前所述, 顺序表是指根据 VC 内各节点的 $f(d_i, E_i)$ 值大小降序排列的一张表,

这张表储存了 VC 内各节点的 SM, 由簇头维护。顺序表更新的目的是保证簇头掌握虚拟单元格内各节点的情况, 为指定下一任簇头提供依据。当簇内节点发生数据通信, 引起节点的 $f(d_i, E_i)$ 值发生改变, 或当 VC 内新增了感知节点等情况时, 顺序表需要更新。

step2: 发现新增节点。簇头节点定期在 VC 内广播 Hello(VC_id, Node_id, t_2) 消息。普通节点定期开启通信模块收听 Hello 消息, 节点 i 收到 Hello 后, 比较自身 ST_i 保存的 VC_id 和 t_2 , 若两者都与 Hello 消息中的值相等或者 VC_id 值不等, 节点丢弃该 Hello 消息; 否则表明节点 i 为新增节点, 此时节点 i 要参照 Hello 消息修改 t_2 值, 更新 ST_i , 并向簇头发送自己的信息 SM。

step3: 簇头轮换。簇头节点定期检测自身的剩余能量, 当其值小于利用公式(7)估算出的阈值时, 该节点就要放弃簇头身份, 并完成以下工作:

①将自己从顺序表的首部移到底部, 并标记自己为历任簇头;

②指定继任者, 继任者即为处于顺序表首位的节点;

③与继任者完成信息交接, 包括顺序表、转发表等。

④确认簇头轮换。

继任者在收到簇头的指令后, 也需完成相关工作:

①与簇头完成信息交接;

②将 t_2 值加 1;

③在 VC 内广播 msg(VC_id, Node_id, t_2) 消息, 宣布自己当选为簇头;

④接收 VC 内各节点传输来的确认信息, 并更新顺序表;

⑤与相邻 VC 的簇头建立联系。

VC 内的其他节点在收到 msg 消息后需向新任簇头发送确认消息。

step4: 骨干网重构。当某 VC 内发生簇头轮换之后, WSN 的骨干网节点发生变化, 此时需要重构骨干网, 确保 WSN 的连通度。由于该 VC 的新任簇头继承了上任簇头的转发表, 而这张转发表储存了相邻 VC 簇头节点的 SM 及到达路径, 新任簇头只需按照已知的路径和地址发送消息, 就能与相邻 VC 的簇头建立联系, 完成骨干网的重构和过度。

3 仿真分析

利用 MATLAB 对 GAF 算法和改进 GAF 算法的相关性能进行了仿真分析。仿真时, 假定 200 个传感器节点随机分布在 200×200 的区域中, 每个节点的初始能量值为 1。节点在数据传输、接收以及空闲状态时

的功率分别为 0.002、0.0015、0.0012, 睡眠功率为 0.00003。通信半径 R_{com} 为 180, 参数 F (即事件发生频率) 设为 0.5 次每秒, \bar{E}_c 设为 0.0025。

图 4 模拟了改进 GAF 算法的虚拟单元格划分及首次簇头选举完成后的效果。从图中可以看出, 目标区域被划分成九个 VC, 每个 VC 选举产生一个簇头 (图中带红“*”标记的节点为簇头), 簇头约占节点总数的 0.5%, 并且簇头位置都靠近 VC 的中心。分析可知, 这种拓扑结构较好地满足了网络的连通度和覆盖度, 有助于优化网络能耗。

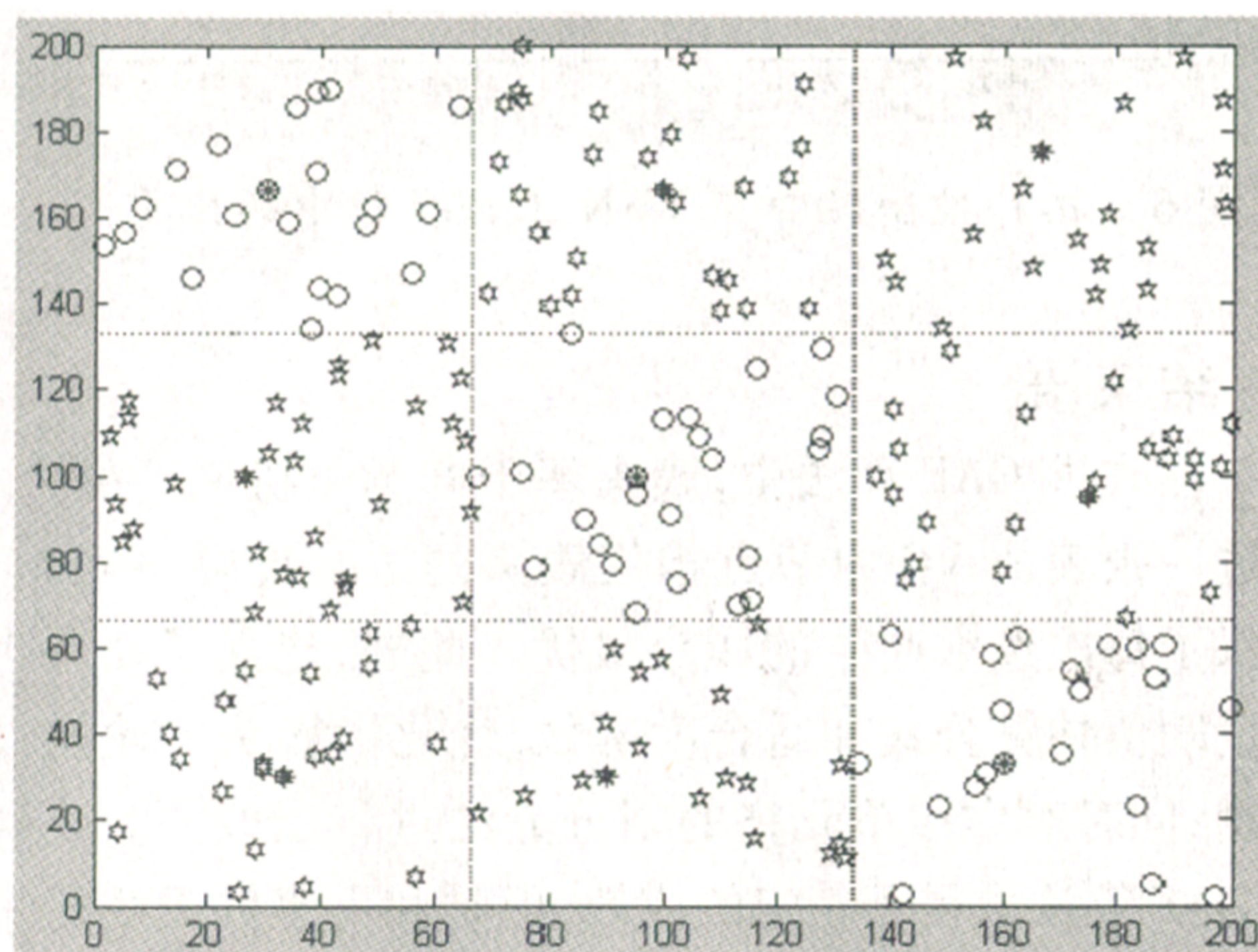


图 4 改进算法的 VC 划分及首次簇头选举效果图

图 5 显示, 改进算法对于延长网络的生命周期相比 GAF 算法具有明显优势。在相同的初始条件和环境下, 采用改进算法时, 节点的死亡速率明显要比采用 GAF 算法时慢。

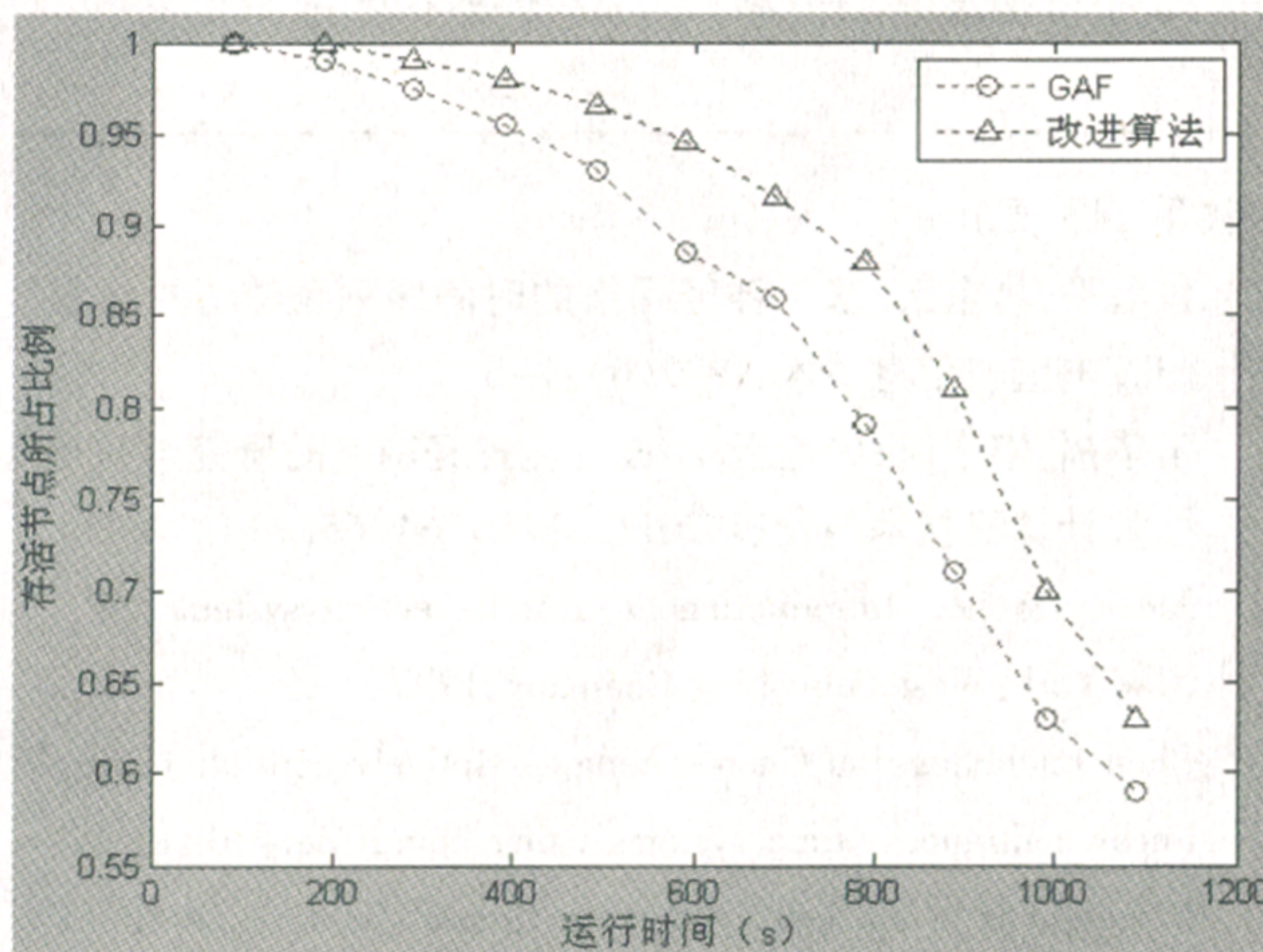


图 5 网络生命周期比较

网络的能耗效益表征在一定耗能的情况下, 网络获得有效数据量的多少。显然, 用于拓扑控制的代价越少, 越有利于提高网络的能耗效益。所谓用于拓扑控制的代价是指在拓扑构造阶段和进行拓扑维护时感知节点的能耗, 这部分能耗对于数据的采集与处理没有直接贡献。图 6 表明, 采用改进 GAF 算法时, 拓扑控制耗费在 WSN 工作耗费中所占的比重, 总体要比采

用 GAF 算法时低,能耗效益高。

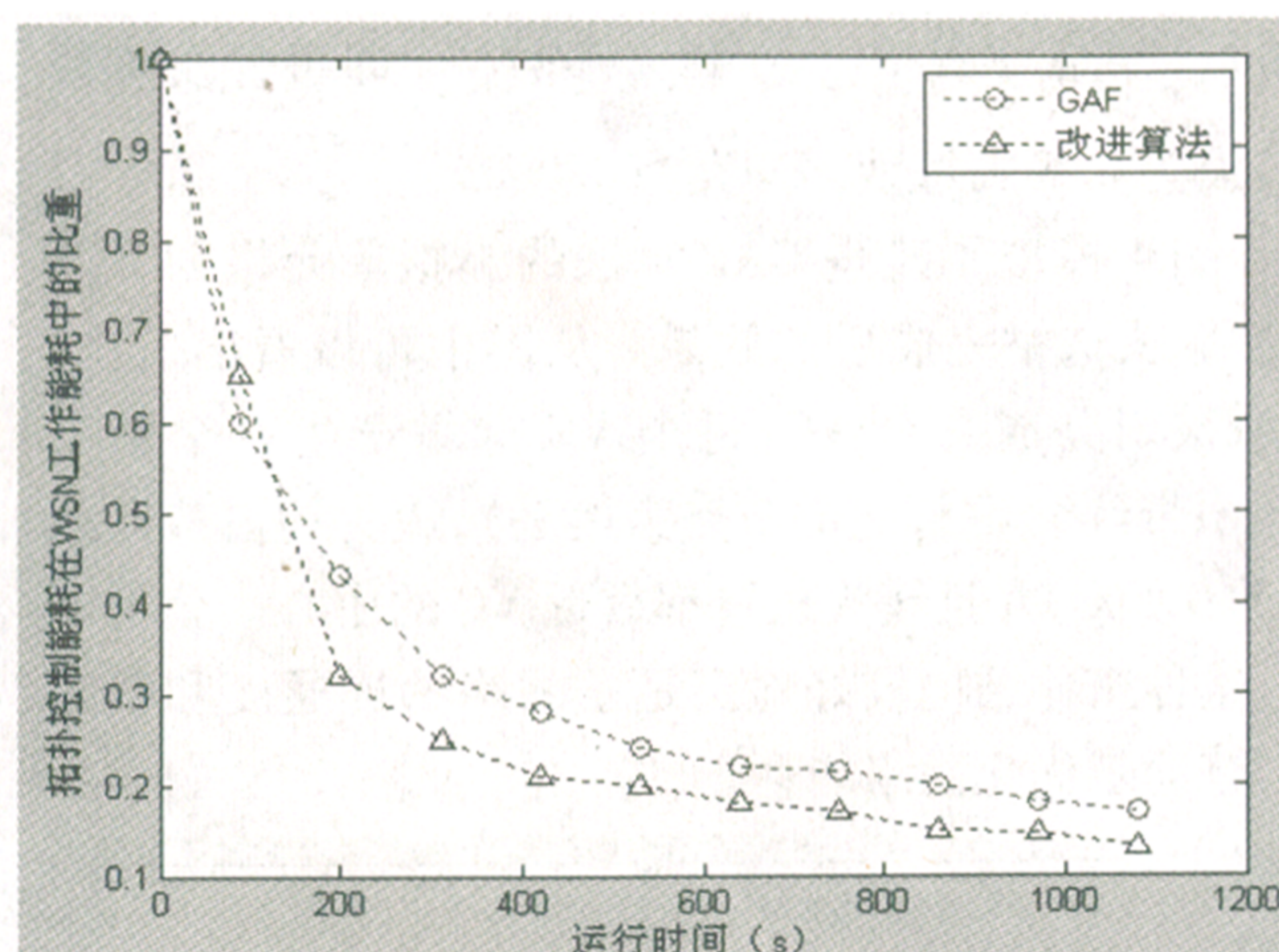


图 6 拓扑控制耗费在 WSN 工作耗费中的比重

4 结束语

在改进 GAF 算法中,簇头基于非竞争机制产生,通过一张表征 VC 内节点担任簇头的适合度顺序表,确保了每次选举产生的簇头最优。此外,建立了动态能量阈值估算公式和适合度函数,优化了簇头的轮换机制;同时对虚拟单元格的划分方法进行了改进。改进 GAF 算法取得了一定的成效,但是和大多数无线传感器网络拓扑控制算法一样,仍是建立在理想的环境条件和假设下,实践起来有一定困难,下一步工作要结合具体的应用,继续深入研究,增强算法的可操作性。

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,2005:89-106.

- [2] 张学,龚海刚,刘明.无线传感器网络拓扑控制的理论探讨[J].计算机科学,2010,37(10):105-109.
- [3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [4] 李冰,李捷.一种基于 GAF 的无线传感器网络分簇算法[J].计算机技术与发展,2008,18(12):113-115.
- [5] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing[C]//Proc of 7th annual int'l conf on mobile computing and networking. Rome, Italy: [s. n.], 2001: 70-84.
- [6] 刘曙,刘林峰,陶军.一种基于蜂窝结构的改进 GAF 算法[J].计算机技术与发展,2009,19(1):39-42.
- [7] Anastasi G, Conti M, Francesco M D, et al. Energy conservation in wireless sensor network: a survey[J]. Ad Hoc Networks, 2009, 7(3): 37-56.
- [8] 成小良,邓志东,董志然.基于无线通信和计算特征分析的能耗模型[J].计算机研究与发展,2009,46(12):1985-1993.
- [9] 金彦亮,蒋轶凡.传感器网络生命期问题研究[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(3):227-229.
- [10] 郝晓辰,翟明,刘彬,等.负载均衡的无线传感器网络拓扑控制算法[J].计算机工程,2009,35(5):84-86.
- [11] Rojas P M W. Topology Control in Wireless Sensor Networks[D]. Florida: University of South Florida, 2010.
- [12] Santi P. Topology control in wireless ad hoc and sensor networks[J]. ACM Computing Surveys, 2005, 37(2): 164-194.

(上接第 113 页)

- [3] 曹星平,易东云.基于神经网络的时间序列预测方法进展[J].电脑与信息技术,1999(6):1-3.
- [4] 丁华福,宋宇航,唐远新.小波混沌神经网络的研究与应用[J].计算机技术与发展,2011,21(8):64-65.
- [5] Jacek M Z. Introduction to artificial neural systems[M]. New York: West Publishing Company, 1992.
- [6] Chen Fuchuang, Liu Chen-chung. Adaptively controlling non-linear continuous-time systems using neural networks[C]//Proceedings of the 1992 American Control Conference. Chicago: American Automatic Control Council, 1992: 46-50.
- [7] 周成当. BP 神经网络与模拟退火法在测井解释中的应用[J].测井技术,1993,17(5):339-343.
- [8] 陈琛,李畅,陈玮.基于 BP 神经网络的农业 LED 光

源环境研究[J].计算机技术与发展,2011,21(9):179-182.

- [9] 郭兰平,俞建宁,张建刚.基于改进 RBF 神经网络对股价的演变预测[J].兰州交通大学学报,2010,29(1):141-145.
- [10] 李季涛,杨俊峰.基于径向基神经网络的大连站客运量预测[J].大连交通大学学报,2007,28(1):32-34.
- [11] 伊力哈木·亚尔买买提,哈力旦·A.基于改进 BP 神经网络的人脸识别算法[J].计算机技术与发展,2010,20(12):130-132.
- [12] Tarng Y S, Wang T C, Chen W N, et al. The use of neural networks in predicting turning forces[J]. Journal of Material Processing Technology, 1995, 47(324): 273-289.

作者： 顾梦祺， 蒋国平， 张金鑫
作者单位： 顾梦祺,蒋国平(南京邮电大学自动化学院,江苏南京210046)， 张金鑫(淮安信息职业技术学院电子工程学院,江苏淮安223003)
刊名： 计算机技术与发展
英文刊名： Computer Technology and Development
年， 卷(期)： 2012(8)

参考文献(12条)

1. 孙利民;李建中;陈渝 无线传感器网络 2005
2. 张学;龚海刚;刘明 无线传感器网络拓扑控制的理论探讨[期刊论文]-计算机科学 2010(10)
3. Heinzelman W B;Chandrakasan A;Balakrishnan H An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[外文期刊] 2002(04)
4. 李冰;李健 一种基于GAF的无线传感器网络分簇算法[期刊论文]-计算机技术与发展 2008(12)
5. Xu Y;Heidemann J;Estrin D Geography-informed energy conservation for ad hoc routing 2001
6. 刘娜;刘林峰;陶军 一种基于蜂窝结构的改进GAF算法[期刊论文]-计算机技术与发展 2009(01)
7. Anastasi G;Conti W;Francesco M D Energy conservation in wireless sensor network:a survey 2009(03)
8. 成小良;邓志东;董志然 基于无线通信和计算特征分析的能耗模型[期刊论文]-计算机研究与发展 2009(12)
9. 金彦亮;蒋铁凡 传感器网络生命周期问题研究 2009(03)
10. 郭晓辰;瞿明;刘彬 负载均衡的无线传感器网络拓扑控制算法[期刊论文]-计算机工程 2009(05)
11. Rojas P M W Topology Control in Wireless Sensor Networks 2010
12. Santi P Topology control in wireless ad hoc and sensor networks 2005(02)

本文链接： http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfx201208030.aspx