

无线传感器网络中基于扇形的非均匀分簇路由协议

刘同来, 刘伟强

(桂林电子科技大学 计算机科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 针对无线传感器网络分簇多跳路由协议中靠近基站的簇头节点容易死亡的缺点, 提出一种基于扇形的能量均衡的非均匀分簇路由协议 EBUCBS(Energy-Balancing Unequal Clustering Routing Protocol Based on the Sector). EBUCBS 协议采用固定分簇方式能减少重复分簇给网络带来的额外能量损失, 且靠近基站的簇的规模小于远离基站的簇规模, 使靠近基站的簇头有足够的能量转发信息而不容易死亡, 均衡了网络能量负载. Matlab 仿真实验表明: 与 LEACH 协议、EEUC 协议相比 EBUCBS 协议有效延长了网络生存时间.

关键词: 非均匀分簇; 扇形区域; 圆形区域; 弧形方块; EBUCBS 协议

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)02-0100-05

Unequal Clustering Routing Protocol Based on the Sector in Wireless Sensor Network

LIU Tong-lai, LIU Wei-qiang

(School of Computer & Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In clustering and multi-hop routing protocol which used in wireless sensor network, the cluster heads that close to the base station are easy to dead. To address the problem, this paper propose an Energy-Balancing Unequal Clustering Routing Protocol Based on the Sector (EBUCBS). Every node in a curved square form a cluster. When they communicate, cluster heads transfer the information to the base station along the direction of the sector in multi-hop. The experimental results show that EBUCBS protocol is better than LEACH protocol and EEUC protocol in prolonging the life of the wireless sensor network.

Key words: unequal clustering; sector area; circular area; curved squares; EBUCBS protocol

1 引言

无线传感器网络是由大量能量、计算能力有限的传感器节点组成, 这些传感器部署在监测区域, 将监测区域内的目标信息收集并通过网络传输到基站. 在无线传感器网络中, 节点能量有限是制约其发展的关键因素, 近十几年来, 大量高效分簇路由协议被提出^[1-5]. 人们为了进一步提高能量的利用率, 提出了一系列多跳通信路由协议, 这些协议都提高了网络生存时间, 并很好地平衡了网络内的能量消耗, 但它们存在如下缺点: (1) 每一个通信轮都对整个监测区域进行重新分簇, 造成额外的能量支出; (2) 簇间路由不是最节省能量的“直线”方式, 还需进

一步优化, 因为多跳通信中在同样的跳数情况下中转节点在信息起点到信息终点的直线上时最节省能量^[6].

针对这些缺点, 本文提出了一种新的非均匀分簇方法.

2 EBUCBS 协议原理

2.1 协议描述

EBUCBS(Energy-Balancing Unequal Clustering Routing Protocol Based on the Sector)协议将监测区域看成圆形区域, 基站位于圆心. 该协议包括三个大步骤, 每一步又包含若干子步骤.

第一步: 基站划分区域.

(1) 监测区域所有节点将自己的编号、位置信息发送给基站。基站根据节点的位置信息计算每个节点到基站的距离,然后基站根据监测区域节点的密度与最佳簇头个数生成两个参数 $\theta(0 < \theta < \pi/2)r$ 。基站根据某一参照点(Mark)将监测区域以自身为圆心划分成 $\lceil \frac{2\pi}{\theta} \rceil$ 个扇形子区域,并标上扇形子区域标记,然后将节点编号 ID 与节点所在的扇形子区域标记号一一对应起来,比如:节点 V 在扇形子区域 II,基站形成位置对应关系 $\text{location_sector}(V) = \text{II}$ 。

(2) 基站以自身为圆心生成半径为 $R_n(n = 1, 2, 3, \dots)$ 的一系列圆 O_n ,其中最靠近基站的圆半径 $R_1 = r$,且系列圆 O_n 的半径 R_n 满足如下条件:

$$R_n = n \cdot r \quad (n = 1, 2, 3, 4, \dots) \quad (1)$$

系列圆生成后监测区域又被分割成 n 个环形子区域,并标上环形子区域标记,从 1 开始,最里面的区域的编号为 1,然后将节点编号 ID 与节点所在的环形区域标记一一对应起来,比如:节点 V 在环形子区域 2,基站形成位置对应关系 $\text{location_annular}(V) = 2$ 。这样,整个监测区域被扇形分割后再被环形分割形成了以基站为圆心的离基站越远面积越大、离基站越近面积越小的弧形方块,但第一个圆内不划分扇形区域,而是一个整体圆形区域,如图 1 所示。

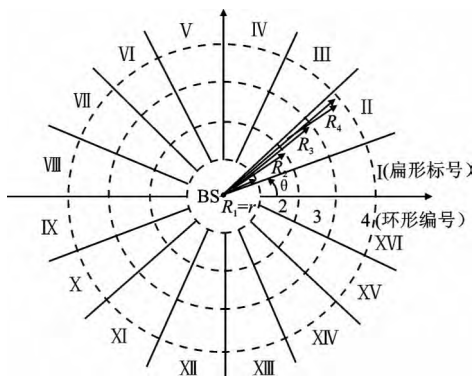


图1 区域划分图

(3) 基站计算出每个弧形方块区域的最大直径 d ,并将每个节点与其所在的弧形方块区域最大直径一一关联起来,比如节点 V 所在弧形方块区域最大直径为 5.5 m 则有 $\text{diameter}(V) = 5.5 \text{ m}$ 。该直径信息用于后面的簇内竞选,保证簇内每个节点可以收到同一簇内其他节点的广播信息。

(4) 基站对监测区域分好区后将节点的扇形编号信息、环形编号信息、节点所在弧形方块区域最大直径信息与到基站的距离等信息进行广播。

第二步:选择簇头、形成簇、簇间多跳路由路径形成阶段。

(1) 在本协议中簇是固定不变的,即每一个弧形方块区域就是一个簇,而靠近基站的第一个圆形区域内的所有节点与基站距离近,故它们不需要形成簇而直接与基站通信。

(2) 选取簇头。在竞选簇头时,所有节点均参与竞争,竞争采用如下规则。

所有节点将自身的能量、节点扇形区域编号、节点环形区域编号、到基站的距离等信息打包以自身所在的弧形方块区域最大直径为半径进行广播。如果任意节点收到其他节点的广播信息则对它进行如下操作:

① 首先比较收到的信息中的扇形区域编号、环形区域编号与本节点自身的扇形区域编号、环形区域编号是否相同,如果不相同则表明广播信息的节点不属于自己所在的簇的簇内节点,将该信息丢弃,如果相同,表明广播信息节点与本节点属于同一个簇,则进入下一步。

② 将信息中的能量信息与自身能量进行对比,如果自身能量大于对方节点能量则将该信息丢弃,如果自身能量小于对方节点能量则退出簇头节点竞选,如果自身能量等于对方节点能量则进入下一步。

③ 将信息中到基站的距离信息与自身到基站的距离进行对比,如果自身到基站的距离大于对方节点到基站的距离则退出簇头节点竞选,如果自身到基站的距离小于对方节点到基站的距离则将该信息丢弃,继续进行簇头节点的竞选。

经过上述三个过程后最后每个弧形方块区域内没有退出簇头竞争的节点成为该簇的簇头节点,并在簇内广播自己成为簇头的消息。该方法可以确保每个簇内只有一个节点成功竞选为簇头(因为同一簇内出现两节点能量与到基站的距离都相同的概率很低)。

(3) 簇间通信路由的形成。在编号为 1 的环形区域内的所有节点直接与基站通信,其他区域内的簇头节点 V 通过发送能量递增信号来寻找多跳通信时下一跳节点 V' , V' 必须满足如下条件之一:

(1) V' 是基站或者 V' 在编号为 1 的环形区域内;

(2) V' 是簇头节点且它的扇形编号和 V 相同,即它们是在同一扇形区域内,同时还要求 V' 到基站的距离比 V 到基站的距离近;

如果 V' 满足上面二个要求之一,则向 V 发出

“接受”信息,至此 V' 成为簇头 V 的下一跳节点, V 成为 V' 的上一跳节点. 如果 V' 不能满足上面二个要求之一将不做任何回应,则 V 继续寻找自己的下一跳,直到找到满足条件的下一跳节点为止. 这样,数据沿着扇形方向由外往里进行传输,通信路由几乎成一条“直线”.

经过第二步操作后整个监测区域形成的通信路径如图 2 所示.

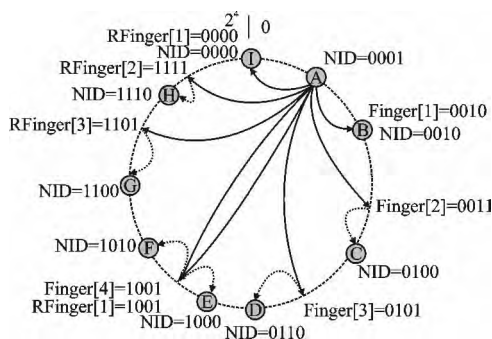


图 2 数据通信路径图

第三步:数据通信.

数据传输开始时,首先由普通节点将数据分时发送到各自的簇头节点,簇头节点将本簇的数据接收完成后进行以下操作:

(1)如果该簇头节点是通信路由的最外层节点的话,它将接收到的数据进行融合后传给它的下一跳.

(2)如果该簇头是其他簇头的下一跳的话,它需要等待其他簇头的数据信息,当该簇头的所有上一跳节点将数据全部发送到该簇头后,它才将所有数据进行融合发送给它的下一跳节点.如果在规定的时间内没有收齐所有数据则视没有发送数据的上一跳节点发生故障而不再等待.

以上步骤中第二、三步是每一轮通信都需要执行的步骤,而第一步只需最开始的时候执行.

2.2 参数 θ 、 r 的确定

由最佳簇头数、监测范围可得出两个参数之间的关系. 设监测区域为 $M \times M$ 的正方形区域,节点个数为 N ,监测区域内最大的环形区域编号为 $H_{\max}$ 根据文献[7]中的结论,最优簇头数 K_{opt} 如下:

$$K_{\text{opt}} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_{\text{fs}}}{\epsilon_{\text{mp}}}} \cdot \frac{M}{d_{\text{toBS}}^2} \quad (2)$$

其中, d_{toBS} 的表达式如下:

$$d_{\text{toBS}} = 0.765 \frac{M}{2} \quad (3)$$

式中, d_{toBS} 表示所有节点到基站的平均距离, ϵ_{fs} 和

ϵ_{mp} 分别表示空间模型和多路径衰减模型两种信道模型下功率放大所需能量.

本文采用最佳簇个数进行分簇,故在监测区域内应有 K_{opt} 个弧形方块区域数(离基站最近的圆形区域忽略不计)则有如下等式:

$$K_{\text{opt}} = \left\lceil \frac{2\pi}{\theta} \right\rceil \cdot (H_{\max} - 1) \quad (4)$$

最外围的圆圈应刚好将正方形监测区域包括在内,则最外围圆半径 $R_{\max}$ 满足如下要求:

$$R_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{2} M \quad (5)$$

根据式(1)有

$$R_{\max} = H_{\max} \cdot r \quad (6)$$

由式(5)、(6)可得

$$H_{\max} = \frac{\sqrt{2}M}{2r} \quad (7)$$

由式(4)、(7)可得

$$r = \frac{2\sqrt{2} \cdot \pi \cdot M}{2 \cdot \theta \cdot K_{\text{opt}} + 4 \cdot \pi} \quad (8)$$

所以,在新协议中 θ 参数确定了以后 r 参数也确定下来了. 下面通过 Matlab 仿真来确定新协议在实验条件下最合适的参数值,使得新协议在本实验条件下达到最佳性能. 实验参数设置如表 1 所示.

表 1 实验参数设置

参数	取值
节点个数	200
监测区域	100×100
节点初始能量	1 J
数据包	4 000 bit
控制包	100 bit
E_{elec}	5nJ/bit
ϵ_{fs}	20 pJ/(bit · m ⁻²)
ϵ_{mp}	0.013 pJ/(bit · m ⁻⁴)
E_g	10 pJ/(bit · signal ⁻¹)
d_0	30 m

在此实验条件下根据式(13)可计算出最佳簇 $K_{\text{opt}} = 14.6 \approx 15$. 图 3 是在上述实验条件下当 θ 取不同的值时,新协议运行的节点存活数与轮数关系仿真图,图中的“ π ”表示 π . 从图中可看出:当 θ 取值为 $\pi/2$ 时,网络生存时间最短,新协议性能最差,当 θ 取值为 $\pi/4$ 时,网络生存时间最长,新协议性能最好,故在该实验条件下最合适的参数值设置是 $\theta = \pi/4$,这时 $r = \frac{400\sqrt{2}}{23} \approx 24$.

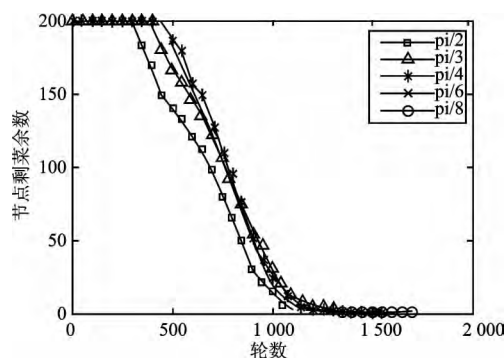
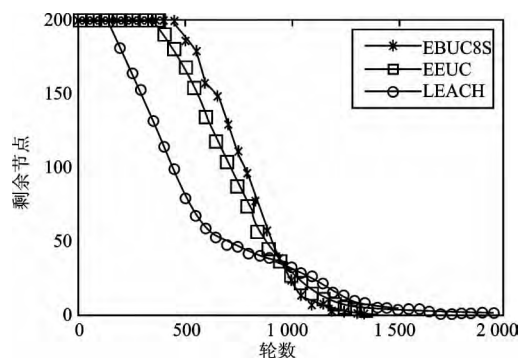
图3 θ 取不同值时节点存活情况图

图4 网络生存节点数与轮数关系图

3 仿真结果及分析

本文以 LEACH 协议与 EEUC 协议^[2]作为对比参照,采用文献[2]中的能量模型,通过 Matlab 分别对 LEACH 协议、EEUC 协议与新协议进行了模拟仿真,分别从网络的生存时间与能量负载均衡两方面来评价新协议的性能.仿真的前提是所有节点能量相同,所有节点位置不变,所有普通节点每次发送的数据量相同,节点死亡后不再添加新的节点.

3.1 网络生存时间

图4表示利用 LEACH 协议、EEUC 协议、EBUCBS 协议原理进行无线传感器信息传输时节点的死亡情况,最大轮数为2000轮,文中以50%节点死亡时所经过的轮数作为网络生存时间.文中对第一个节点开始死亡轮数、20%节点死亡轮数、50%节点死亡轮数、70%节点死亡轮数、全部节点死亡轮数进行了比较,结果如表2所示.

表2 三种协议不同生命周期对比结果

死亡节点数	LEACH	EEUC	EBUCBS
1	133	389	470
20%	286	525	611
50%	427	689	797
70%	629	836	876
100%	2 000	1 468	1 347

从表2中的结果可以看出 EBUCBS 协议比 LEACH 协议与 EEUC 协议的生存周期分别提高了86.4%与15.7%,第一个节点死亡时间更是分别推迟了253.4%与20.6%,20%、70%、100%节点死亡时间也都得到了很大的改善.之所以有如此大的改善是因为新协议中每一轮不需要用大量额外的能量对监测区域进行重新分簇,且簇与基站之间的通信路由是最节省能量的“直线”通信路由.

3.2 负载均衡性

文中用某时刻的能量方差函数 $D_E(t)$ 来衡量网络负载均衡性, $D_E(t)$ 越小表示网络负载均衡性越好.

能量方差函数:

$$D_E(t) = \frac{\sum_{i=1}^N [E_i(t) - G(t)]^2}{N} \quad (9)$$

式中, $E_i(t)$ 表示标记为 i 的节点在 t 时刻的能量, $G(t)$ 表示 t 时刻网络平均能量, N 表示网络节点总数.

图5是三种协议的能量方差与轮数关系图,从图中可以看到 EBUCBS 协议的方差一直远低于 LEACH 协议的方差,与 EEUC 协议的方差相比也低了很多,表明 EBUCBS 协议能耗负载均衡性高于 LEACH 协议与 EEUC 协,有利于网络生命周期的延长.

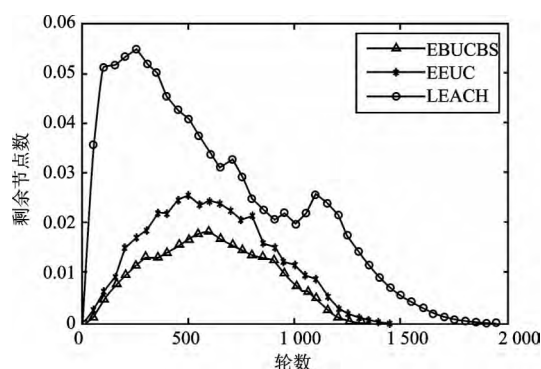


图5 方差对比图

总结实验结果,从网络生命周期与能量消耗情况两方面均说明本文提出的协议具有如下优点:(1)采用固定的能量均衡的非均匀分簇方式,避免了重复分簇所带来的额外能量消耗,提高了能量利用率;(2)簇间路由协议沿扇形方向,几乎成一条“直线”也有利于提高能量的利用率.

4 结束语

本文通过对现有的一些非均匀分簇协议进行分析,发现现有的非均匀分簇协议有如下两个缺点:一是每一个通信轮都对整个监测区域重新分簇,造成额外的能量支出;二是簇间路由不是最节省能量的“直线”方式,需进一步优化.基于此,本文针对这些缺点提出了 EBUCBS 协议,该协议利用扇形与圆形的性质解决了上述两个问题,延长了网络生存时间,提高了能量消耗均衡性.但随着监测区域增大,外围的簇的大小也随着增大,当外围簇的大到一定程度时,不利于簇头竞选以及簇头节点能量负担过重容易死亡,所以该协议不适合监测区域大的场景而适合监测区域较小的场景.

参考文献:

- [1] Ganesan Vennira Selvi, Rajendran manoharan. Unequal clustering algorithm for WSN to prolong the network lifetime (UCAPN) [C] // Proceedings International

Conference on Intelligent Systems Modelling Simulation. Bangkok; IEEE, 2013; 456-461.

- [2] 李成法,陈贵海,叶懋,等.一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36.
- [3] 蒋畅江,石为人,唐贤伦,等.能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232.
- [4] Wang Tong, Wu Jiyi, Xu He. A cross unequal clustering routing algorithm for sensor network[J]. Measurement Science Review, 2013, 13(4): 200-205.
- [5] Tao Liu, Qingrui Li, Ping Liang. An energy-balancing clustering approach for gradient-based routing in wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2012(35): 2150-2161.
- [6] 莫桂江. 蚁群-遗传算法的无线传感器网络路径优化[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(9): 139-142.
- [7] Raghuvanshi, Ajay Singh, et al. Optimal number of clusters in wireless sensor networks; a FCM approach[J]. International Journal of Sensor Networks, 2012, 12(1): 16-24.

(上接第 99 页)

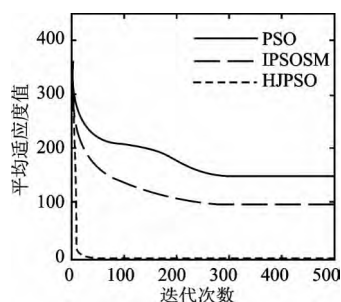


图 4 f_3 函数的迭代曲线

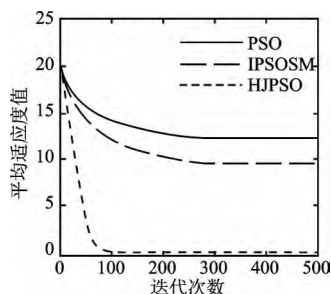


图 5 f_4 函数的迭代曲线

算子的粒子群优化算法. 在常用的标准测试函数上的测试结果表明, HJPSO 算法能够克服标准 PSO 算法在求解复杂的高维优化问题时的不足, 并

具有较好的稳定性和鲁棒性. 使用更多的测试函数来测试本文所提算法的性能, 并将其应用于求解实际问题, 将是下一步的研究内容.

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart C. Particle swarm optimization [C] // Proc of IEEE Int Conf on Neural Networks. Perth; IEEE Piscataway, 1995: 1942-1948.
- [2] 李明, 曹德欣. 一种可逃逸的杂交粒子群算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(12): 94-98.
- [3] Hooke R, Jeeves T A. Direct search solution of numerical and statistical problems[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1961, 8(2): 212-229.
- [4] 李丁, 夏露. 改进的粒子群优化算法在气动设计中的应用[J]. 航空学报, 2012, 33(10): 1809-1816.

作者简介:

谢朝政 男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为机载计算机技术. E-mail: lswchen@126.com

樊晓光 男, (1965-), 教授, 博士生导师. 研究方向为综合航空电子技术.

嵯真福 男, (1971-), 硕士, 讲师. 研究方向为综合航空电子技术.