

李飞飞, 缪伟晟, 吴华瑞, 等. 农田能量异构无线传感器网络簇首选择机制[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 400–402.

农田能量异构无线传感器网络簇首选择机制

李飞飞¹, 缪伟晟¹, 吴华瑞^{1,2,3}, 朱 丽¹

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;

3. 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097)

摘要:农田无线传感器网络监测过程中, 太阳能电池供电的无线传感器网络有着很多优势, 同时也存在着成本较高的问题。在农田无线传感器网络监测中加入部分太阳能节点进行监测, 可以降低成本并延长网络寿命。研究了农田环境中太阳能供电节点与干电池供电节点同时存在时无线传感器网络成簇过程, 在 LEACH 算法的基础上改进了一种簇首选择方法, 每一轮通过 2 次选举, 达到优先利用太阳能节点, 提高太阳能节点使用效率的目的。仿真结果表明, 通过此方法可以提高太阳能的利用率, 减缓节点死亡速度, 延长网络寿命。

关键词:无线传感器网络; 能量异构; 太阳能供电; 簇首选择; 2 次选举

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2014)08–0400–03

传感技术和智能信息处理是保证正确定量获取农业信息的重要手段, 在农业生产中大规模布置传感器节点可以对该地域的环境参数进行全天候不间断的观察, 为农业生产管理提供可靠的基础依据。同时不同于其他领域, 无线传感器网络在农业生产中的应用具有其自身特点。农作物生长需要监测的时间较长, 而偏僻的农业生产环境、各种基础设施的不足、远离市电供电设施这些因素又导致无线传感器节点无法获得持续无限的供电。现在最常采用的供电方式为干电池供电。节点采用干电池供电具有不需要电缆连线, 便于节点布置的优点, 也存在着能量较少, 不能长时间工作的问题。在大田生产过程中, 露天的环境有利于获取太阳能的能量, 在农田无线传感器应用中加入太阳能节点, 可以为农田环境的长时间监测提供持续的能量供给。但太阳能电池存在成本较高和天气原因造成的供给不稳定等问题。在农田无线传感器网络监测中采用部分节点干电池供电和部分节点太阳能电池供电的策略可以兼顾能源与成本问题。

由于干电池电量有限而太阳能电池电量能够得到补充, 因此, 如何尽量提高太阳能电池的利用效率, 延长无线传感器网络的生命周期是能否保证传感器网络在农田中大规模应用的一个关键问题。在网络运行过程中, 通信所耗能量占整个网络耗能的大部分, 因此, 电池供电节点负责数据的采集和上传, 分为采集阶段(传感+处理)、上传阶段、空闲阶段、休眠阶段。本研究考虑在网络中使用层次型拓扑结构。层次型拓扑结构组织是依据一定机制选择某些节点作为骨干网节点, 打开其通信模块, 并关闭非骨干节点的通信模块, 由骨干节点构建一个连通网络来负责数据的路由转发。这样既保证了原

有覆盖范围内的数据通信, 也在很大程度上节省了节点能量^[1]。在太阳能供电充足的情况下, 尽量将太阳能节点作为簇首节点。尽量减少电池供电节点的耗能, 将能耗较大的工作转移到太阳能电池供电的节点。本研究考虑在能量异构的无线传感器网络中, 通过优化分簇算法中的簇首节点选择, 以提高太阳能节点的能量利用效率和延长网络寿命。

1 LEACH 算法

LEACH(low energy adaptive clustering hierarchy)是典型的层次型分簇路由协议^[2]。LEACH 算法是目前研究比较多、影响较大的层次型拓扑结构分簇算法。其基本思想是:以循环的方式随机选择簇首节点, 将整个网络的能量负载均衡分配到每个传感器节点中, 从而达到降低网络能源消耗、提高网络整体时间的目的。LEACH 在运行的过程中不断地循环执行簇的重构过程, 每个簇重构的过程可以用“轮”的概念来描述, 每个轮可以分为 2 个阶段:簇的建立阶段和传输数据的稳定阶段^[3–7]。但是 LEACH 算法在簇首选择过程中, 簇首节点的选取采用随机策略, 没有考虑到每个节点的实际情况, 特别是在能量异构的传感器网络中, 簇首的随机选择不利于能量的有效利用。

2 网络模型

在加入太阳能电池供电节点的无线传感器网络中, 假设在天气良好的情况下, 太阳能电池可以及时充电, 保证网络运行过程中该能量的有效供给, 阴雨天和夜间太阳能电池不能充电进行能量补充。假设网络中所有的节点均匀分布在监测环境中, 太阳能节点在所有节点中的散布也是均匀的。

太阳能电池定义一个既定的阈值 E_{thr} , 太阳能电池节点 i 的剩余电量记为 E_s , 干电池节点 i 的电量记为 E_b 。根据 E_s 和 E_{thr} 的比较关系, 将网络中的所有节点根据属性分为 3 个类型等级:

准簇首太阳能节点—— $E_s \geq E_{thr}$, 对应阳光照射充足, 太阳能电池电量较足的状态, 电量超过事先设定的阈值 E_{thr} 。此时太阳能供电节点作为普通太阳能电池处理;

收稿日期: 2013–10–31

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2012BAD52G01); 北京市自然科学基金(编号: 4122034)。

作者简介: 李飞飞(1986—), 女, 湖南新宁人, 硕士, 主要研究方向为智能系统及无线传感器网络。Tel: (010) 51503620; E-mail: liff@nercita.org.cn。

通信作者: 吴华瑞, 博士, 研究员, 主要研究方向为智能系统及无线传感器网络。Tel: (010) 51503921; E-mail: wuhr@nercita.org.cn。

降级太阳能节点—— $E_{s_i} < E_{s_{thr}}$, 对应夜间或者阴雨天气, 此时太阳能电池电量低于阈值则在分簇时与干电池处于同等地位, 与干电池电量变化规律一致, 在竞选簇首节点的时候, 此太阳能供电节点具有同干电池同样优先等级。

干电池节点——干电池供电节点能源供给稳定, 持续时间稍短, 同一个节点的干电池的电量随时间呈单调递减变化。

3 簇首选择算法

首先对算法中的一些参数和变量作如下定义:

N_h —网络中预先设计的簇首节点的个数; N —太阳能电池和干电池的总的节点个数; N_s —太阳能电池节点数; N_b —干电池节点数, 即: $N = N_s + N_b$; N_{bh} —当选为簇首的干电池节点个数; $N_{s_{thr}}$ —太阳能电池的电量超过或等于阈值 $E_{s_{thr}}$ 的个数, 即准簇首太阳能节点的个数; $N_{s_{low}}$ —太阳能电池的电量小于阈值 $E_{s_{thr}}$ 的个数, 即降级太阳能节点的个数。其中 $N_s = N_{s_{high}} + N_{s_{low}}$; 太阳能节点占总节点的百分比: $p_s = N_s / N = (N_{s_{high}} + N_{s_{low}}) / N$ 。

3.1 太阳能节点中筛选簇首节点的阈值设定

如果 $N_{s_{high}} \geq N_h$, 则在所有的太阳能节点进行簇首节点的筛选。因为能量充足, 不必考虑节点上一轮是否选为簇首, 超过电量阈值 $E_{s_{thr}}$ 的各个太阳能节点具有相同的概率被选为簇首节点。每个太阳能节点都产生 1 个 0~1 之间的随机数, 如果某个节点产生的随机值小于设定的阈值 $T(n)$, 则选择该节点为簇首节点。式(1)是阈值 $T(n)$ 的定义:

$$T(n) = N_h / N_{s_{high}} \quad (1)$$

3.2 所有节点中筛选簇首节点的阈值设定

如果 $N_{s_{high}} < N_h$, 则同时需要太阳能电池节点和干电池节点作为簇首节点。

直接将所有的电量超过阈值的太阳能节点作为簇首节点, 即每一个电量超过阈值的太阳能节点作为簇首节点的概率为 1:

$$T(n) = 1; \quad (2)$$

不足的簇首个数从干电池供电节点中选取, 需要从干电池节点中选取的簇首节点个数为

$$N_{bh} = N_h - N_{s_{high}}; \quad (3)$$

因此, 干电池中选取的簇首节点的比例为

$$p_b = N_{bh} / N_b; \quad (4)$$

每个干电池节点具有产生 1 个 0~1 之间的随机数, 如果某个节点产生的随机值小于设定的阈值 $T(n)$, 则选择该节点为簇首节点。式(5)是阈值 $T(n)$ 的定义:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p_b}{1 - p_b \times [r \bmod (1/p_b)]}, & \text{if } n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (5)$$

式中: p_b 为干电池供电节点成为簇首节点的百分数, r 为当前轮数, G 为在最近的 $1/p_b$ 轮中未当选簇首干电池供电节点集合。

3.3 成簇算法流程描述

初始阶段, 各个节点将自己的电量情况向邻节点进行广播, 广播消息的内容包括: 节点的当前能量值, 节点的供电方式: 太阳能供电或干电池供电。在簇首竞争阶段, 节点监听其他节点发送的状态信息, 节点根据收到的监测区域内的其他节点的信息选择簇首节点。簇形成阶段采用与 LEACH 算法

相同机制, 即簇首节点广播 CLUSTER_HEAD 消息, 非簇首节点收到 CLUSTER_HEAD 消息后, 根据自己与簇首之间的距离来选择加入哪个簇, 并告知该簇首。簇首节点选定后, 广播自己成为簇首的消息, 节点根据接收到的消息的强度决定加入哪个簇, 并告知相应的簇首, 完成簇的建立过程。

成簇算法伪代码描述:

步骤 1: 太阳能节点等级标记

If 节点 i 为太阳能供电节点

If 节点 i 的电量 $> E_{s_{thr}}$

节点 i 的状态标记为“准簇首太阳能节点”

End if

If 节点 i 的电量 $< E_{s_{thr}}$

节点 i 的状态标记为“降级太阳能节点”

End if

End if

步骤 2: 基站接收所有准簇首太阳能节点的信息, 统计个数 $N_{s_{high}}$ 。

步骤 3: 簇首节点调整

If $N_{s_{high}} = N_h$

将步骤 1 确定的簇首节点作为本轮最终簇首节点。

Else if $N_{s_{high}} > N_h$

按照“3.2”节算法在所有的准簇首太阳能节点中进行簇首节点的筛选。

Else // $N_{s_{high}} > N_h$

直接将所有的准簇首太阳能节点作为簇首节点; 不足的簇首个数按照“3.2”节算法从干电池供电节点中选取。

End if

步骤 4: 普通节点加入簇, 簇首节点确认

if 节点的状态为非簇首节点

接收所有簇首消息, 从接收的消息中选取候选簇首中能量最大者;

向最近的簇首或者最大能量的簇首发送加入簇的消息;

End if

if 节点状态为簇首节点

接收所有加入消息, 并且把它们列入簇的成员;

给每一个成员发送确认消息;

End if

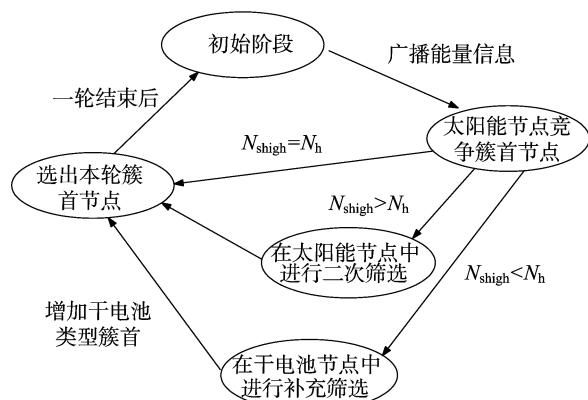


图1 节点状态变化

4 效果分析

4.1 试验方案

采用仿真软件进行仿真。节点总数设置为 100 个,其中太阳能电池供电节点 20 个,干电池供电节点 80 个,仿真场景为 100 m×100 m,2 种节点均匀地散布在场景中。仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数表

参数	参数值
干电池初始能量大小	2 J
数据包大小	1 000 bit
信道带宽	1 Mb/s
节点传输半径	20 m
E_{ele}	50 nJ/bit
ε_{fs}	10 pJ/(bit·m ²)
ε_{mn}	0.013 pJ/(bit·m ⁴)
太阳能节点电量阈值 E_{sthr}	2 J

太阳能电池的情况见表 2。

表 2 太阳能电池情况

情况 1	节点充电,最高能量 2.5 J
情况 2	从 2.5 J 持续下降

在仿真过程中,为了更好地模拟无线传感器网络在真实农田环境中运行的场景,仿真过程交替出现情况 1 和情况 2,每 500 轮转换 1 次。情况 1 代表着天气晴朗适合太阳能电池充电的情况,在这种情况下,电池供电充足,工作过程中节点电量基本保持不变。情况 2 代表着阴雨天气或夜间,太阳能电池无法充电,节点在工作过程中电量不断减少。

4.2 对比分析

为验证改进簇首选择机制在网络生命周期和提高太阳能电池利用率方面的效果,分别对比太阳能节点平均能量、干电池节点平均能量和节点存活个数。通过采用新的簇首选择算法,从图 2-a 看出,网络节点的平均剩余能量在多轮以后,较 LEACH 算法剩余能量更多,在相同的数据传输情况下,说明采用新的簇首选择机制,提升了太阳能节点的利用效率,网络获得和使用了更多太阳能。同时多轮以后,采用新的簇首算法使得网络中节点的存活节点更多,因此网络的寿命也延长了,如图 2-c 所示。图 2-b 所示为分别采用 LEACH 算法和新的簇首选择算法后太阳能电池节点的变化情况。

5 结论

本研究根据农业生产环境中的部分传感器节点采用太阳能供电的这一场景,在 LEACH 算法的基础上改进了一种簇首选择方法,每一轮通过 2 次选举,达到优先利用太阳能节点、提高太阳能节点使用效率的目的。仿真结果表明,通过此方法可以提高太阳能的利用率,减缓节点死亡速度,延长网络寿命。但是算法同时存在一些局限,主要是无线传感器网络在农田中的实际布局,太阳能电池供电节点分布可能不太均匀,造成一片较大的监测区域没有太阳能供电的节点,无法选出簇首;仿真的过程对实际环境中太阳能节点的工作和天气情况的模拟过于简单。这些问题都有待于进一步研究。

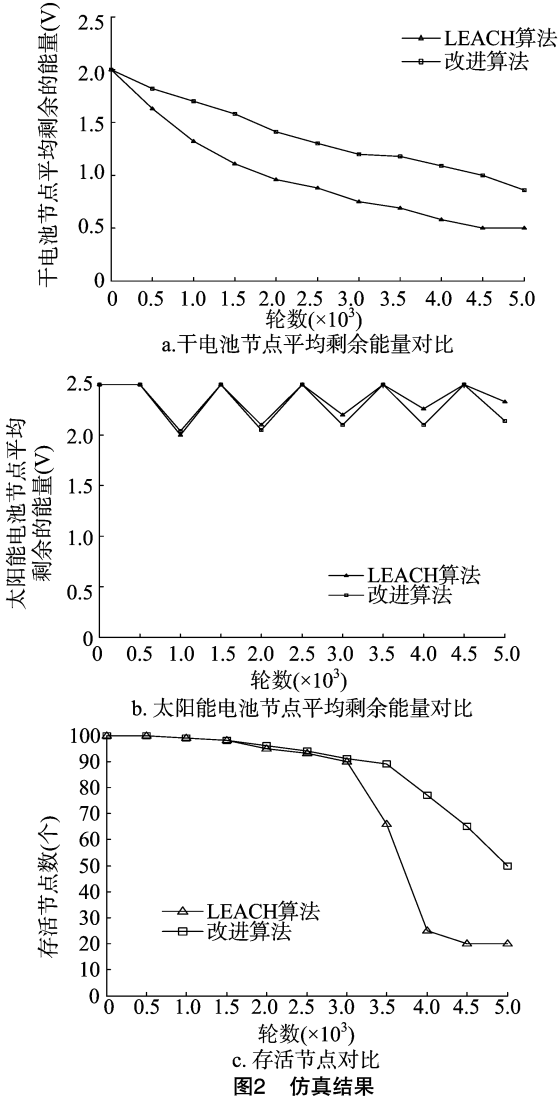


图2 仿真结果

参考文献:

[1]陈雷. 异构无线传感器网络的拓扑控制算法研究[D]. 苏州: 苏州大学,2011.

[2]Heinzelman W R, Chandraksan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii,2000:1-10.

[3]Mirza A, Garimella R M. PASCAL: power aware sectoring based clustering algorithm for wireless sensor networks[C]. Proceeding of International Conference on Information Networking,2009:1-6.

[4]Bandyopadhyay S, Coyle E J. An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks[C]. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. 2003:1713-1723.

[5]林少钦. 分簇无线传感器网络的能量有效性研究[D]. 上海: 上海交通大学,2012.

[6]张伟华,李腊元,张留敏,等. 无线传感器网络 LEACH 协议能耗均衡改进[J]. 传感技术学报,2008,21(11):1918-1922.

[7]蔡海滨,琚小明,曹奇英. 多级能量异构无线传感器网络的能量预测和可靠聚簇路由协议[J]. 计算机学报,2009,32(12):2393-2402.