

基于 LEACH 路由协议的多跳节能路由算法

赵菊敏, 张子辰, 李灯熬, 温海滨

(太原理工大学 信息工程学院, 太原 030024)

摘要: 当无线传感器网络部设在不同环境中时, 需要提出新的算法以适应特殊环境, 减少节点能量消耗; 算法针对 LEACH 路由算法的局限性, 提出了一种适用网络覆盖范围较大, 节点间距离较远, 需要远距离传输的路由算法; 本算法利用节点到基站的距离因素, 修改簇头阈值信息; 并利用簇头竞争重新设定簇头, 使剩余能量较高的节点成为簇头; 同时, 运用多跳的方式传输数据, 这样可以适应远距离传输; 仿真结果表明, 相对 LEACH 算法, 算法将节点死亡时间推后了 300~400 轮, 网络存活周期延长了 400 轮左右, 很明显的减少了网络的能量消耗, 延长了网络的生存周期和稳定性。

关键词: 无线传感器网络; 簇头阈值; 簇头竞争; 减少能耗

Routing Algorithm of Multi-Hop And Energy-Saving Based on LEACH Routing Protocol

Zhao Jumin, Zhang Zichen, Li Dengao, Wen Haiben

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: When the wireless sensor network is laid in different environments, a new algorithm should be proposed to adapt to the special environment and reduce the energy consumed by each node. In this paper, a new routing algorithm is proposed aim at the LEACH routing algorithm. The algorithm can be used in the situation of large-coverage, long distance between the nodes and the transmission of long distance. The algorithm makes full use of the distance between the node and the base station to modify the cluster threshold information. Then it can reset the cluster using the cluster competition and the node with high residual energy becomes the cluster head. At the same time, the use of multiple hops to transmit data can adapt to long distance transmission. The simulation shows that, relative to LEACH algorithm, the death time of nodes will be delayed for 300-400 rounds in this algorithm. The network live cycle extended survival period of about 400 rounds. Obviously, it reduces the network energy consumption and prolongs the network life cycle and stability.

Key words: wireless sensor network (WSN); cluster heads threshold; cluster competition; reduce energy consumption

0 引言

近年来, 随着无线通信技术与传感器节点的小型化、低成本的迅速发展, 加速了无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks) 的发展^[1]。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等。无线^[2]传感器网络是由成千上万个传感器节点组成, 各个传感器节点有自组织能力, 可以自发的组成无线传感器网络^[2]。这些网络节点分布在某个监控区域内, 并可以进行数据采集、融合、传输、交换等功能去完成整个网络的情况监控、数据处理等相关功能。因此, 无线传感器网络已经成熟的运用到抢险救灾、环境监测, 甚至军事和医疗当中。

由于无线传感器网络节点体积较小, 无外接供电。因此, 当某些节点的能量耗尽, 这时这些节点就成为死亡节点, 将会导致此处网络“断层”, 导致无线传感器网络运行不畅, 甚至导致整个网络瘫痪。因此, 能耗问题已经成限制无线传感器网发展的最重要问题, 降低能耗成为首当其冲的任务。在解决能耗问题当中, 一个低功耗的路由协议就显得尤为重要。LEACH 路由协议是一种经典的分簇路由协议, 其将网络分为几个区域 (簇), 簇内由簇头节点和普通节点组成, 普通节点将数据传给簇头再利用簇头将数据传送给 Sink (基站)。但是 LAECH 协议也有其缺陷性及局限性: (1) 簇头选择采取随机方式, 可能导致能量较少的节点担任簇头, 以致簇头过快死亡^[3]。(2) 簇头与基站、普通节点与簇头采取单跳通信, 能耗太大, 网络扩展性不强, 不适应大规模网络^[3]。因此, 本文以 LEACH 协议为基础, 提出了一种适应于网络覆盖范围较大的特殊环境 (如森林, 山区等), 需要大范围组网以及较远距离传输的路由协议 (MHES)。本算法利用节点到站距离以及平均能量等因素修改簇头阈值, 改变簇头选举方式。同时, 加入以及簇内、簇间链式传输, 大大降低了远距离传输数据的能耗, 有效的提高了网络的稳定性和生存时间。

收稿日期: 2014-01-17; 修回日期: 2014-02-27。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (61303207); 国家自然科学基金面上项目 (61371062); 教育部 2012 年高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题 (20121402120020); 山西省科学技术发展项目工业部分 (20120321024-01); 2012 年山西省留学回国人员科技活动择优资助项目 (山西省人力资源和社会保障厅)。

作者简介: 赵菊敏 (1976-), 女, 山西大同人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事无线传感器网络方向的研究。

李灯熬 (1971-), 男, 山西忻州人, 教授, 硕士生导师, 主要从事盲源分离、无线传感器网络方向的研究。

1 网络模型及能量模型

1.1 网络模型

(1) 每个传感器节点将会被随机布撒在网络中, 且只有唯

一 ID 信息与之对应。

(2) 每个传感器节点都已安装有 GPS 模块, 并可以准确的测算出自身所处网络的地理位置信息。

(3) 网络中所有传感器节点都具有单跳或多跳的方式与 Sink 节点通信的能力, 并且节点可调整自身的发射功率^[4]。

(4) Sink 节点和传感器节点固定, Sink 节点远离监测区域, 能量可得到补充, 且 Sink 节点的处理能力比较强^[4]。

(5) 相邻监测区域的数据有高度的相关性, 能够进行数据融合。

1.2 能耗模型

本文采用第一顺序无线电的能耗模型 (与 LEACH 相同)。如图所示: 这个模式基于以下两个假设:

(1) 网络中所有节点类型完全相同, 并且能量有限^[5];

(2) 节点的发射范围近似看作为一个圆形, 并且在不考虑地形的因素下, 无线信号在各个方向上能量消耗相同^[5]。

节点发送与接收能量的消耗共同组成了节点的能耗。又由发射电路所产生的能耗和信号放大电路所产生的能耗组成发送模块所产生的能耗。节点发送 k 比特数据所消耗的能量为:

$$E_T(k, d) = E_T \times k + E_{is} \times k \times d^{\alpha} = E_{ele} \times k + \epsilon_{fs} \times k \times d^{\alpha} \quad d \leq d_0 \quad (1)$$

$$E_T(k, d) = E_T \times k + E_{is} \times k \times d^{\alpha} = E_{ele} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^l \quad d > d_0 \quad (2)$$

节点接收 k 比特数据所消耗的能量为:

$$E_R(k) = E_R \times k = E_{ele} \times k \quad (3)$$

式中, E_{ele} 为发送或接收每比特数据所产生的能耗, ϵ_{fs} 为自由空间模型的传输系数, ϵ_{amp} 为多径衰落传输的系数, d 为节点到基站距离, d_0 为距离常数。当 $d \leq d_0$ 时, 采用自由空间能耗模型。当 $d > d_0$ 时, 采用多径衰落能耗模型。

2 算法设计

无线传感器网络在某种特殊空间内 (如森林, 隧道) 进行通信, 数据需要从远处传输到基站。显然, 距基站较远处的节点要比较近的节点消耗能量多。因此, LEACH 协议在这种空间内应用会遇到瓶颈, 例如距基站较远处节点死亡过快, 死亡节点分布不均等。为了适应此类环境, 我提出了新的簇头选取方式, 加入节点距基站距离等因素, 实现不同的分簇方法。同时, 簇内节点链式传输以及簇头节点多跳的传输方式来克服远距离数据单向等问题。

传感器网络节点数据传输流如图 1 所示。

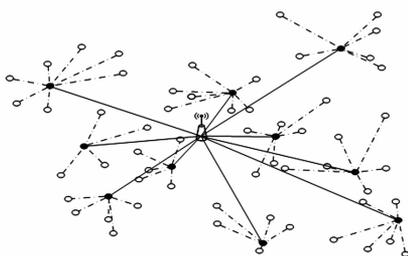


图 1 节点数据传输流向图

实心小圆点为簇头节点, 空心小圆点为普通节点。在每个簇内数据的传输流向为普通节点向簇头。之后再由簇头传送给中间位置的 Sink (基站) 节点。显然, 距离基站较远位置的节点在传输数据的过程中会经过更长的距离, 在这之中就会消耗

更多的能量。因此, 为了适应相应环境, 我算法做了如下改进。

(1) 在簇建立阶段, 由于需要进行远距离传输, 在成簇的时候需要考虑距离基站较远的节点能耗过大的问题。因此, 簇头选取的时候应当考虑距离因素, 下式为簇头阈值改进公式:

$$T_{(n)} = \frac{p}{1 - p \left(\text{round} \left(\frac{1}{p} \right) \right)} \times \frac{1}{(D_m \times (1 - \omega))} \quad n \in G \quad (4)$$

式中, D_m 为加权因子, 随着网络的环境不同在 0 到 1 之间变化。其 ω 为距离因子:

$$\omega = \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (5)$$

式中, d_i 为节点到基站距离, d_{\min} 、 d_{\max} 为距离基站最近、最远的节点到基站的距离。由公式可知: 当节点距基站越远时, $\frac{1}{(D_m \times (1 - \omega))}$ 越大, $T_{(n)}$ 值也就越大, 也就提高了该节点成为簇头的概率这样可以保证距离基站较远的区域有更多的簇头节点, 可以分摊更多的能耗, 保证网络的稳定性。同时, 由于传感器节点的发射功率有限, 因此, 成簇半径有限, 簇的数量增加有助于保证距离基站较远处的网络覆盖性, 提高网络整体能力。具体执行方法为:

首先各个节点先计算自身剩余能量以及阈值等相关数据, 等待基站广播成簇消息。当收到成簇消息后开始选簇头, 簇头选举出之后将向周围节点广播簇头信息 Head_message, 广播自身 ID 及相关信息。同时, 等待普通节点的 Join 信息。

(2) 成簇半径的大小直接影响网络的生存时间。由于本路由为适应远距离传输。因此, 在成簇半径上做了相关改进, 使得距离基站较远的成簇半径大, 这样可以减少簇头之间与基站的通信次数, 节省能量。成簇半径公式如下:

$$R = (1 + C \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}) R_c \quad (6)$$

式中, R_c 为候选簇头竞争半径最小值。算法需要控制竞争半径的取值范围, 使得距离基站最远节点的竞争半径为 $(1 + c)R_c$, 其中 c 是用于控制取值范围的参数, 根据环境的不同在 0 到 1 之间取值, c 越大竞争半径越大, 簇头消耗能量越大, 本文中 c 取值为 1。^[6]显然, 竞选半径随距基站距离增加而增加。执行方法: 各个普通节点得到 Head_message 计算与簇头之间的距离, 如在成簇半径内, 即选择较近的簇头发送 Join_Head 加入该簇。

(3) 成簇之后簇头的竞选。簇建立完成之后, 当簇头节点的剩余能量小于簇内平均剩余能量 $E_{\text{clusteravg}}$ 时, 将开启簇头竞选模式, 更换簇头。簇头将会利用广播, 通知本簇内剩余能量最大的节点, 让之成为新簇头。这样可以平衡能耗, 同时保证剩余能量较高的节点成为簇头。

簇头选举算法简单流程如下:

- ① If $Er(\text{head}) < \text{consumption} // \text{consumption}$ 为簇头能量消耗最小值
- ② Election of Cluster Heads // 选簇头
- ③ Else
- ④ If $Er(\text{head}) < E_{\text{clusteravg}}$ // 簇头能量小于平均能量
- ⑤ $ID(\text{head}) = ID_{\max}$ // 能量最大的节点被选为簇头
- ⑥ Broadcastch[ID(head)] // 重新广播簇头信息
- ⑦ END
- ⑧ If = ID_{\max}

- ⑨ Modify the cluster information // 修改簇信息
- ⑩ SendSink() // 向基站发布新簇头消息
- Else
- Modify the cluster information
- Join_head() // 向新簇头广播加入消息
- END
- END

簇头收到成员节点的 Join 消息后, 建立 TDMA (Time Division Multiple Access) 调度, 产生时隙表, 并广播通告给每个成员节点, 告知成员节点发送数据的时间与顺序。这保证了簇内节点只在相应的时隙发送数据, 减少了数据传输时的冲突, 节点在非数据传输阶段进入休眠状态, 从而减少各个节点的能耗^[7]。

(4) 数据在节点之间传递有两种方式, 单跳与多跳。假设两节点之间的距离为 r , 如果需将 k 比特数据传送到距离 nr 的节点处时, 单跳数据传输方式能耗如下:

$$E_{\text{direct}} = E_{Tx}(k, d = nr) = E_{\text{ele}} \times k + \epsilon_{fs} \times k \times (nr)^2 = k(E_{\text{ele}} + \epsilon_{fs} \times n^2 r^2) \quad (7)$$

当采取多跳方式的时候, 一共需要消耗 n 次距离为 r 的 k 比特数据发送耗能, 还需要 $n-1$ 次接收耗能, 其能耗模型为:

$$E_{\text{duotiao}} = n \times E_{Tx}(k, d = r) + (n-1) \times E_{Rx}(k) = n(E_{\text{ele}} \times k + \epsilon_{fs} \times k \times r^2) + (n-1) \times E_{\text{ele}} \times k = k[(2n-1)E_{\text{ele}} + \epsilon_{fs} \times n \times r^2] \quad (8)$$

比较两种能耗模型大小, 如果直接传输比多跳传输能耗大, 可得下式:

$$E_{\text{ele}} + \epsilon_{fs} \times n^2 r^2 > (2n-1)E_{\text{ele}} + \epsilon_{fs} \times n \times r^2$$

$$\frac{nr^2}{2} > \frac{E_{\text{ele}}}{\epsilon_{fs}}$$

$$r > \sqrt{\frac{2E_{\text{ele}}}{n\epsilon_{fs}}} \quad (9)$$

可知 $E_{\text{ele}} = 50 \text{ nj/bit}$, $\epsilon_{fs} = 10 \text{ pj/bit/m}^2$ 当 n 取最小值 2 时, 则 $r > 70 \text{ m}$, 这时多跳传输比直接传输节省能量 (取 2 的情况极少, n 越大 r 值需要大于的数值越小)。本文提出的路由算法适应于网络范围较大, 节点间距离较远的远距离数据传输。因此, 采用多跳传输可以省能量。同时, 本文簇内选择利用相同于 PE-GASIS 算法^[8]的链式传输方式进行数据链式传输, 这样可以在簇内形成数据流链, 在减少延时的同时, 降低能耗, 提高了网络的稳定性。为了使簇头确定父节点, 我们引入权值:

$$W_j = \frac{E_{c,j}}{\bar{E}} + \frac{d^2(S_i, B)}{d^2(S_j, B) + d^2(S_i, S_j)} \quad (10)$$

式中, W_j 为 j 节点相对于 i 节点的权值, $E_{c,j}$ 为 j 节点剩余能量, \bar{E} 为总网络平均能量, $d(S_i, B)$ 为节点 i 到基站的距离, $d(S_i, S_j)$ 为簇头 i 到簇头 j 的距离^[9]。簇头节点寻找下一跳的方法为: 簇头 S_i 计算邻居簇头权值 W_j , 然后选择 $W_j > 2$ 的簇头集合为自己的下一跳由, 选择其中最大的为自己下一跳路由。^[9]如果权值相等, 选择距基站较近的簇头作为自己的父亲节点, 这样一级一级的将数据传送给基站。在稳定运行之前, 各个簇头节点会建立 4 个存储单元 cluster_neig ID、cluster_W、cluster_S 和 data_Next 分别存放邻居簇头的 ID 地址、邻居簇头的权值集合、邻居簇头到自身的距离和父亲节点 ID。在计算完自身父亲节点之后, 会在自己的 data_Next 存储父亲节点的 ID, 准备向其发送数据。算法执行流程图如图 2

所示。

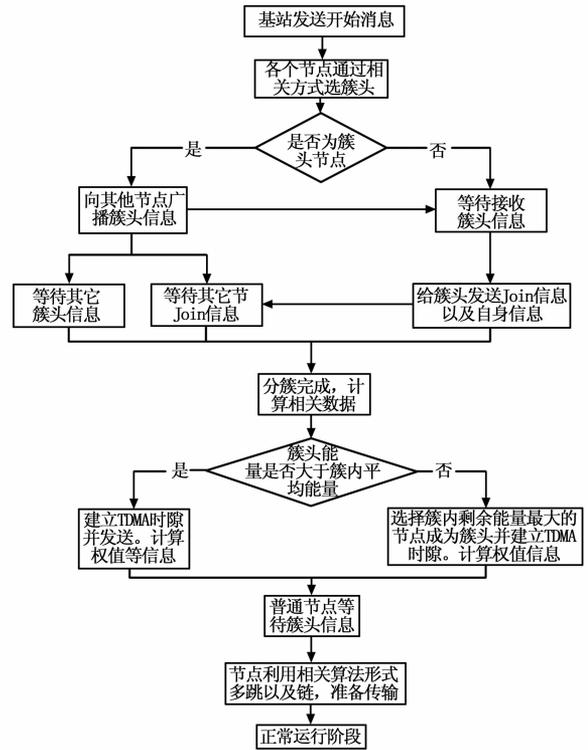


图 2 算法执行流程图

3 仿真分析

本文以 MATLAB 进行模拟仿真, 验证算法的相关性能以及优越性。实验利用相关参数如下:

- (1) 无线传感器网络覆盖区域为 160×160 的区域内;
- (2) 基站位置为坐标 $(-50, -50)$ 点;
- (3) 传感器节点个数为 240;
- (4) 每个节点的初始能量为 0.5 j ;
- (5) 发送 1 比特数据消耗的能量 $E_{\text{ele}} = 50 \text{ nj/bit}$;
- (6) 融合 1 比特数据所消耗的能量 $E_d = 5 \text{ nj/bitnj/report}$ 。
- (7) 自由空间传输系数 $\epsilon_{fs} = 10 \text{ pj/bit/m}^2$

3.1 节点分布示意仿真

图 3 为节点的数据传输示意图。在簇内普通节点通过贪婪算法^[10]成链将数据传送给簇头节点。然后簇头通过多跳的方式将数据传送给基站, 图中虚线即簇头的多跳连接示意, 符合算法要求。

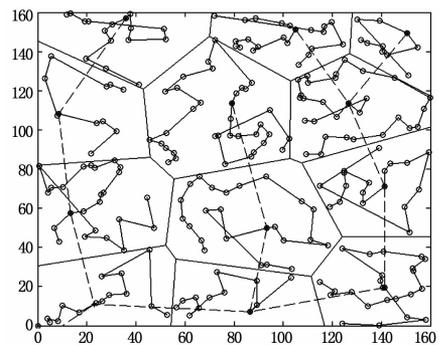


图 3 本算法节点多跳数据传输

3.2 剩余能量与生命周期仿真

图 4 所示为存活节点与轮数的关系示意图。图中比较了 LEACH, LEACH-C^[11], 以及本算法 MHES。LEACH 与 LEACH-C 算法在 200 轮左右出现死亡节点, 在 560 和在 690 轮左右节点全部死亡。而 MHES 在 300 轮左右才出现死亡节点, 940 轮左右节点全部死亡。相比于前两个算法, MHES 将节点死亡时间推后了 300~400 轮, 很好的提高了网络的稳定性。同时, MHES 的斜率较小及相对平滑, 这可以反映出本算法每轮能耗相对均匀, 稳定性较好。

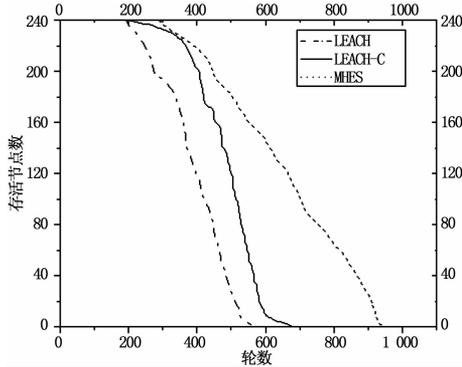


图 4 存活节点示意图

图 5 所示为网络剩余能耗与轮数的关系图。同样, 可以看出 LEACH 在 550 轮左右网络能量全部耗尽, LEACH-C 在 700 左右能量耗尽。而 MHES 在 940 轮左右能量才全部耗尽。明显可以看出节省了能量。同时, 可以看出在前 180 轮本算法与 LEACH-C 能量消耗大致相同, 但 180 轮之后明显本算法要优于 LEACH-C。

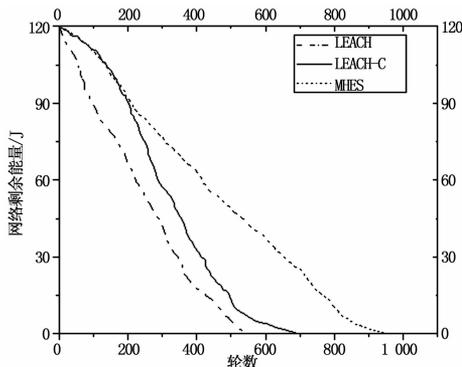


图 5 网络剩余能量图

3.3 簇头个数对比

图 6 为前 200 轮 LEACH 算法与本算法的簇头个数对比图。很明显 LEACH 算法的簇头个数不稳定, 本算法的簇头个数相对稳定在 12 个, 同时符合最优化簇头个数, 这样可以节省能量。MHES 相比于 LEACH 可以稳定簇头个数, 减少了网络由于分簇不稳定而引起的能耗增加。

4 结论

本文在 LEACH 路由算法的基础上做了相应改进, 提出了一种适应于在较大范围内进行无线传感器网络组网以及需要长

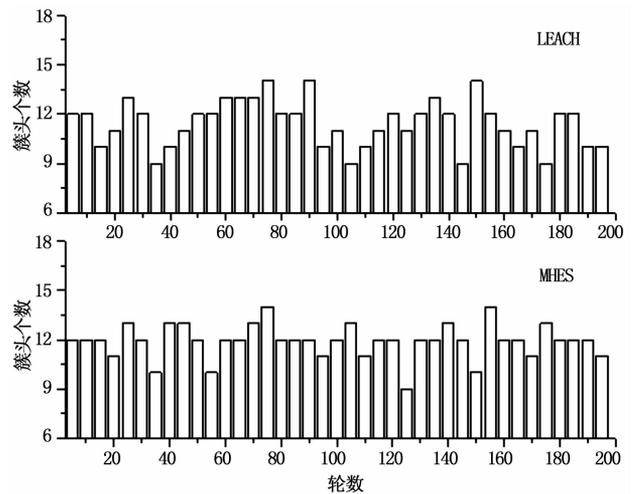


图 6 簇头个数对比图

距离传输的新型路由算法。本算法考虑到节点距基站距离远近与簇内平均剩余能量因素, 进行阈值修订与簇头竞选。同时, 利用多跳以及链式传输的方式进行数据传输, 克服了远距离传输所造成的能耗与距离问题。通过仿真验证, 可以明显的看出本算法相对于 LEACH 更加节省能量, 更加稳定。在进行大范围组网以及远距离传输时候, 本算法可以更加节省能量并使网络更加稳定的运行。

参考文献:

- [1] Zig Bee Standards Organization. Zig Bee specification [S]. 2006.
- [2] 叶小岭, 王伟, 张颖超, 等. 无线传感器网络中一种改进的 DV2Hop 定位算法 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 488-490.
- [3] Metin T, Ibrahim K. PSAR: Power-source aware routing in Zig Bee networks [J]. Wireless Networks, 2012, 18 (6): 635-651.
- [4] 张小庆. 基于分簇结构的无线传感器网络路由协议的研究与仿真 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [5] 廖明华. 无线传感器网络中 LAECH 协议的研究与改进 [D]. 长沙: 湖南大学, 2011.
- [6] 杜宽. 无线传感器网络路由节能算法 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2011.
- [7] 尚凤军, Abolhasan M, Wysocki T. 无线传感器网络的分布式能量有效非均匀成簇算法 [J]. 通信学报, 2009, (10): 34-43.
- [8] 蔡悦洁. 基于 LEACH 的无线传感器网络路由协议的研究及改进 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [9] 张言嘉. 无线传感器网络中 LEACH 算法的研究与改进 [D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [10] 刘铁流, 巫咏群. 一种新的基于分簇的无线传感器网络多跳节能路由协议 [J]. 信息与控制, 2012, (1): 27-32.
- [11] Akcan H, Bronnimann H. A New Deterministic Data Aggregation Method for Wireless Sensor Networks [J]. Signal Processing, 2007, 87 (12): 2965-2977.
- [12] Heinzelman W B, et al. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2002, 1 (4): 660-670.