

WSN 中一种改进的能量有效路由协议

魏珂可, 卓新建

(北京邮电大学理学院, 北京 100876)

- 5 **摘要:** 如何利用 WSN 有限的能量资源和各节点地理位置信息, 确立目标区域的路由, 降低节点的能耗来延长网络生命周期, 是 WSN 研究的关键问题之一。GEAR 路由协议较好考虑了节点的能量有效性, 能很好地适用于 WSN。通过深入分析 GEAR 发现其存在短暂环路和进入同一路由空洞问题。为了提高节点的能量有效性, 本文在 GEAR 的基础上进行优化, 提出一种改进协议 GEER。GEER 协议增加了空洞标记功能: 如果路由过程中发现某节点为路由空洞, 该节点将向其邻节点发送 hole 消息告知其为空洞, 使得后续分组提前绕开路由空洞, 加快了路径收敛, 节省了节点能耗。并且为了减缓空洞范围的扩张, GEER 协议重新定义了路由空洞。最后利用 NS-2 对 GEER 和 GEAR 协议进行了仿真对比实验。实验结果表明: 与 GEAR 协议相比, GEER 协议有效地减缓了空洞范围的扩张, 具有更好的能量有效性。
- 10
- 15 **关键词:** WSN; GEAR; 能量有效性; GEER; 空洞
中图分类号: TP393

An Improved Energy-Efficient Routing Protocol in WSN

WEI Keke, ZHUO Xinjian

(School of Science, Beijing University of Post and Communication, Beijing 100876)

- 20 **Abstract:** It is a hottest and most difficult problem among research on sensor networks that how to efficiently use the nodes' stringent energy and geographic locations to correctly and quickly build a route to some destination area for data transmitting and to achieve longer network lifetime by reducing nodes' energy dissipation. GEAR has sufficient consideration on the validity of the nodes' energy and has a good adaption for wireless sensor networks. Through analyzing the GEAR protocol deeply, the disadvantages of temporary loop and meeting the identical hole again are pointed. In order to improve the energy efficiency of sensor nodes, a modified routing protocol named GEER is proposed, which is based on the analysis of GEAR protocol. GEER protocol adds hole identify function: If meeting a hole when forwarding packet, this hole node then tell its neighbors by disseminating hole information, which makes that the packets behind can bypass the hole ahead and decreases both the routing distance and energy consumption. And in order to slow the expansion of hole, this thesis redefines the hole. Finally, the simulation of GEER and GEAR has been carried out with NS2. The result shows that GEER slows the expansion of hole efficiently and has better energy efficiency than GEAR.
- 25
- 30 **Key words:** WSN; GEAR; energy efficiency; GEER; hole
- 35

0 引言

- 无线传感器网络由成百上千的、低成本、低能量的小型传感器节点组成, 它们密集的部署在指定的地理区域。这些节点受到计算能力、存储能力、无线通信能力、带宽和不能替换能量的限制。这些节点很容易被部署, 但是很难被回收和充电, 因此网络的能量消耗是无线传感器网络中一个很重要的指标, 它直接关系到网络的寿命。然而单独地追求能量消耗最小化是不够的, 因为如果只追求能量消耗最小化, 会使某个区域中的节点频繁的收发数据, 这个区域中的节点会比网络中的其它节点更早死亡, 有可能会使网络分割或者造成“洞”的出现, 严重地影响网络寿命。因此, 如何减轻繁忙节点的负担, 使所有节点的能量负载尽量均衡, 从而延长传感器网络的寿命和提高传感器网络的工作性能, 成为无线传感器网络路由协议研究的一
- 40

作者简介: 魏珂可 (1985-), 女, 硕士研究生, 无线传感器网络. E-mail: wkk8162186@126.com

45 个重要问题^[1]。

在无线传感器网络中，节点通常需要获取其位置信息，这样它采集的数据才有意义。地理位置路由假设节点知道自身及目标区域的位置，以这些位置信息作为路由选择的依据，按照一定路由策略转发数据到目标区域。现有基于地理信息的路由方案可分为三类：基于受限洪泛的方案^[2]，贪婪法与周界转发相结合的方案^[3]，以及贪婪转发与能耗均衡性相结合的方案^[4]。GEAR^[5,6] (Geographical and Energy Aware Routing)属于第三类路由协议，模拟结果显示：GEAR 协议与另外两类地理路由相比能极大地延长网络寿命，具有较好的能量有效性，但仍不可避免地存在路由空洞问题。本文基于 GEAR 存在的问题，提出一种改进协议 GEER(Geographical and Energy-Efficient Routing)。

1 GEAR 协议

55 1.1 GEAR 基本原理

GEAR 协议是一个基于贪婪转发与节点能耗均衡性相结合方案的路由协议，在选择邻节点进行下一跳转发的同时，把各直接邻节点的能量信息结合起来考虑，选择综合开销最小的邻节点进行分组转发。基于贪婪转发与节点能耗均衡性相结合方案的路由算法中，综合开销最小邻节点的选择至关重要。GEAR 根据邻节点通往目的地的 learned cost 来确定下一跳节点，使得分组能够朝向目的地转发，同时还可以平衡邻节点的能量消耗。分组到达目标区域内第一个节点后，区域内节点通过洪泛或地理迭代的转发方式将分组传送到区域内所有节点。GEAR 协议的目标就是将分组发送到目标区域内的所有节点，其工作过程主要分为分组发往目标区域和分组在目标区域内的转发两个阶段，具体流程参考图 1。

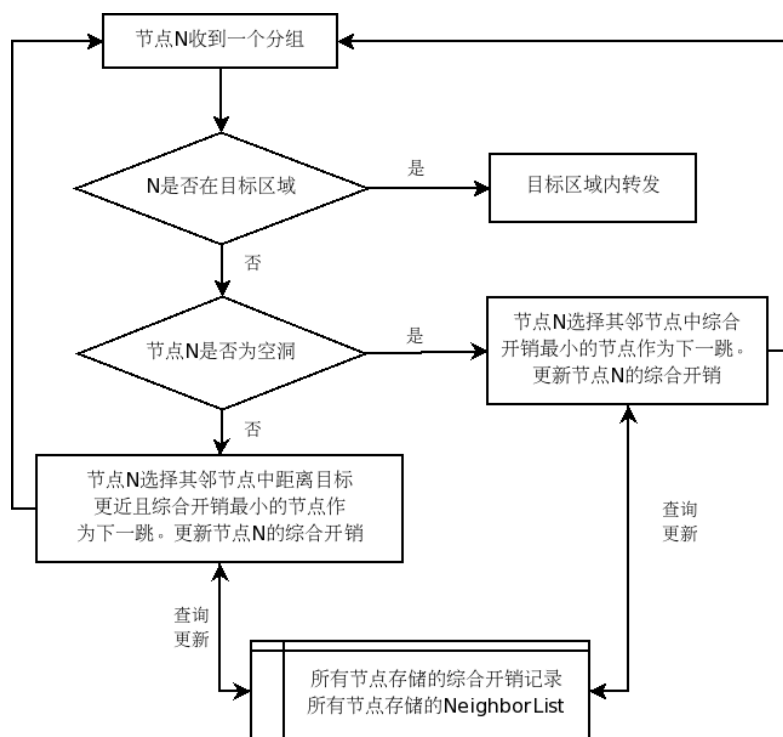


图 1 GEAR 路由流程图

Fig.1 Routing flow of GEAR

65

假设节点 N 准备转发分组，目标地区域为 R，目标区域中心为 T。节点 N 采用贪婪转

发与能耗均衡性相结合的 GEAR 协议, 即节点 N 要把分组转发到目标区域 R, 同时还要尽量平衡其所有邻节点的能量消耗, 节点 N 选择邻节点 N_i 中综合开销 $h(N_i, T)$ 最小的节点作为下一跳。如果节点 N 没有关于 N_i 的 $h(N_i, T)$, 则使用 estimated cost (估计代价) $c(N_i, T)$ 作为 $h(N_i, T)$ 的缺省值。估计代价 $c(N_i, T)$ 的定义如下:

$$C(N_i, T) = \alpha \cdot d(N_i, T) + (1 - \alpha) \cdot e(N_i) \quad (1)$$

式中, α 为可调权值, $d(N_i, T)$ 是 N_i 到 T 的距离与 N 的邻节点中距离 T 最大的距离的比值, $e(N_i)$ 是把 N_i 已消耗的能量与 N 的邻节点中已消耗的最大能量的比值。N 选择具有最小综合开销的邻节点 N_{\min} 作为下一跳节点后, 节点 N 把自己的 $h(N, T)$ 设置为 $h(N_{\min}, T) + C(N, N_{\min})$, 其中 $C(N, N_{\min})$ 是从 N 传送一个分组到 N_{\min} 所需的通信代价。

N 在进行分组转发时会遇到两种情况:

1 N 的邻节点中存在距离目标更近的节点, 那么 N 从这些邻节点中选择距离目标更近且 learned cost 最小的节点作为下一跳节点。

2 N 的邻节点中不存在距离目标更近的节点, 即遭遇到路由空洞, 则 N 在邻节点中选择 learned cost 最小的节点作为下一跳节点。

1.2 GEAR 空洞问题

路由空洞是基于地理位置信息的路由协议的共性问题, 即当前节点的邻节点之中, 不存在比当前节点距离目标更近的节点。在传感器网络中, 路由空洞的形成是由于网络部署不均匀或部分节点由于能量耗尽而失效, 以及一些环境如沼泽、水塘它本身就不适合部署网络, 会形成一些天然的“空洞”。路由空洞问题是基于地理位置信息的路由协议有待解决的一个重要问题。

GEAR 协议采用基于贪婪转发与节点能耗均衡性相结合的路由方案, 此方案避免了贪婪法与周界转发相结合方案中节点能量消耗过快、能耗不均衡等问题, 但它在进行数据分组转发时, 仍然存在贪婪法与周界转发相结合方案的路由空洞问题。在 GEAR 中, 当前节点的所有邻节点都比自身到目标的距离大时, 当前节点就遇到路由空洞。

GEAR 协议通过贪婪转发与能耗均衡性相结合的策略来绕过空洞, 即某节点遇到路由空洞, 通过节点的实际代价 learned cost 和代价更新规则来绕开路由空洞。GEAR 中节点剩余能量信息和 learned cost 信息都是通过定期进行更新传递的, 对这些信息进行更新的时间间隔长短会影响算法的性能。如果更新信息频繁, 会增加网络控制信息的通信量, 更新时间过长, 会导致分组发送过程中在选择下一跳节点时作出了非优化或错误的选择。特别当遇到路由空洞时, learned cost 信息的更新快慢对路径选择的影响更加明显。当某节点 N 遇到路由空洞时, N 在自身邻居链表里选择一个综合开销最小的节点 N_i 继续进行分组转发并修改自身的代价值, 由于 learned cost 值更新不及时, N_i 继续在自身的邻接链表里选择综合开销最小的邻接节点转发分组, N 可能是 N_i 邻接链表中综合开销最小的邻节点, 那么 N 就会作为 N_i 的下一跳节点, 因此形成短暂的路由环问题。GEAR 中节点的 learned cost 值会随着转发分组次数的增加而增大因此不存在永久的环路, 但是这些短暂的环路会增加节点的能量消耗以及分组传输的路径长度。并且经过一段时间后, 有可能遇到与上次相同的路由空洞, 从而选择原来节点做为下一跳节点, 这需要在 2 个节点间不断循环作为下一跳节点, 才能跳出路由空洞, 这种情况同样会增加路径的长度造成不必要的节点能量损耗。

不管是短暂的环路问题还是进入同一路由空洞问题, 都会增加分组传输的路径长度, 更多的中间节点需要消耗能量。那么如何有效解决 GEAR 协议中分组发往目标区域过程中的

短暂环路以及进入同一路由空洞问题，提高节点的能量有效性将是本文研究的重点。

110 2 改进协议 GEER

从上一节分析研究可知，GEAR 协议通过节点的 learned cost 和代价更新规则逐渐走出空洞，但依然存在局限性：产生短暂环路和同一路由空洞问题从而过多消耗节点能量。针对这个问题，本节在 GEAR 协议的基础上给出了一种改进的基于地理信息的能量有效路由协议 GEER(Geographical and Energy-Efficient Routing)。

115 2.1 协议网络模型

设其应用场景为：利用无线传感器网络来监测一个大型地区内既定类型目标的状态，当目标事件发生时由源节点传送到指定区域，通过终端节点获取目标信息。为了构建网络模型，协议认为如下前提条件恒成立：

1 所有节点都是同构节点，它们由传感单元、数据处理单元、通信单元、电源单元和定位系统(GPS)组成，并且具有相同的初始能量。

2 每个节点能对其周围实行全方向探测，即其覆盖范围是一个半径为 r 的圆形区域。节点的初始时随机布置在同一平面区域内。

3 网络部署区域内所有节点都具有相同的发射功率，即所有节点的通信半径 r 均相等。那么节点 N 的邻居集 $Nei(N)$ 有如下定义：

$$125 \quad Nei(N) = \{N_i | distance(N_i, N) < r\} \quad (2)$$

4 每个节点都能通过 GPS 或者其他的定位算法获取自己的位置信息，每个节点能获知直接邻节点的全部信息。网络部署区域内所有节点都是静止的，网络拓扑的变化主要由网络节点能量耗尽死亡造成。

5 链路是双工的，即节点 A 能够与节点 B 进行通信，那么节点 B 也能与节点 A 通信

130 2.2 协议路由策略

GEER 协议增加了节点空洞标识功能，节点选择综合开销最小的非空洞邻节点作为下一跳进行分组转发。一旦节点 N 确认为空洞后，需要向 N 的邻节点主动发送 hole 消息，各邻节点接收后立即更新其邻居列表中 N 的空洞标志位 $flag=1$ ，完成 hole 消息的一次扩散；然后判断各邻节点是否为空洞节点，如果是则进行 hole 消息的二次扩散，否则扩散结束。因此如何提高节点的能量有效性，空洞的识别是关键。传统的地理信息路由算法定义路由空洞只考虑了地理位置因素，因此在网络节点分布不均匀的时候出现空洞的概率很大，而当出现空洞后空洞周围的节点又会付出代价来解决空洞问题，这无疑又增加了能量消耗。为了提高能量有效性，协议增加一个节点属性 b ：

$$140 \quad b(N, T) = \frac{ER(N)}{Distance(N, T)} \quad (3)$$

其中 $ER(N)$ 为节点 N 的剩余能量， $Distance(N, T)$ 为节点 N 到目标 T 的距离。在此基础上协议重新定义了路由空洞：若当前节点的邻节点到目标的距离均大于当前节点到目标的距离，则继续考虑 b 的取值；如果当前节点的邻节点的 b 值均小于当前节点的 b 值，则当前节点为路由空洞，这里考虑非空洞的邻节点。通过双重判定来确定节点是否为路由空洞，降低了空洞节点出现的概率，减缓了空洞范围的扩张，从而减少了空洞信息在一定范围内的扩散次数和路由路径长度，达到降低网络能耗和延长网络寿命的目的。

分组发往目标区域的过程包括两种情况：一当前节点不是路由空洞，则在当前节点的邻节点中选择综合开销最小且不为空洞的节点作为下一跳进行转发；二当前节点是路由空洞，则在该节点一定范围内进行空洞消息的两次扩散，实现空洞标记功能。为了实现路由，在分组前往目标区域的过程中，每个节点都需要维护一个邻居列表 NeighborList。该列表保存所有邻节点的地理位置、剩余能量、节点状态和空洞标记等信息。为了节省存储空间，在本地存储一个节点综合开销记录表 Learned_cost_table 供路由时查询。

150

图 2 直观描述了 GEER 协议的路由过程：当某一节点 N 接收到发往目标 T 的分组时，首先判断 N 是否在目标区域，如果是则进行目标区域内的分组转发过程；否则继续判定节点 N 是否为路由空洞。如果节点 N 是空洞，则通过空洞消息的两次扩散对空洞进行标记，然后节点 N 选择邻节点中非空洞且综合开销最小的节点作为下一跳继续分组转发；否则节点 N 同样选择邻节点中综合开销最小的非空洞节点作为下一跳节点继续分组转发。

155

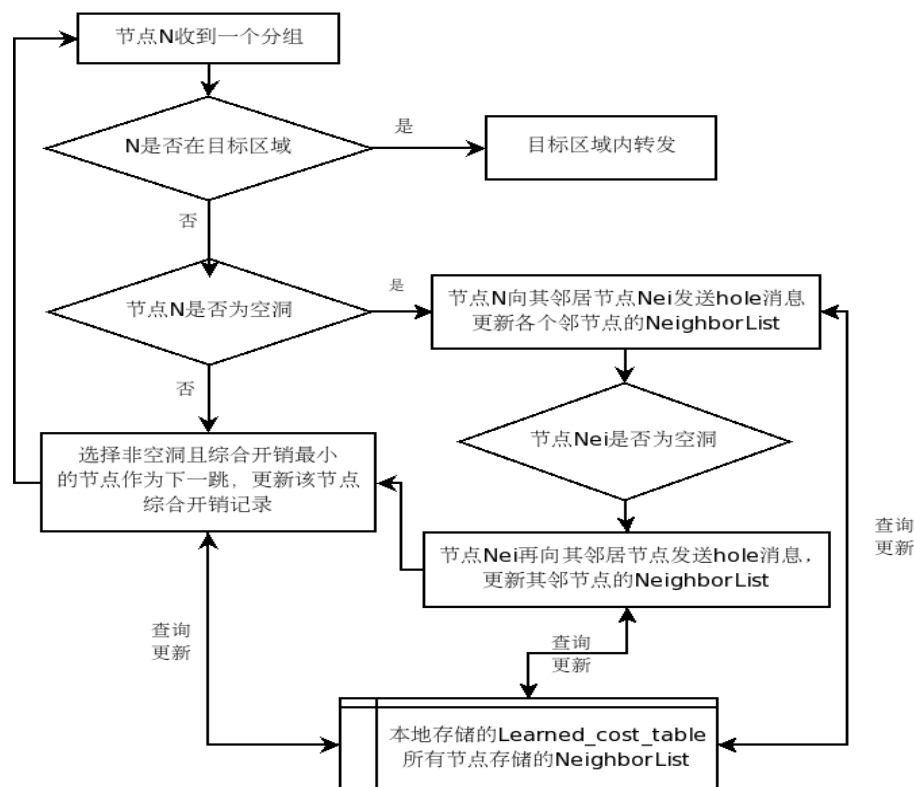


图 2 GEER 路由流程图

Fig.2 Routing flow of GEER

160 3 仿真实验

3.1 仿真环境设置

为了研究 GEER 协议的性能,对 GEER 协议和 GEAR 协议进行 NS-2^[7]仿真和对比分析,具体仿真参数设置如下:

165

1 初始时网络分布 60 个初始能量为 100J 的相同节点,并且所有节点都静止。令 60 个传感器节点随机分布在 1000m×1000m 的区域内,纵横坐标范围是(0, 1000);令节点的通信半径为 250m,根据场景将 21 号节点定为源节点,目标区域为矩形区域,坐标范围为(900,1000)和(900,1000);

2 数据产生率为 64(byte/p),所有传输数据分组的大小固定为 58 字节,α 比例参数的取值

为 0.8，邻节点信息更新门限值为 3。

170 以上参数非恒定不变，根据不同的仿真场景需要改变其中的一些参数值。

3.2 仿真结果参数

1 网络中的节点平均能耗指标定义为：

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EM(i) - \overline{EM})^2}{n}} \quad (4)$$

175 式中， n 表示网络中节点总数， E_0 指网络中各节点的初始能量值， $EM(i)$ 指节点 i 的剩余能量值，统计方式为 $EM(i) = E_0 - n_r \cdot E_r - n_s \cdot E_s - n_r' \cdot E_r - n_s' \cdot E_s$ ，其中 n_r, n_s 分别为节点接收和发送次数， n_r' 和 n_s' 分别为节点接收和发送路由控制消息的次数， \overline{EM} 指网络中所有节点剩余能量的平均值。该分析方法通过求得网络中的节点剩余能量的均方差反映整个网络各节点能量消耗的平均性，体现各节点能量负荷的均衡性。

180 2 源节点到目标区域的平均路径长度：传输有效分组所用的跳数总和与有效分组个数的比值。这里的有效分组指从源节点发出后成功被目标区域接收的分组。

3.3 仿真实验及其分析

网络尺寸不变，节点个数依次为 60，80，100，120，140，160。源节点和目标区域不变，仿真时间为 1000s。

实验一 记录网络平均能耗

185 由图 3 可以看出，随着节点密度的增加，两种协议的平均能耗均呈现先减小后增大的变化，且在实验密度范围内 GEER 协议的性能始终优于 GEAR 协议，但是当节点密度达到一定程度时，GEER 协议的性能优势逐渐减小。这是因为当节点密度过大时，两种协议中邻节点周期性更新信息所消耗的能量比重大大增加，而 GEER 协议中新增的 hole 消息的两次扩散同样会消耗较大的能量，反而会加速空洞附近节点的能量消耗。可见，GEER 协议不适用范围于节点密度过大的场景，在密度较小时能量有效性明显优于 GEAR 协议。

190

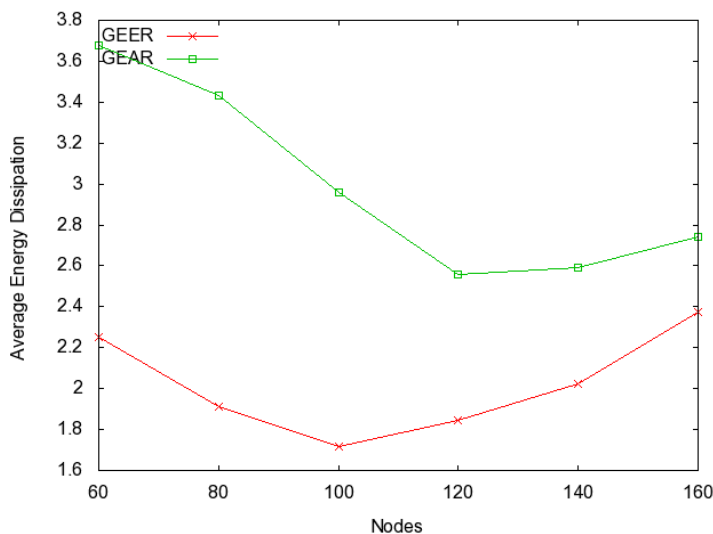


图 3 不同节点密度下的平均能耗
Fig.3 Average energy dissipation of network

195 实验二 记录平均路径长度

由图 4 可以看出：随着节点密度的增加，两种协议中源节点到目标区域的平均路径长度均逐渐减小，并且 GEER 协议具有更好的路径收敛性。这是由于 GEER 协议新增了空洞标记功能，通过消息的两次扩散有效解决了短暂环路问题和进入同一空洞问题。但是当节点密度过大时，GEER 协议在减缓空洞范围扩张方面受到影响，因此 GEER 协议的优势在逐渐减小。

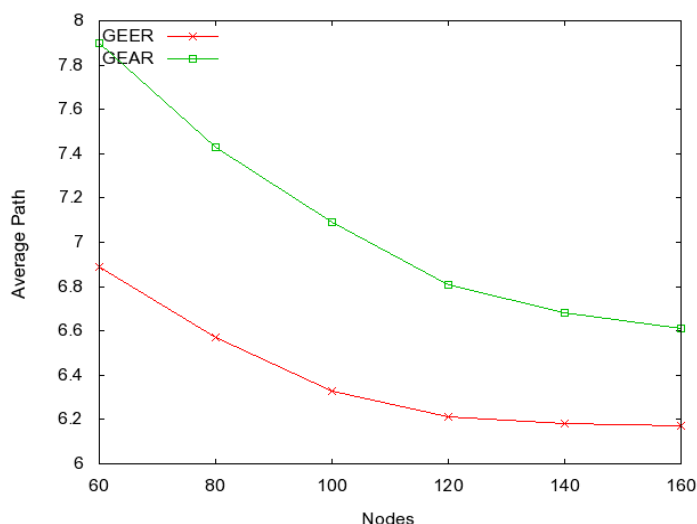


图 4 平均路径长度

Fig.4 Average path

205 4 总结

无线传感器网络中，节点能量有限且无法补充能量，因此如何有效利用节点能量，延长节点的生命周期是无线传感器网络路由协议设计的关键问题。本文以研究无线传感器网络中基于地理信息路由协议的能量有效性为出发点，首先对现有基于地理信息的路由协议 GEAR 进行了深入理论研究和分析，发现其在能量有效性方面的不足，针对这些不足给出了一种改进协议 GEER。其次，通过理论分析和网络模拟的方法对该协议进行了仿真实现和性能评估。仿真结果表明：与 GEAR 协议相比，GEER 协议有效地解决了短暂环路和进入同一路由空洞问题，减短了源到目标区域的路径长度，更好地实现了节点的能量有效性。

[参考文献] (References)

- [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.
- 215 [2] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya. Location-aided routing(LAR)in mobile ad hoc network[J]. Wireless Networks, 2000,6(4):307-321
- [3] Schurgers C, Sricastava B M. Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks[C].//Proc of MILCOM communications for Network Centric Ops: Creating the Information Force, 2001.
- 220 [4] Estrin D, Govindan R, Heidemann J, et al. Next century challenge; Scalable coordinate in sensor network[C]. In: Proc of the 5th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking Seattle, 1999, 263-270.
- [5] Y. Yu, D. Estin, and R. Govindan. Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks[R]. UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-0100023, May 2001.
- 225 [6] Younis O, Fahmy S. HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [7] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀, 等. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.