

## Energy-Density-Balance Base Station Movement Strategy in Wireless Sensor Networks\*

CHE Nan<sup>1,2</sup>, LI Zhijun<sup>1</sup>, JIANG Shouxu<sup>1\*</sup>, LIAO Minghong<sup>3</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;  
2. School of Software, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;  
3. School of Software, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

**Abstract:** Data gathering is the basic function of wireless sensor networks. Because the sensor nodes located near a base station have to relay data for a large part of the network and thus deplete their batteries very quickly, present base station movement strategies can realize network load-balance by mobile base station. Load-balance base station movement schemes are not available to improve network life unless the sensor nodes are distributed uniformly. Thus, the concept of point energy density is defined in this paper to represent the energy which every point used to sense environment, and an effective method for calculating point energy density is proposed. In this paper, an EDB-BSM (energy-density-balance base station movement) strategy is proposed after analyzing the point energy density dissipation. Compared with the static base station scheme and the random base station movement scheme, EDB-BSM can improve network life in every condition of sensor node distribution, and it is proved to be extensible.

**Key words:** wireless sensor networks; mobile base station; data gathering; point energy density; network life  
**EEACC:** 6150P

## 点能量密度平衡的无线传感器网络基站移动策略\*

车楠<sup>1,2</sup>, 李治军<sup>1</sup>, 姜守旭<sup>1\*</sup>, 廖明宏<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001;  
2. 哈尔滨理工大学软件学院, 哈尔滨 150080;  
3. 厦门大学软件学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 数据收集是无线传感器网络的一个基本功能。由于部署在基站周围的传感器节点承担着网络内大部分的负载, 因此导致能量迅速耗尽, 现有的基站移动策略可以通过基站的移动实现网络内传感器节点的负载平衡以延长网络寿命。但是现有负载平衡的基站移动策略只能在传感器节点被均匀布撒的情况下才能有效地延长网络寿命, 其他情况下不能达到延长网络寿命的效果。因此本文定义了点能量概念用以表示传感器网络对感知区域每个点的感知能量, 并给出了有效的点能量密度计算方法。通过点能量密度消耗分析, 提出了一种点能量密度平衡的基站移动策略 (energy-density-balance base station movement, 简称 EDB-BSM)。通过理论分析和仿真试验验证, 相对于固定基站模式和基站随机移动模式, 该移动策略能够在各种传感器节点分布情况下有效的延长网络寿命, 并具有良好可扩展性。

**关键词:** 传感器网络; 移动基站; 数据收集; 点能量密度; 网络寿命

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-1699(2010)01-0110-06

无线传感器网络的主要功能是对周边环境信息进行监测, 并将感知到的信息发送到基站进行进一步的处理。由于传感器节点所装备的资源非常有限, 因此如何延长网络生命周期成为主要的研究问题。

采用移动基站完成传感器网络信息收集通过实

现能量有效消耗从而达到延长网络寿命, 如采用节点通过单跳的方式直接与基站通信, 在这种模式中, 当基站移动到该节点附近时, 节点才将探测到的数据传输给基站。如 Rahul C, et al. 利用一种叫做 data mule 的设备在传感器网络中接收、发送和缓存数据, 从而

降低源节点发送数据所需路由的经过的 hop, 达到降低整个网络的能量负载达到延长网络寿命的目的<sup>[1]</sup>, 文献[2]所采用的思想与之类似。该方法的缺点是传感器节点收集到的信息不能实时的传送到基站。

也可以通过基站位置的变化, 通过实现网络的负载平衡, 从而延长网络寿命。由于传统的传感器网络中, 基站的位置都是固定的, 导致基站周围的传感器节点的负载过大, 能量迅速的耗尽, 从而导致网络寿命下降, 而把一些具有移动能力的基站加入到传感器网络中可以将网络负载分摊在不同的节点上。文献[3-5]都是通过一个或多个 mobile sink 改变自己的位置并对整个网络完成信息收集或者发布; 将基站移动问题模型化为线性规划问题, 找到基站的最优移动计划, 从而最大化网络寿命。而文献[6]提出一种混合可移动 sink 和静止 sink 的分布式多基站移动协议, 达到能量有效和降低网络延迟的目的。随后 Luo<sup>[7]</sup> 等人对网络负载不均衡问题进行了详细的分析, 并提出了一个将数据路由和基站移动相结合的模式来达到负载平衡。文献[8-9]根据文献[6]对网络负载的分析提出一种负载平衡的移动协助数据收集模式: 将基站移动区域设置为缓冲区, 让数据沿最短路径传输到缓冲区内, 然后在基站移动的过程中进行数据收集。虽然上述方法利用移动设备通过解决负载平衡在理论上延长了网络寿命, 但是在现实应用中由于网络能量分布不均衡导致并不一定能真正的延长网络寿命。导致网络能量分布不均衡原因分析如下: 由于传感器节点的能量有限性致使传感器网络一般被部署含一定冗余数量的传感器节点并采用休眠机制以提高网络的生命, 而传感器节点布撒的不均匀就会导致网络能量分布不均衡<sup>[10]</sup>; 或者还由于有事件发生时, 事件区域的传感器节点能量消耗过大; 或者由于有灾难发生导致灾难区域的传感器节点损毁等因素, 仅仅考虑传感器网络的负载平衡, 并不能真正延长网络寿命。

本文定义了点能量密度的概念, 通过点能量密度的分布情况和分析采用移动基站情况下点能量密度消耗速度的特点, 提出了一种点能量密度平衡基站移动策略, 从而平衡整个传感器网络区域的点能量密度的分布, 达到延长传感器网络生命的目的。本研究并通过 glomosim 仿真, 对该策略与固定基站方式和基站随机移动在点能量密度分布情况和网络生命方面进行比较, 验证了此策略的有效性。

## 1 点能量密度平衡问题

### 1.1 点能量密度模型

定义 1  $P(x, y)$  坐标的点能量密度  $E_{xy}$  为以  $(x,$

$y)$  为圆心,  $R_s$  (感应范围) 为半径内所有 sensor 节点的能量总和。

令  $N_{xy} = \{n \mid \text{dis}(n, p(x, y)) \leq R_s, n \in S\}$ , 其中集合  $S$  为所有 sensor 节点的集合,  $S_{\text{active}}$  为正在工作的 sensor 节点的集合,  $S_{\text{sleep}}$  为正在休眠的 sensor 节点的集合,  $S_{\text{dead}}$  为已经损坏和能量耗尽的 sensor 节点的集合。且  $S_{\text{active}} \cup S_{\text{sleep}} \cup S_{\text{dead}} = S$ , 而  $S_{\text{active}}, S_{\text{sleep}}, S_{\text{dead}}$  三个集合之间互不相交。定义  $E_n$  为节点  $n$  在  $t$  时刻所剩余的能量, 得出  $P(x, y)$  在  $t$  时刻的能量密度为:

$$E_{xy}(t) = \sum_{n \in N_{xy}} E_n \quad (1)$$

引入点能量密度意义在于点能量密度的分布情况可以体现整个网络能量分布的情况, 下面证明整个传感器网络区域中的点能量密度都是可计算的。

定理 1 当  $2R_s \leq R_c$  (传感器节点的通讯半径) 时, 每个 sensor 节点对其感知区域内任意一点  $p(x, y)$  的点能量密度都是可以直接根据该节点的邻节点集合  $N(u)$  进行计算, 其中  $N(u) = \{v \mid \text{dis}(u, v) \leq R_c, v \in S\}$ 。

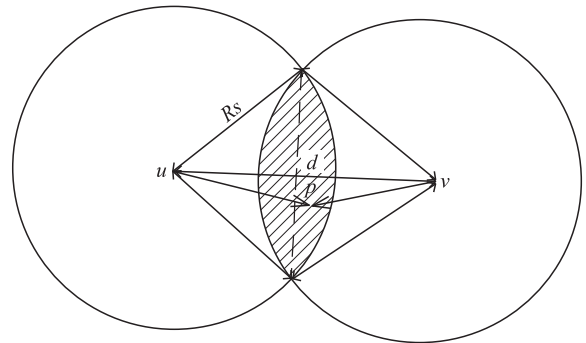


图 1 传感器节点间相互关系

证明 如图 1 所示,  $u, v$  分别是任意两个传感器节点,  $p(x, y)$  为阴影区域中任意一点, 根据三角形定理:

$$\text{dis}(u, v) \leq \text{dis}(p(x, y), v) + \text{dis}(p(x, y), u)$$

又因为  $p(x, y)$  在  $u, v$  两点的 sense 范围内, 所以

$$\text{dis}(u, v) \leq \text{dis}(p(x, y), v) + \text{dis}(p(x, y), u) \leq 2R_s \leq R_c$$

所以  $u, v$  互在对方的邻居表中, 即存在  $v \in N(u), u \in N(v)$ 。根据上面对  $N_{xy}$  的定义,  $N_{xy} \subseteq N(u), N_{xy} \subseteq N(v)$  也存在。

通过定义集合

$$N'_{xy} = \{v \mid \text{dis}(p(x, y), v) \leq R_s, v \in N(u)\},$$

$p(x, y)$  的点能量密度可被表示为:

$$E_{xy} = \sum_{n \in N'_{xy}} E_n + E_u \quad (2)$$

而  $N'_{xy}$  必是  $N(u)$  的子集, 所以  $p(x, y)$  的点能量密度

是可以直接根据该节点的邻节点集合  $N(u)$  进行计算,定理得证。

通常情况下,  $2R_s \leq R_c$ , 而当  $2R_s > R_c$  时可以使用 beacon 消息, 其中包括 sensor 节点的位置、剩余的能量、和节点的 ID。此时只要设置 beacon 消息广播的 TTL 值为  $\lceil \frac{2R_s}{R_c} \rceil$  就可以计算出各点的能量密度, 共产生的通信数据包的上界为  $O(\lceil \frac{2R_s}{R_c} \rceil n^2)$ , 仍是可计算的。

## 1.2 点能量密度平衡问题

点能量密度平衡的目的是为了延长网络寿命, 故首先定义传感器网络寿命。传感器网络的有效生命应该在于它能够提供一个可靠的感应, 即感知区域  $A$  (一个二维有界闭合空间区域) 中任意点都能被传感器节点所感应覆盖<sup>[11]</sup>, 因此传感器网络生命终结于  $A$  中任意点  $(x, y)$  的点能量密度  $E_{xy} = 0$ 。如果传感器节点布撒十分不均匀, 导致感知区域初始时就存在感知空洞, 那么该传感器网络并不能提供可靠的感应, 这种情况对于可靠性指标要求较高的应用环境下, 该传感器网络已经死去。所以一般需要填充一些新的传感器节点以保证传感器网络的可靠性, 或者利用有的传感器节点所具有的移动能力来填充这些感知空洞。

为简化问题现做如下假设:

A1 传感器节点和基站采用同一坐标系。

A2 每个节点都知道自己所在的位置 (例如: 采用 GPS 或者定位技术)。

A3 基站本身具有很强通讯能力, 即基站向传感器网络中任意传感器节点发送信息不需要采用多 hop 方式。

A4 每个传感器节点拥有相同  $R_s, R_c$ , 且  $2R_s \leq R_c$ 。

A5 发送数据包与接收数据包所消耗的能量相同为  $\varepsilon$ 。

点能量密度平衡问题描述如下:

Given:  $A, t_0, (x_B, y_B)_{t_0}, E_{xy}(t_0), T$

Find:  $(x_B, y_B)_t$

Maximize:  $t (\forall P(x, y) \in A, E_{xy}(t) > 0)$  (3)

Subject to:  $t_0 \leq t$

$$E_{xy}(t) = E_{xy}(t_0) - \int_{t_0}^t v_{xy}(t) dt \quad (4)$$

$$v_{xy}(t) \sim (R_c, R_s, \rho, \lambda, \varepsilon) \quad (5)$$

其中  $(x_B, y_B)_t$  为基站  $t$  时刻所移动到的位置,  $T$  为基站的移动周期,  $\lambda$  为传感器网络区域被感知的频

率,  $\rho$  为处于 active 状态的传感器节点的密度。而  $v_{xy}(t)$  为点  $p(x, y)$  在  $t$  时刻的点能量密度消耗速度, 在 2.1 中将说明  $v_{xy}(t)$  是与位基站的位置、 $\lambda$ 、 $\rho$  相关的。

综上所述, 会发现文献[6-7]中使用移动基站平衡负载所解决的问题, 只是该问题在传感器节点均匀分布, 即初始点能量密度均匀情况下的特例。

## 2 点能量密度平衡移动策略

### 2.1 基站位置和点能量密度消耗速度之间的关系

合理的信息收集方式也会有效延长网络寿命、减少信道冲突, 本文采用数据漏斗<sup>[12]</sup>这一在大规模传感器网络被广泛使用的信息收集思想。由于传感器节点按照一定频率将采集到的环境信息向基站发送, 故每个传感器节点接收到的关于环境信息数据包的目的地址都是基站。所以传感器节点将接收到需转发数据包并不立刻转发, 而是将一定时间内的接收到的数据包进行缓存通过计算整合成一个数据包发送给基站。由于数据字段相对较短, 而控制字段相对较长<sup>[10]</sup>, 特别是在一些聚集信息收集中, 如 max、min、average、sum 及 count 等, 传感器节点接收到的数据包和整合后发出的数据包大小可以完全相同。

下面说明采用这种信息收集方式时, 基站位置对点能量密度消耗速度的影响。

**定理 2** 数据漏斗信息收集方式下, 点能量密度消耗速度  $v_{xy}(t)$  仅与该点到基站的距离  $d$  有关, 与基站和该点在  $A$  中的位置无关。

**证明** 如图 2 所示,  $\text{load}_{\text{avg}}(p)$  代表  $p$  点周围传感器节点的平均负载,  $p$  点距离基站  $B$  的距离为  $d$ , 区域  $S_1$  负担了从区域  $S_2$  接收数据包和区域  $S_1$  本身向基站发送数据包。

$$v_p = \text{load}_{\text{avg}}(p) \cdot \rho \pi R_s^2 \quad (6)$$

$$\text{load}_{\text{avg}}(p) \approx \frac{(S_1 + S_2)}{S_1} \cdot \lambda \varepsilon \quad (7)$$

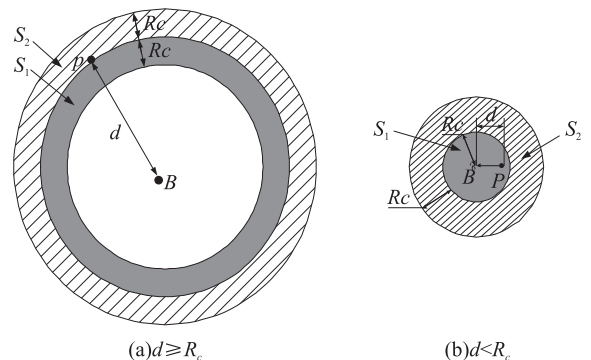


图 2 采用数据漏斗方式的点能量密度消耗分析图

根据公式(6)和(7)可以得出如图 2(a)所示, 当

$$d \geq R_c, v_p \approx \left(2 + \frac{2R_c}{2d - R_c}\right) \rho \pi R_s^2 \lambda \varepsilon \quad (8)$$

如图 2(b)所示, 当

$$d < R_c, v_p \approx 4\rho \pi R_s^2 \lambda \varepsilon \quad (9)$$

公式(8)、(9)中,  $\rho$  与所采用的睡眠机制有关,  $\lambda$  与应用中对感知区域信息收集的频率有关, 如图 3 所示, 得出点能量消耗速度快慢仅与该点和基站之间的距离  $d$  有关。得证。

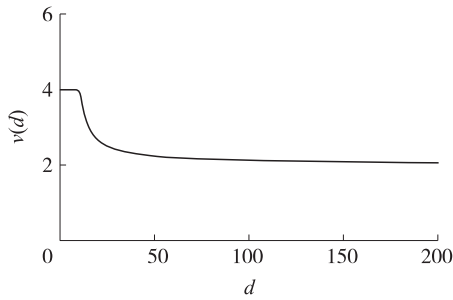


图 3 点能量密度消耗速度  $v(d)$  与基站距离  $d$  之间关系

假设  $\rho \pi R_s^2 \lambda \varepsilon = 1$ , 点能量密度消耗速度  $v(d)$  与基站距离  $d$  之间关系如图 3 所示, 可以发现在基站周围的点能量密度消耗速度很快, 而距基站一定距离以外的点能量密度消耗速度较小且速度基本相同。根据这一特点, 可以认为基站的在  $A$  中的位置对整个传感器网络的能量消耗总量的影响很小, 但是基站移动可以对整个网络的能量分布均匀性产生很大的影响。

所以 EDB-BSM 策略就是将基站移动到能量密度的最高点, 从而有效地平衡整个传感器网络的能量分布, 提高网络寿命。

## 2.2 基站移动策略算法设计

下面给出传感器节点在 EDB-BSM 方式下所用采用相应的 Updating Global Energy Distribution 算法(简称为 UGED), UGED 算法的基本思想是在传感器节点发送到基站的数据包中加入  $\text{global}(\max, \text{position})$  的信息, 其中  $\max$  代表整个网络中点能量最大值,  $\text{position}$  代表该点的坐标。每个传感器节点接收到目的地址为基站的数据包, 并不立刻转发, 而是存储起来。当该传感器节点需将自己采集到信息发送到基站时, 首先通过公式(5)计算自己 sense 范围内点能量值, 找出点能量密度最大的点  $\text{local}(\max, \text{position})$ , 通过所有接收到的数据包中  $\text{global}(\max, \text{position})$  和  $\text{local}(\max, \text{position})$  更新  $\text{global}(\max, \text{position})$ 。然后将所接收到的数据包中信息整合成一个数据包加入更新后的  $\text{global}(\max, \text{position})$ , 向基站发送, 并释放数据包的存储空间。UGED 用伪代码描述如图 4:

UGED 算法要求传感器节点能够确定邻居节点

```

input: packets received, the location of sensor
output: a packet sent to Base Station
1 if it is the time to send info to base station then
2   traverse all points  $p(x, y)$  in sense coverage of  $u$  and calculate  $E_p$ 
   by formula 2, find the max energy-density local(max, position);
3   for every packet in the storage do
4     update global(max, position) and packet.global(max, position);
5   end
6   compress all the packets into one packet;
7   add global(max, position);
8   send the packet to Base Station;
9   free the space of received packets;
10 else
11   receive packet;
12   if the packet's destination is Base Station then
13     put the packet into storage;
14   end
15 end

```

图 4 传感器节点所采用的 UGED 算法

的剩余能量, 传感器节点可以通过周期性广播自身的能量水平  $M_{\text{eng}}(\text{ID}, e)$ , 使邻居节点获知该节点的能量水平。事实上, 可以采用信息捎带 (piggyback) 技术替代传感器节点的周期性广播, 当节点  $u$  接收完一个数据包时它要发送 ACK 到上一跳节点  $v$ , 因此  $u$  可以在该 ACK 中加入关于  $M_{\text{eng}}(\text{ID}, e)$  的字段, 这样的邻节点可以通过捕获该 ACK 进而能及时地获知  $u$  的能量水平, 减少了  $M_{\text{eng}}(\text{ID}, e)$  占用额外的带宽和能量。

对于基站来讲, 只需根据在移动周期  $T$  中所收到的数据包中的  $\text{global}(\max, \text{position})$ , 找到能量密度最大的点, 并向该点移动。

## 3 仿真试验

通过在 glomosim 仿真软件分别对传统的传感器网络中基站通常被固定在感知区域中心 (static base station, 简称 SBS) 的情况、利用 glomosim 中 RandomWay 移动模型使基站在感知区域随机移动 (random base station movement, 简称 R-BSM) 的情况和点能量密度平衡的基站移动 (EDB-BSM) 这三种情况在点能量密度分布、网络寿命方面进行比较, 以验证该策略的有效性、可扩展性。

### 3.1 仿真试验的建立

实验区域  $A$  是  $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$  的正方形有界区域, 应用要求对传感器网络感应区域的信息收集频率为  $0.1 \text{ Hz}$ 。传感器节点的通讯半径  $R_c = 30 \text{ m}$ 。为简化问题, 传感器节点的感知范围为以该传感器节点为中心  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  的正方形。传感器节点的能量能力为能够发送或接收 1000 个数据包。而基站的移动周期  $T = 300 \text{ s}$ , 以  $10 \text{ m/s}$  在  $A$  中进行移动, 且不会移动到  $A$  区域之外。

### 3.2 性能比较和分析

首先通过对采用 EDB-BSM 与 SBS 和 R-BSM 经过一段时间后能量密度分布情况进行比较验证 EDB-BSM 策略能量密度平衡的效果。

图 5(a) 为 150 个传感器节点布撒在网络中时初始情况下点能量密度分布情况。为保证传感器网

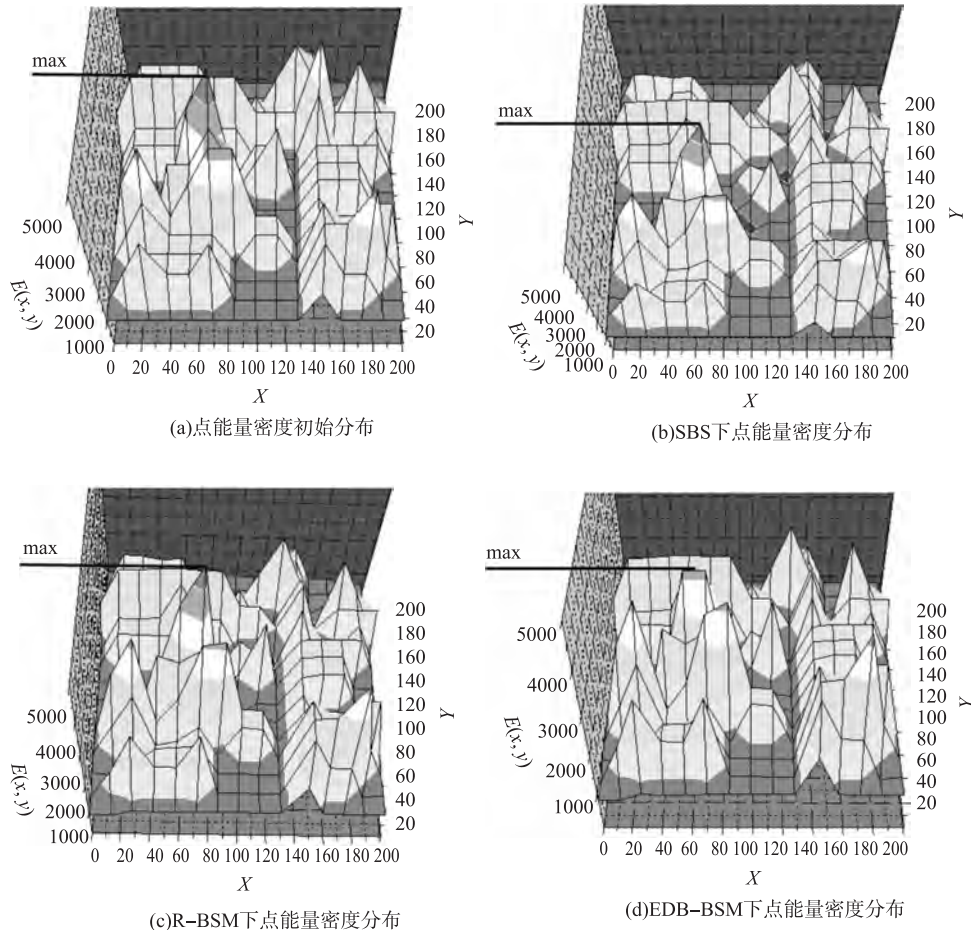


图5 点能量密度的分布情况

络能够感知覆盖区域  $A$ , 故先以网络形式布撒 100 个节点, 然后随机布撒 50 个节点。采用这种布撒的方式原因在于, 如果传感器网络不能感知覆盖区域  $A$ ,  $A$  必然存在点的点能量密度为 0, 根据网络寿命定义, 该情况下的网寿命为 0。

初始情况如图 5(a) 所示, 区域  $A$  中点能量密度最大值为 5000, 最小值为 1000。对该种初始情况下, 分别采用 SBS、R-BSM 和 EDB-BSM 方式进行仿真 1200 s。下面给出三种方式经过 1200 s 后的点能量密度分布情况。

图 5(b) 为采用 SBS 方式仿真后能量密度分布情况, 由于基站被固定在区域  $A$  的中心 (坐标为 100, 100)。所以导致中心附近区域的点能量密度消耗过快成为区域  $A$  中点能量密度消耗的热点区域, 导致  $A$  区域中点能量密度最大值为 4543, 最小值仅为 50。

图 5(c) 为采用 R-BSM 方式仿真后能量密度分布情况, 由于基站在区域  $A$  中随机移动, 导致不是固定区域成为网络点能量密度消耗热点区域, 所以能够避免 SBS 方式下中心区域点能量密度消耗过快。R-BSM 方式下, 区域  $A$  中点能量密度最大值为

4431, 最小值为 110。

图 5(d) 为采用 EDB-BSM 方式仿真后能量密度分布情况, 该方式使点能量密度消耗热点区域坐落在点能量密度最大的区域, 导致 1200 s 后, 区域  $A$  中点能量密度最大值为 3704, 最小值为 373。

综上所述, EDB-BSM 基站移动策略可以有效地平衡网络能量密度分布, 下面通过 EDB-BSM 方式与 SBS 和 R-BSM 方式在不同传感器节点数量下网络寿命的比较, 以验证 EDB-BSM 基站移动策略能够延长网络寿命。

如图 6 所示, 其中当传感器节点数量 100 为理想情况下的传感器节点网格分布。而传感器节点数量是 150、200、250 是在 100 个节点网格分布情况下分别随机布撒 50、100、150 个传感器节点且对每种情况分别仿真 10 次求出平均网络寿命。

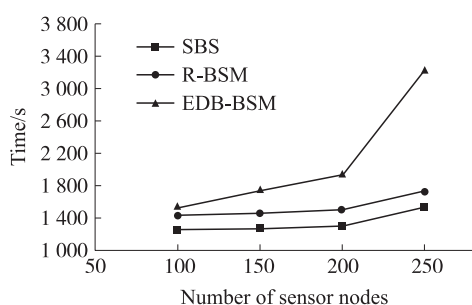


图 6 传感器节点数量与网络寿命关系

根据图 6 分析, 可以发现 EDB-BSM 基站移动策略可以有效地延长网络寿命, 并且随着传感器节点数量的增加采用该策略效果更加明显, 具有良好的可扩展性, 并可以适应各种传感器节点布撒方式。

## 4 总结

如何延长传感器网络寿命是传感器网络研究方向一项重要问题。本文通过一种点能量密度平衡的基站周期性移动策略用以延长传感器网络寿命, 并通过 glomosim 平台对该策略进行仿真实验。通过对比实验, 说明该策略能够有效地延长网络寿命, 并且具有较好的可扩展性。

### 参考文献:

- [1] Shah R C, Roy S, Jain S, et al. Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks [C]//Proc. IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), 2003: 30-41.
- [2] Zhao W, Ammar M, Zegura E. A Message Ferrying Approach for

Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks [C]. Proc. Of the 5th ACM MobiHoc, 2004: 197-198.

- [3] Gandham SR, Dawande M, Prakash R, et al. Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations [C]//Proc. of the IEEE GLOBECOM, 2003: 377-381.
- [4] Xing GL, Wang T, Jia W J, et al. Rendezvous Design Algorithms for Wireless Sensor Networks with a Mobile Base Station [C]//Proc. of the 9th MobiHoc, 2008: 231-239.
- [5] Wang, ZM, Basagni S, Melachrinoudis E, et al. Exploiting Sink Mobility for Maximizing Sensor Networks Lifetime [C]//Proc. of the 38th Hawaii Int'l Conf. on System Sciences, 2003: 287-295.
- [6] Kinalis A, Nikolettseas S. Scalable Data Collection Protocols for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Sinks [C]//Proc. of the 40th Annual Simulation Symposium, 2007: 60-72.
- [7] Jun L, Hubaux J P. Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks [C]//Proc of the 24th IEEE INFOCOM, 2005: 1735-1746.
- [8] 石高涛, 廖明宏. 传感器网络中具有负载平衡的移动协助数据收集模式 [J]. 软件学报, 2007, 18(9): 2235-2244.
- [9] Shi G T, LIAO M H, et al. Exploiting Sink Movement for Energy-Efficient Load-Balancing in Wireless Sensor Networks [C]//Proc of the 9th MobiHoc, 2008: 39-44.
- [10] 袁辉勇, 刘伟群, 刘永逸, 龚翱. 传感器网络中一种非均匀的节点部署算法 [J]. 传感技术学报, 2008, 21(6).
- [11] Guoliang X, Xiaorui W, Yuanfang Z, et al. Integrated Coverage and Connectivity Configuration for Energy Conservation in Sensor Networks [J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2005, 1(1): 36-72.
- [12] Dragan P, Rahul C, Shah K R, et al. Data Funneling: Routing with Aggregation and Compression for Wireless Sensor Networks [C]//Proc of the 1st IEEE. International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, 2003. 156-162.



车楠(1980-), 男, 博士生, 讲师, 研究方向为传感器网络, 普适计算, chen\_nan\_1980@yahoo.cn;



李治军(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为 P2P 计算, 普适计算, 动态网络, 操作系统, lizhijun\_os@hit.edu.cn;



姜守旭(1968-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为对等计算, 无线传感器网络, 数据库, jsx@hit.edu.cn.