

# 带移动 sink 节点的 WSN 节能路由算法

林志贵<sup>1</sup> 王 玺<sup>1</sup> 赵 可<sup>1</sup> 刘英平<sup>2,3</sup> 杨子原<sup>4</sup> 张惠麒<sup>1</sup>

(天津工业大学电子与信息工程学院 天津 300387)<sup>1</sup> (天津工业大学机械工程学院 天津 300387)<sup>2</sup>  
(天津工业大学现代机电装备技术天津市重点实验室 天津 300387)<sup>3</sup>  
(国家海洋技术中心近海海洋环境观测与监测技术研究室 天津 300112)<sup>4</sup>

**摘 要** 针对无线传感网移动路由算法中能量消耗大且消耗不均衡等问题,引入移动 sink 节点,提出一种带 sink 节点的 WSN 节能路由算法(MSEERP)。该算法基于网格思想来分割网络,根据节点的剩余能量和离簇重心距离的加权和选举簇头,避免了剩余能量低的节点被选为簇头;通过可控移动策略调度 sink 节点接收簇头所收集的数据,可以节省网络能耗。通过仿真,详细分析了 sink 节点的移动速度、移动 sink 节点的数量以及加权系数  $\alpha$  对 MSEERP 算法性能的影响。分析结果显示,sink 节点的移动速度为 5、加权系数  $\alpha$  为 0.6 且移动 sink 节点的数量为 1 时,MSEERP 算法性能最佳;MSEERP 算法在网络的生命周期、总能耗和 sink 节点接收数据量 3 个方面都优于 GAF 和 TTDD 算法。

**关键词** 移动 sink 节点,路由算法,节能,WSN

**中图法分类号** TP393 **文献标识码** A

## Energy-efficient Routing Algorithm on Mobile Sink in Wireless Sensor Network

LIN Zhi-gui<sup>1</sup> WANG Xi<sup>1</sup> ZHAO Ke<sup>1</sup> LIU Ying-ping<sup>2,3</sup> YANG Zi-yuan<sup>4</sup> ZHANG Hui-qi<sup>1</sup>

(School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)<sup>1</sup>

(School of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)<sup>2</sup>

(Tianjin City Key Lab of Modern Mechatronics Equipment Technology, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)<sup>3</sup>

(Laboratory of Marine Environment Observation and Monitoring Technology of Offshore, National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)<sup>4</sup>

**Abstract** For the disadvantages, such as high energy consumption and the energy consumption imbalance in the wireless sensor network, a mobile sink node was introduced and an energy-efficient routing algorithm on mobile sink (MSEERP) was proposed in this paper. In the MSEERP, the network is divided into several square virtual grids, and each grid is called a cluster. The cluster head is selected according to the residual energy of nodes and the weighted sum of the coordinate distance of a node and a cluster center of gravity, which avoids a node of the low residual energy selected as cluster head node. In order to save network energy consumption, the sink node receives data of the cluster head node by controllable moving scheduling strategy. Influence of three parameters, the movement speed of the sink node, the number of the moving sink node and the weighting coefficient  $\alpha$ , on the performance of MSEERP algorithm was detailed analyzed by simulation. The results show when the movement speed of the sink node is equal to 5, the weighting coefficient  $\alpha$  is 0.6 and the number of mobile sink node is 1, the performance of the MSEERP algorithm is best. The life cycle of the network, the total energy consumption and the total amount of data the sink node receives of the MSEERP algorithm are better than that of GAF and TTDD algorithm.

**Keywords** Mobile sink, Clustering routing, Energy-efficient, WSN

## 1 引言

无线传感器网络中,距离 sink 节点越近的节点能量消耗越大,容易出现热点效应<sup>[1]</sup>。针对这种情况,luo 等<sup>[2]</sup>在网络中引入了一个移动 sink 节点,提出联合移动与路由算法。该算法可以有效缩短路由路径,降低数据传输时延,改变网络中的流量分布,平衡网络中带宽和能量资源,延长网络的生存时

间。其中,移动 sink 节点的调度直接影响着路由算法的性能。

移动 sink 路由算法的研究主要集中在移动 sink 节点的移动策略以及与其网内其他节点间的通信等问题。移动 sink 节点的移动策略可分为随机移动策略、预测移动策略和控制移动策略 3 大类。随机移动策略<sup>[3]</sup>随机选择 sink 节点的位置,移动 sink 节点频繁地广播位置信息,导致能量消耗大。可预测移动策略预先设定 sink 节点的移动轨迹,降低了能

林志贵(1974—),男,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究方向为嵌入式系统设计、信息监测与控制、多元信息融合,E-mail:linzhigui@tjpu.edu.cn;王 玺(1990—),男,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统开发与应用;刘英平(1977—),女,博士,副教授,主要研究方向为机械设备控制系统;张惠麒(1988—),女,硕士生,主要研究方向为嵌入式系统开发与应用。

耗,但出现了灵活性差及网络不可扩展等不足。控制移动策略<sup>[4]</sup>根据网络中的某些参数决定 sink 节点的移动方向, sink 节点通过有目的的移动来延长网络的生存时间。移动 sink 无线传感器网络中, sink 节点与其他节点的通信方式除了传统的单跳通信和多跳通信外,还有有限跳数通信和主动数据收集的通信方式。有限跳数通信<sup>[5]</sup>,即移动 sink 节点只在有限跳数范围内广播查询消息以及收集数据,这减少了转发路径上的能量消耗。主动收集数据的通信方式<sup>[6]</sup>,即移动 sink 节点逐个访问网络中所有的节点,并收集数据,但网络延时长。

目前, sink 节点移动的经典路由算法有 TRAIL 算法<sup>[7]</sup>、TTDD 算法<sup>[8]</sup>、QCCA 算法<sup>[9]</sup>等。TRAIL 算法<sup>[7]</sup>是一种基于移动轨迹的路由算法,该算法缩短了路由路径,节省了能量消耗;但是移动 sink 节点采用随机移动策略,在移动过程中周期性地发送位置信息,节点的能量消耗抵消了引入移动 sink 节点节省的能量。TTDD 算法<sup>[8]</sup>中,每个源节点首先构造一个网格结构,移动 sink 节点可以通过有限跳数泛洪查询包来收集感知数据,降低能耗;但是该算法的移动 sink 节点采用随机移动方式,没有考虑转发节点的剩余能量,造成能量消耗不平衡。QCCA 算法<sup>[9]</sup>中,网络被分为虚拟的簇,网络中存在高能量的节点,高能量的簇头节点通过多跳方式收集数据并直接将其传送到移动 sink 节点,但是该算法所要求的网络成本高。

针对上述不足,本文提出了一种带 sink 节点的 WSN 节能路由算法(MSEERP)。该算法将整个网络划分成若干个簇,并引入移动 sink 节点,有效地缩短了路由路径,平衡了网络能耗,延长了网络的生命周期。

## 2 MSEERP 算法

首先把监测区域划分成虚拟正方形单元格,依据位置信息将节点划入相应的单元格内。每个单元格为一簇,根据节点的剩余能量和离簇重心坐标距离的加权和选举簇头,避免剩余能量低的节点被选为簇头。每个簇中,只有簇头节点保持活动状态,其他节点进入睡眠状态。移动 sink 节点采用有限跳数泛洪通信,通过移动策略控制其在网络中移动,即 sink 节点有目的地移动到剩余能量最高的簇<sup>[10]</sup>。

### 2.1 网格的划分

将无线传感器网络划分成若干个正方形虚拟单元格<sup>[11]</sup>,假设监测区域面积为  $S$ ,任意两个节点间的最大通信距离为  $R$ ,所划分的单元格边长为  $r$ 。为了保证簇头节点替代同一单元格内所有其他节点进行通信时的网络连通性,则所划分的单元格边长  $r$  需要满足如下条件:

$$r^2 + (2r)^2 \leq R \Rightarrow r \leq \frac{R}{\sqrt{5}} \quad (1)$$

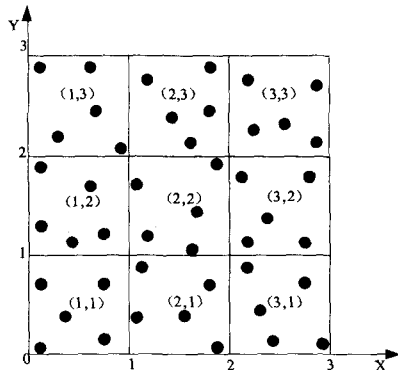


图1 分簇图

网络被分为  $n=S/r^2$  个单元格,每个单元格即为一个簇。根据位置信息判断节点属于哪个簇。设节点的坐标为  $(x, y)$ ,若  $r * (i-1) \leq x \leq r * i, r * (j-1) \leq y \leq r * j$ ,则该节点属于簇  $(i, j)$ ,分簇结果如图 1 所示。

### 2.2 簇头的选举

网络被分区后,需在每个区域中选择一个簇头节点。首先根据每个区域中节点的坐标计算出区域的重心坐标。区域的重心坐标  $(X_g, Y_g)$  应满足到区域内任意节点的距离平方和最小,具体计算方法见式(2)。

$$(X_g, Y_g) = \min \sum_{i=1}^N [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2] \quad (2)$$

其中,  $(x_i, y_i)$  为区域中各个节点的坐标。

式(2)变换得到式(3)。

$$x_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, y_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (3)$$

通过式(3),获得区域重心坐标。

根据节点的剩余能量与节点到重心距离的加权和,决定节点是否被选为簇头节点。节点的加权和  $f_j$  的计算方法见式(4)。

$$f_j = \alpha E_j + (1-\alpha)/d \quad \alpha \in (0, 1) \quad (4)$$

其中,  $\alpha$  为加权系数,  $E_j$  为节点的剩余能量,  $d$  为节点到重心的距离。

设节点坐标为  $(x_j, y_j)$ ,则节点到重心的距离  $d$  的计算方法见式(5)。

$$d = \sqrt{(x_g - x_j)^2 + (y_g - y_j)^2} \quad (5)$$

比较簇内各个节点的加权和,选  $f_j$  最大的节点为簇头节点,即节点的剩余能量越多,离重心越近的节点越有可能被选为簇头。若加权系数  $\alpha$  选较大的值,则表示更侧重于能量;反之,则表示更侧重于到重心的距离。簇头选举结果如图 2 所示。

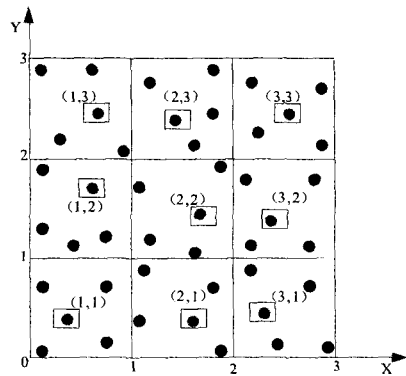


图2 簇头的选举结果

当移动 sink 节点访问完所有的簇头节点后,则一轮的数据传输结束,为了平衡网络能耗,需要重新选举簇头,进行下一轮的数据传输。每一轮数据传输周期为  $T$ 。周期  $T$  的计算方法见式(6)。

$$T = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} / V \quad (6)$$

其中,  $V$  为 sink 节点的移动速度。

### 2.3 sink 节点的移动过程

MSEERP 算法中的 sink 节点采用静止和移动相结合的移动方式,在 sink 节点静止时接收和发送数据。采用能量可控移动策略且在有限跳数范围内广播消息。

移动 sink 节点在两跳范围内广播 hello 消息包,hello 数

据包格式如图 3 所示。接收到 hello 包的簇头节点计算簇内的平均剩余能量  $E_a$  (见式(7)), 并将所在区域号以及自身位置信息放入 hello 包中, 再返回给移动 sink 节点, sink 节点通过比较各个簇内的平均剩余能量, 选择平均剩余能量最大的簇。再次广播 message 消息包, 消息包 message 包含所选簇头所在的区域号, 其数据包格式如图 4 所示。接收到 message 包的簇头节点, 比较 message 包中的区域号和自己的区域号, 若相同则准备发送数据; 否则, 丢弃该 message 包。当移动 sink 节点移动到簇头节点附近, 该簇头节点把数据传送给移动 sink 节点。移动 sink 节点停留一段时间后, 再次广播 hello 包。

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} E_i}{N} \quad (7)$$

其中,  $N$  为簇内节点个数。

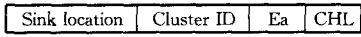


图 3 hello 数据包格式

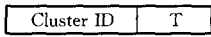


图 4 message 数据包格式

图 3 中, Sink location 为 sink 节点目前的位置; Cluster ID 为簇头所在区域号;  $E_a$  为簇内平均剩余能量; CHL 为簇头节点的位置。

#### 2.4 MSEERP 算法流程

MSEERP 算法的流程图如图 5 所示。从图 5 看出, MEERP 算法流程主要由网络分簇、sink 节点移动两个过程组成。分簇过程又分为网络的划分和簇头的选举。sink 节点的移动过程包括 sink 节点的消息广播和收集数据两个阶段。

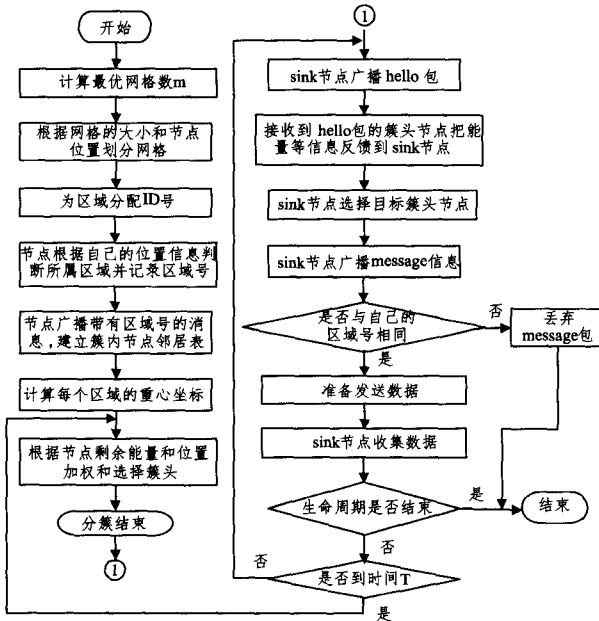


图 5 MSEERP 算法的流程图

### 3 能量模型

与节点的通信能量消耗相比, 节点在计算、存储过程中的能量消耗可忽略。在此只考虑节点的通信能耗, 通信能量消耗主要由发送数据能耗和接收数据能耗组成<sup>[12]</sup>。

发送数据能耗包括数据发送器能耗和功率放大器能耗两部分, 见式(8)。

$$E_{TX} = E_{tx-elec} + E_{tx-amp} \quad (8)$$

其中,  $E_{tx-elec}(i)$  为数据发送器能耗,  $E_{tx-amp}(i, d)$  为功率放大器能耗。

设发射或接收 1bit 数据所消耗的能量为  $E_{dec}$ , 则发射  $i$  bit 数据所消耗的能量见式(9)。

$$E_{TX}(i, d) = \begin{cases} iE_{dec} + i\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ iE_{dec} + i\epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $\epsilon_{fs}$ 、 $\epsilon_{mp}$  为两种模型的功率放大系数,  $d_0$  为传输距离阈值。

传输距离阈值  $d_0$  的计算方法见式(10)。

$$d_0 = \sqrt{\frac{16 * \pi^2 * L * h_r^2 * h_t^2}{\lambda^2}} \quad (10)$$

其中,  $L$  是系统功耗因子,  $h_r$  是接收天线高度,  $h_t$  是发送天线的高度,  $\lambda$  是载波波长。

若传输距离小于阈值  $d_0$ , 则功率放大能量损耗采用自由空间模型; 若传输距离大于等于阈值  $d_0$ , 则功率放大能量损耗采用多路径衰减模型。

接收数据能耗主要是接收电路能量消耗, 接收  $i$  bit 数据所消耗的能量计算见式(11)。

$$E_{RS}(i) = E_{rx-elec}(i) = iE_{dec} \quad (11)$$

根据此能量模型计算节点的能量消耗, 分析整个网络的能量消耗, 评估路由算法的性能。

## 4 仿真与分析

### 4.1 仿真环境

本文采用 NS2 对 MSEERP 算法进行仿真, 网络设定为  $100m * 100m$ , 节点数为 100, 节点的位置随机生成。仿真环境具体参数设置如表 1 所列。

表 1 仿真环境参数设置

参数	参数值	备注
S	100m * 100m	网络大小
N	100	节点数
$E_{elec}$	50nJ/bit	电路处理 1bit 数据的能量消耗
$\epsilon_{fs}$	10nJ/bit/m <sup>2</sup>	自由空间信道模型的能耗参数
$\epsilon_{amp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>	多路衰减信道模型的能耗参数
$E_{init}$	2J	传感器节点的初始能量
$E_{sink}$	$\infty$	Sink 节点的能量
$T_{max}$	2000s	每次仿真最长时间
$\alpha$	0.6	加权系数
V	5m/s	sink 节点移动速度
R	50m	节点的通信半径
MAC <sub>p</sub>	IEEE802.15.4	MAC 层协议
Packet	200bytes	数据包大小
Speed	1Mb/s	数据发送速度

### 4.2 MSEERP 影响因子分析

从 sink 节点的移动速度、移动 sink 节点的数量以及加权系数  $\alpha$  3 个方面分析它们对 MSEERP 算法性能的影响。

#### (1) sink 节点的移动速度

sink 节点的移动速度 ( $V$ ) 与网络总能耗、网络生存时间和数据接收成功率之间关系, 分别如图 6(a)–(c) 所示。  $V=0$  时, 即 sink 节点静止时, 网络所消耗的能量是最多的, 大约达到 800J, 网络的生存时间为 1550s, 接收数据的成功率为 0.91;  $V=5m/s$  时, 网络的能耗为 380J, 网络的生存时间为 1800s, 接收数据的成功率为 0.96;  $V=10m/s$  时, 网络的能耗为 600J, 网络的生存时间为 1600s, 接收数据的成功率为 0.94;  $V=15m/s$  时, 网络的能耗为 650J, 网络的生存时间为 1500s, 接收数据的成功率为 0.93;  $V=20m/s$  时, 网络的能耗

为 700J,网络的生存时间为 1450s,接收数据的成功率为 0.90。随着 sink 节点速度的增加,网络所消耗的能量也随之增加,但是其都比 sink 节点静止时所消耗的能量少,原因在于 sink 节点代替簇头节点部分功能;网络的生存时间反而在减少,这是因为移动速度增加,缩短了数据传输周期,增加了数据传输频次。 $V=5\text{m/s}$  时,网络的生存时间最长,数据接收成功率最高,达到数据传输频次与 sink 节点代替簇头节点功能之间的平衡。

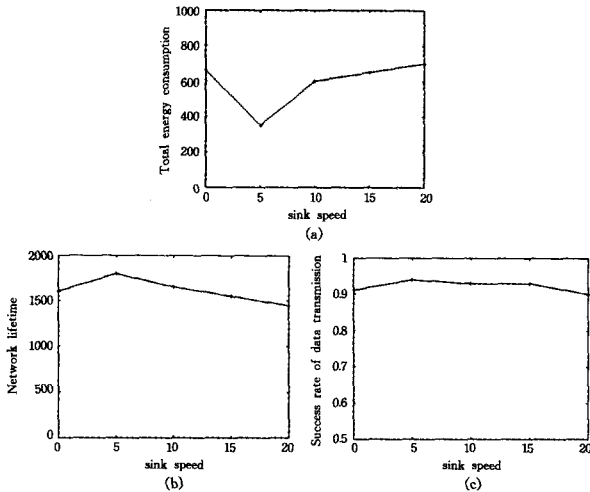


图 6 sink 节点的移动速度对网络的影响

### (2) 移动 sink 节点的数量

移动 sink 节点的数量( $N_s$ )与网络总能耗、网络生存时间和数据接收成功率之间的关系,分别如图 7(a)–(c)所示。 $N_s=1$  时,网络所消耗的能量是最少的,大约为 300J,网络的生存时间为 1800s,接收数据的成功率为 0.99; $N_s=2$  时,网络的能耗约为 410J,网络的生存时间为 1600s,接收数据的成功率为 0.97; $N_s=4$  时,网络的能耗为 600J,网络的生存时间为 1450s,其数据接收成功率最低,为 0.89; $N_s=6$  时,网络的能耗为 690J,网络的生存时间为 1400s,接收数据的成功率为 0.95; $N_s=8$  时,网络的能耗约为 1000J,网络的生存时间为 1250s,接收数据的成功率为 0.96。随着移动 sink 节点数量的增加,网络路径数量也在增加,提高了网络数据通信的可靠性,也增加了网络能耗,相应地降低了网络的生存时间。从图 7 看出,当网络中只有一个移动 sink 节点时,网络的数据接收成功率最高,此时实现了网络平衡。

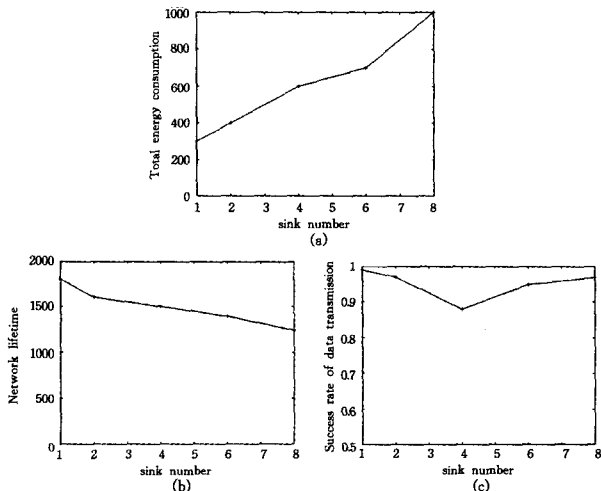


图 7 移动 sink 节点的数量对网络的影响

### (3) 加权系数 $\alpha$

当加权系数  $\alpha$  分别为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 和 1 时,对节点存活数、网络总能耗和数据接收成功率的影响,分别如图 8(a)–(c)所示。 $\alpha=0$  时,网络中最早出现死亡节点,当  $t=500\text{s}$  时,网络中所消耗的能量最多;当  $\alpha=0.6$  时,节点的剩余能量占 60%,而节点离重心的距离占 40%,网络所消耗的能量是最少的。这说明在  $\alpha=0.6$  时,节点加权和在节点的剩余能量与重心距离之间取得最佳。当  $\alpha$  取不同值时,网络生存时间和总能耗的排序都为  $\alpha=0 > \alpha=0.1 > \alpha=0.2 > \alpha=0.3 > \alpha=0.4 > \alpha=0.5 > \alpha=0.6 > \alpha=0.7 > \alpha=0.8 > \alpha=0.9 > \alpha=1$ 。在 0 到 800s 间,随着  $\alpha$  值的不同, sink 节点接收到的数据量略有相差,但没有特别明显的差异,这是因为在 800s 之前,网络中的节点都还存活,处于运行状态,所以 sink 节点接收到的数据量没有明显区别;当  $t > 800\text{s}$  时,随着  $\alpha$  值的不同,网络所消耗的能量不同,具体排序同总能耗的排序。

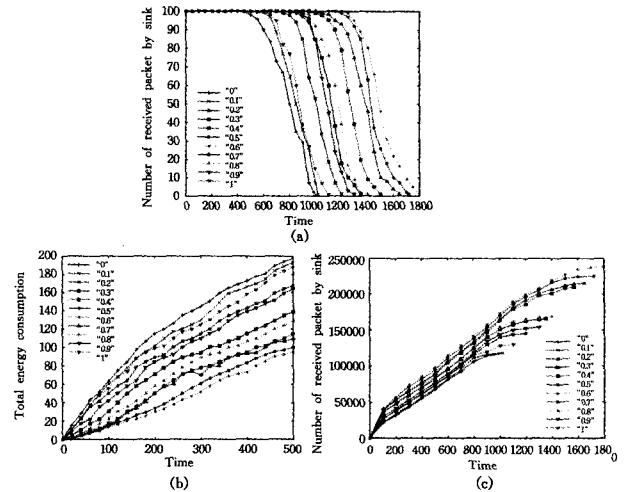


图 8 加权系数  $\alpha$  对网络的影响

## 4.3 算法仿真分析

基于表 1 所列的仿真环境,分别从网络的生命周期、总能耗和 sink 节点接收数据量方面,对 GAF 算法、TTDD 算法和本文算法进行比较分析。

### (1) 网络的生命周期

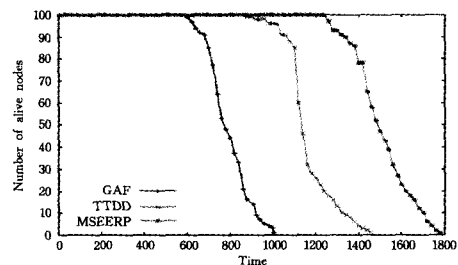


图 9 网络节点寿命的比较图

网络的生命周期变化如图 9 所示,其中横坐标表示网络运行时间,纵坐标表示网络当前剩余存活节点的个数。通过 GAF 算法的仿真结果可以看出, $t=600\text{s}$  时开始有节点因能量耗尽而死亡, $t=750\text{s}$  时约 50% 的节点死亡, $t=1006\text{s}$  时节点全部死亡;TTDD 算法中, $t=940\text{s}$  时开始出现死亡节点, $t=1190\text{s}$  时有一半的节点死亡, $t=1469\text{s}$  时节点全部死亡;MSEERP 算法中, $t=1230\text{s}$  时才开始有死亡节点出现, $t=1500\text{s}$  时近半数节点死亡, $t=1795\text{s}$  时仿真结束。从图 9 可看出,MSEERP 算法开始出现死亡节点的时间与 GAF 算法

相差 630s,与 TTDD 算法相差 290s。其生命周期比 GAF 算法延长了约 78.4%,比 TTDD 算法延长了 22.2%,原因在于 MSEERP 算法在簇头选择上考虑了节点剩余能量,延长了网络生存周期。

### (2) 网络总能耗

网络整体的能量消耗如图 10 所示,其中横坐标表示网络运行时间,纵坐标表示整个网络的能量消耗。从图 10 可以看出, $t=500s$  时,GAF 算法的耗能约为 180J,TTDD 算法的耗能约为 165J,MSEERP 算法的能量消耗为 140J。从总能耗趋势看,GAF 算法的能量消耗速度最快,TTDD 算法次之,MSEERP 算法的能量消耗变化最慢,在同一时刻所消耗的能量最少。

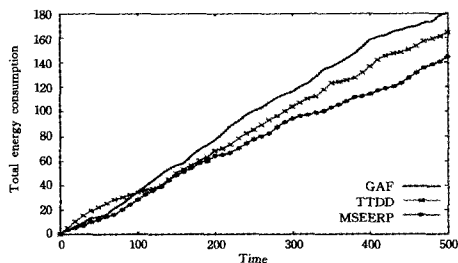


图 10 网络总能耗的比较图

### (3) sink 节点接收数据量

sink 节点接收数据量随时间的变化如图 11 所示,其中,横坐标表示网络运行时间,纵坐标表示 sink 节点接收数据量。

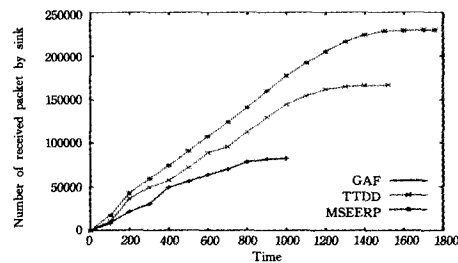


图 11 sink 节点接收数据量的比较图

从图 11 可以看出,同时刻,GAF 算法向 sink 节点发送的数据包最少,在 800s 后随着 GAF 算法中大量节点的死亡,其向 sink 节点发送的数据包逐渐减少,最先停止向 sink 节点发送数据包;TTDD 算法在 1200s 后向 sink 节点发送的数据包开始减少,大约在 1650s 时停止向 sink 节点发送数据;MSEERP 算法中 sink 节点接收到的数据包最多,大约在 1780s 时才停止向 sink 节点发送数据,这得益于采用 sink 节点静止方式接收和发送数据。

**结束语** 无线传感网移动路由算法中,选举簇头时并没有考虑节点的剩余能量以及位置等信息,从而导致整个网络的能量消耗不均衡,本文引入移动 sink 节点,提出了一种带 sink 节点的 WSN 节能路由算法(MSEERP)。在 MSEERP 中,根据节点的剩余能量和离簇重心距离的加权和选举簇头,避免了剩余能量低的节点被选为簇头。通过可控移动策略,调度移动 sink 节点,当它移动到簇头节点附近时,簇头节点将收集到的数据传送给它。

基于仿真数据,分析 sink 节点的移动速度、移动 sink 节点的数量以及加权系数  $\alpha$  3 个参数对 MSEERP 算法性能的影响,分析结果显示 sink 节点的移动速度为 5 时,网络能耗最少、网络生存时间最长和数据接收成功率最高;随着移动 sink 节点数量增加,网络所消耗的能量也随之增加,网络的生

存时间逐渐减少,但只有一个移动 sink 节点时的数据接收成功率最高;在 0 到 800s 间,加权系数  $\alpha$  影响不大,800s 之后  $\alpha$  对数据接收成功率排序为  $\alpha=0 > \alpha=0.1 > \alpha=1 > \alpha=0.2 > \alpha=0.9 > \alpha=0.3 > \alpha=0.8 > \alpha=0.4 > \alpha=0.7 > \alpha=0.5 > \alpha=0.6$ ,对其它两方面仿真的结果同数据接收成功率,但不受时间限制。因此,选择  $\alpha=0.6$  最为合适,有利于利用其能量,均衡网络能耗,延长网络的生存时间。

从网络的生命周期、总能耗和 sink 节点接收数据量 3 个方面,本文算法与 GAF 和 TTDD 算法进行了仿真。分析仿真结果可知,MSEERP 算法优于 GAF 算法和 TTDD 算法,合理地使用了节点的剩余能量,降低了路由路径,平衡了网络的能耗,提高了节点的存活周期,进而延长了网络的生存时间。

## 参考文献

- [1] 郑军,张宝贤. 无线传感器网络技术[M]. 北京:机械工业出版社,2012
- [2] Luo J, Huang J P. Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings IEEE Infocom 2005, Miami, FL, United States, 2005, 3:1735-46
- [3] Royer E M, Melliar-Smith P M, Moser L E. An analysis of the optimum node density for Ad hoc mobile networks [C]//Proceedings of International Conference on Communications. Helsinki, Finland, 2001, 3:857-861
- [4] Bi Y, Sun L, Ma J, et al. HUMS: An Autonomous Moving Strategy for Mobile Sinks in Data-Gathering Sensor Network[J]. Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking, 2007
- [5] Chatzigiannakis I, Kinalis A, Nikolettseas S. Efficient data propagation strategies in wireless sensor networks using a single mobile sink[J]. Computer Communications, 2008, 31(5): 896-914
- [6] Chatzigiannakis, Ioannis, Kinalis, et al. Fast and Energy Efficient Sensor Data Collection by Multiple Mobile Sinks[C]//Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access. Chania, Crete Island, Greece, 2007:25-32
- [7] Tian K, Zhang B, Huang K, et al. Data Gathering Protocols for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings 2010 IEEE Global Communications Conference. Miami, FL, USA, 2010(12): 6-10
- [8] Luo H, Ye F, Cheng J, et al. TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Networks, 2005, 11(1-2): 161-175
- [9] Khan N M, Ali I, Khalid Z, et al. Quasi centralized clustering approach for energy-efficient and vulnerability-aware routing in wireless sensor networks[C]//Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. Hong Kong, China, 2008: 67-72
- [10] Lin Zhi-gui, Zhang Hui-qi, Wang Xu-yang, et al. Energy-efficient Routing Protocol on Mobile Sink in Wireless Sensor Network [C]//2013 2nd International Symposium on Materials Science and Engineering Technology, ISMSET 2013. Guangzhou, China, 2013, 787: 1050-1055
- [11] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing [C]//Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, 2001: 70-84
- [12] Deng Jing, Han Y S, Chen Po-ning, et al. Optimum transmission range for wireless Ad hoc networks[C]//2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Atlanta, GA, USA, 2004, 2: 1024-1029