

# 分簇无线传感器网络中全局最小能耗传输策略<sup>①</sup>

席本强, 武洪岩, 谢军波

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

**摘 要:** 无线传感器网络能量均衡策略中存在能耗大小的问题。在圆形的网络模型中, 通过比较不同分环数下总能耗大小, 得出在能量均衡前提下, 能耗最小的网络分环数。算法同时能够明确网络所需的最优簇头数。实验数据表明, 该策略可以最大限度的减少节点能耗, 延长网络寿命。

**关键词:** 无线传感器网络; 分簇; 最小能耗; 网络寿命

## Clustering in Wireless Sensor Networks of the Global Minimum Energy Transmission Strategy

XI Ben-Qiang, WU Hong-Yan, XIE Jun-Bo

(School of Mechanical Engineering, Liaoning Technic University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** Wireless sensor network energy consumption balancing strategy exist the problem of the energy size. In the circular network model, by comparing the number of different sub-ring the size of the total energy consumption in the context of energy balance, this paper can obtain the number of network's sub-circular on the Minimum energy consumption. Algorithm can also clearly calculate the optimal number of cluster head for the network required. Experimental data show that this strategy can minimize the node energy consumption.

**Key words:** wireless sensor networks; clustering; minimum energy consumption; network lifetime

无线传感器网络由具有传感、数据处理和短距离无线通信功能的传感器节点组成, 在军事国防、环境监测、生物医疗、抢险救灾以及商业应用等领域具有广阔的应用前景。与传统的网络不同, 无线传感器网络中的节点带宽、内存等资源更为匮乏, 尤其是其有限的能量直接影响着传感器网络的生命周期以及网络的信息质量<sup>[1]</sup>。因此通过合理的数据传输方案来降低节点能耗能够有效延长整个网络的生命周期。

针对目前无线传感器网络数据传输过程中簇头单跳产生的远距离簇头能量消耗过快和多跳产生的能量空洞的问题, 陈祖爵等人提出了将整个网络划分为不同的层次, 通过层次间隔动态调整算法动态调整层次间隔来均衡网络能量负载均衡<sup>[2]</sup>。吴振华等人通过优化簇半径对无线传感器网络进行合理分簇, 使靠近 Sink 节点的簇规模小于远离 Sink 节点的簇, 均衡了节点能量消耗<sup>[3]</sup>。刘浩等人对网络进行

分层, 每层的路由按照不同概率选择单跳或多跳方式传输给 Sink 节点<sup>[4]</sup>。

然而上述文献对于层次的具体划分, 簇头数的选举以及节点最小能耗的研究没有具体说明。本文提出一种全局能耗最小的传输策略, 通过建立圆形的网络模型, 对模型进行等距分环, 按照节点能耗均等的策略, 选举出每环的最优簇头数。根据网络不同分环数在数据传输过程中能量消耗的差异, 得出最小能耗的分环数和簇头数。计算结果表明, 该策略能够实现网络能量的均衡消耗和最小消耗, 从而最大限度的延长网络的生命周期。

## 1 系统模型

### 1.1 网络模型和基本假设<sup>[4,5]</sup>

在一个半径为  $R$  圆形监测区域中, 等距的划分为  $n$  个间距相同的同心圆, 如图 1, 整个网络均匀地散

① 收稿时间:2011-06-14;收到修改稿时间:2011-07-07

布  $N$  个传感器节点, 节点周期性地采集数据发送给簇头节点, 所有的节点基本静止不动, Sink 节点位于监测区域的中心位置。簇头节点将所有接收到的数据发送给 Sink 节点。所有节点具有相同的初始能量、计算、存储、通信等能力; 节点失效全部由能量耗尽造成, 忽略其他自然破坏。

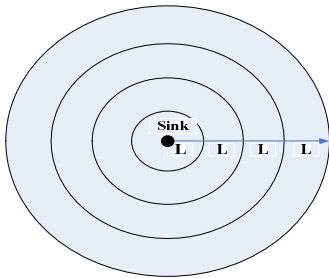


图 1 圆形网络布设区域示意图

### 1.2 能量划分

传感器一般会执行两个主要过程: 接收和转发数据。假设传感器能量消耗是由于接收和转发数据引起的, 记  $E_{TX}(d, c)$  和  $E_{RX}(c)$  分别表示接收一个从距离  $d$  米传过来比特信息消耗的能量和转发比特数据消耗的能量。两者可以如下表示<sup>[5]</sup>。

$$E_{TX}(d, c) = \begin{cases} c * (E_{elec} + e_{fs} d^2) & d < d_0 \\ c * (E_{elec} + e_{mp} d^4) & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{RX}(c) = E_{elec} * c \quad (2)$$

式中  $E_{elec}$  表示节点传输每比特数据时所需的能量,  $e_{fs} d^2$  和  $e_{mp} d^4$  表示发送每比特数据放大器的能量消耗。通常通信能量参数设置如下<sup>[6]</sup>:

$$E_{elec} = 50 \frac{nJ}{bit} \cdot e_{fs} = 10 \frac{pJ}{bit \cdot m^{-2}},$$

$$e_{mp} = 0.0013 \frac{pJ}{bit \cdot m^{-4}}.$$

数据累积耗能设为:

$$E_{DA} = 5 \frac{nJ}{bit \cdot signal^{-1}}$$

## 2 能耗分析<sup>[6,7]</sup>

在 LEACH 协议中, 文献[6,7]给出了节点的消耗和簇头的消耗模型, 整个网络中,  $N$  表示节点的数目。假设共有  $K$  个簇头, 则每个分簇有节点数为  $N/K$ ,

每个非簇节点耗能为:

$$E_{io-CH} = c * (E_{elec} + e_{fs} d_{io-CH}^2) \quad (3)$$

一般地, 每个分群所在区域是任意形状的区域, 节点(非群首节点)到达其群首节点的平均距离期望值为

$$E[d_{ioCH}^2] = \frac{1}{2\pi} \frac{S^2}{K}$$

因此, 在这种情况下每个非簇节点耗能为

$$E_{io-CH} = c * E_{elec} + c * e_{fs} \frac{1}{2\pi} \frac{S^2}{K} \quad (4)$$

一个簇传输一次数据的能耗为:

$$E_{CH} = c * E_{elec} * \left(\frac{N}{K} - 1\right) + c * E_{DA} * \frac{N}{K} + E_{TX}(d_{io-BS}, c) \quad (5)$$

在本文的网络模型中,  $S_i$ 、 $K_i$  分别表示第环的面积和簇头数,  $N_i$  表示第  $i$  环节点数,  $L$  为每环的宽度, 假设第  $i$  环向下一层传输数据的平均距离为  $L$ 。第  $i$  层各簇消耗能量与(5)不同, 簇头发送数据不是到 Sink 节点, 而是传给下一环节点, 当  $i < n$  时, 簇头节点还要接受来自外环簇头传输来的数据, 所以簇消耗为:

$$E_{CH} = c * E_{elec} * \left(\frac{N_i}{K_i} - 1\right) + c * E_{DA} * \frac{N_i}{K_i} + E_{RX}(c) + E_{TX}(L, c) \quad (6)$$

所以第环节点产生的总能耗:

$$E_i = dN_i * E_{elec} + (N_i - K_i) * E_{TX}(d_{io-CH}, c) + N_i * E_{DA} + \sum_{j=i}^n K_j * E_{TX}(L, c) + \sum_{j=i+1}^n K_j * E_{RX} \quad (7)$$

特殊的, 当  $i = n$  时,  $\sum_{j=i+1}^n K_j * E_{RX} = 0$ ,

所以最外层能量消耗满足:

$$E_n = c[N_n * E_{elec} + (N_n - K_n) * E_{TX}(d_{io-CH}, c) + N_n * E_{DA} + K_n * E_{TX}(L, c)] \quad (8)$$

### 2.1 能量平衡传输方案的分析

第  $i$  层网络的面积为:

$$S_i = \pi[i * L^2 - (i-1) * L^2] = (2i-1)\pi L^2 \quad (9)$$

在网络模型中, 每个节点均匀分布, 故可设每个节点检测的半径为  $r$ , 所以有:

$$N_i = \frac{S_i}{\pi r^2} = \frac{(2i-1)L^2}{r^2} \quad (10)$$

当  $1 \leq i < n$ ，由于节点均衡消耗，所以可得

$$\frac{E_{i+1}}{S_{i+1}} - \frac{E_i}{S_i} = 0 \quad (11)$$

将(7)(9)(10)代入(11)得

$$\begin{aligned} \frac{E_{i+1}}{S_{i+1}} - \frac{E_i}{S_i} &= e_{\beta} * \frac{1}{2\pi} * (\frac{N_{i+1} * S_{i+1}}{K_{i+1}} - \frac{N_i * S_i}{K_i}) \\ + e_{\beta} * \frac{1}{2\pi} * (S_i - S_{i+1}) &+ \varepsilon * L^n * (\frac{\sum_{j=i+1}^n K_j}{S_{i+1}} - \frac{\sum_{j=i}^n K_j}{S_i}) \\ + 2 * E_{elec} * (\frac{\sum_{j=i+2}^n K_j}{S_{i+1}} - \frac{\sum_{j=i+1}^n K_j}{S_i}) &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

式中  $\varepsilon * L^n$  为  $e_{fs} * L^2$  ( $L \leq d_0$ ) 或  $e_{mp} * L^4$  ( $L > d_0$ )

环数  $n$  确定后，每环的宽度  $L = \frac{R}{n}$  也确定，最外层簇头数由  $L$  决定，令得最外层的簇头半径为  $\frac{L}{2}$ ，可得出最外层簇头数  $K_n$  值，将  $K_n$  代入 (8)，结合式 (9)、

(10)，可以得出  $E_n$ ，再将  $K_n$  代入(11)，可以得出  $K_{n-1}$  值，将  $K_{n-1}$  代入 (6) 可得出  $E_{n-1}$ 。以此类推，可以得出每一层簇头的数目和每层的能量消耗。

### 2.2 能量消耗最小的层数划分

在一次数据传输中，整个网络的消耗为所有环能耗之和，即

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (13)$$

不同的分环数  $n$ ，环间距  $L$  值不同， $K_i$  值也不相同，网络的总能耗  $E$  也不相同，选择合适的环数  $n$ ，可以使得整个网络的能量消耗最小。

### 3 数值结果和讨论

参数设置为：节点初始能量  $E_0 = 0.2J$ ， $c = 1 \text{ bit/s}$ ，节点覆盖面的半径  $R = 100m$ ，整个网络节点数  $N = 1000$ ， $d_0 = 87m$ ，环宽度  $L = \frac{R}{n}$ ，网络总能耗  $E = \sum_{i=1}^n E_i$ ，网络生命周期  $T = \frac{E_0}{E/N}$ ，其他参数与第 2 章

相同。利用 MATLAB 计算(7)(8)(12)式，设定环数值  $n$  从 2 到 20，则网络的分环数  $n$  与网络总能耗  $E$ 、网络的生命周期  $T$  之间的关系如表 1 所示，从表 1 中，我们可以看出，当环数从 2 逐渐递增到 11 时，节点能耗逐渐减少，节点的生存周期逐渐增加，当分环从 11 到 20 时，节点能耗逐渐增加，节点的生存周期逐渐减少，所以当  $n=11$  时，网络总能耗最小，网络寿命最长，是该模型参数下的最优分环数。

当网络分为 11 环时，计算每环的簇头数  $K_i$ ，结果如表 2 所示，从表 2 中我们可以看出，第一环和第二环簇头数为 0，此时第一第二环节点均直接和基站通信，不用额外成簇。

同样的算法我们推广到一般情况，假设网络的半径  $R$  不确定，那么网络模型半径  $R$  大小和分环数  $n$  之间的关系如表 3，由表 3 我们可知，最优分环数  $n$  随着网络半径的增加而增加，两者近似呈线性关系。

表 1  $R = 100m$  时分环数和网络能量.网络周期的关系

|                |     |     |      |      |      |      |      |     |     |     |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $n$ /环         | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9   | 10  | 11  |
| $E, 10^{-3} J$ | 726 | 235 | 102  | 52   | 30   | 19   | 12.8 | 9.7 | 8.3 | 8   |
| $T, 10^3$ 轮    | 2.8 | 8.5 | 19.7 | 38.4 | 67   | 107  | 156  | 207 | 242 | 250 |
| $n$ /环         | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19  | 20  |     |
| $E, 10^{-3} J$ | 8.6 | 9.7 | 11.4 | 13.5 | 15.9 | 18.7 | 21.8 | 25  | 29  |     |
| $T, 10^3$ 轮    | 234 | 206 | 176  | 149  | 126  | 107  | 92   | 79  | 68  |     |

表 2  $n=11$  时，每环选取的最优簇头数

|           |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-----------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 环数 $n$    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 簇头数 $K_i$ | 0 | 0 | 2 | 4 | 7 | 13 | 23 | 37 | 55 | 72 | 84 |

表 3 网络半径和最佳分环数之间的关系

|            |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 网络半径 $R/m$ | 20 | 30 | 50 | 80 | 100 | 120 | 150 | 170 | 200 | 250 |
| 最优分环数 $n$  | 3  | 4  | 6  | 9  | 11  | 13  | 15  | 17  | 20  | 24  |

### 4 结论

本文提出了一种在能量均衡条件下的传感器节点最小能耗的策略，该策略通过对圆形网络模型进行等距划分，比较不同的分环数来得出能耗最小的环数划分，同时给出了不同分环下每环的簇头选举数目。利用 MATLAB 计算结果表明，该策略能够有效地减少节点的能量消耗，延长网络的寿命。

### 参考文献

1 郭书城,卢昱,许定根.基于分簇无线传感器网络的路由算法研究.通信学报,2010,31(8A):63-69.

2 陈祖爵,麻颢光,陈媛.基于能量均衡的动态间隔分层路由协议.计算机应用研究,2011,28(1):271-274.  
 3 吴振华,尹志军.基于优化簇半径的 WSNs 非均匀分簇路由.计算机工程与设计,2010,31(15):3374-3377.  
 4 刘浩,唐培和.无线传感器网络中能耗平衡的传输策略.计算机工程与应用,2010,46(33),112-114.  
 5 何永刚,徐汀荣,彭俊.无线传感器网络分簇方法的优化.计算机工程与应用,2010,47(1):92-95.  
 6 陈林星.无线传感器网络技术与应用.北京:电子工业出版社,2009.157-159.  
 7 靳淑娟.无线传感器网络中的能量均衡路由协议研究.大连:大连理工大学,2009.

(上接第 124 页)

3) 删除:用于多节点。删除一个多节点  $k=[M,N]$  ( $m,n \in N$ ) 和扩大了其子节点  $k_i$  的权。删除后，每个节点取代它的子节点。用  $weight(k^*)=weight(k) * (m+n)/2$ 。图 4(c)给出了一个删除规则的例子。

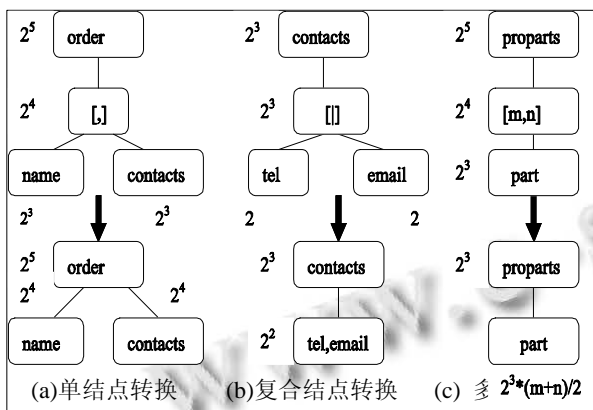


图 4 树转换

树距描述了 web 服务在不服务器之间的连接关系，不同服务之间映射关系，服务连接从树距的关系进行连接服务。XML 树转换是对树距进行转换，把复

杂的服务进行转换成简单地树距模型，从而降低了服务的成本。

### 4 结语

本文提出了 Web 服务的发现和匹配机制，给出一个匹配树算法来衡量服务连接，把 Web 服务通过对树匹配模型来分析服务连接，再把服务成本计算进行来评估服务的成本问题。

### 参考文献

1 Christensen E. Web services description language(WSDL)1.1.2001. http://www.w3.org/.  
 2 Feng YC, Yi BL, Tan ZP. Design and Implementation of WebGIS Based on SOAP Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2008,8(4).  
 3 Bhiri S, Perrin O, Godart C. Ensuring required failure atomicity of composite web services. Proc. of WWW Conference, 2005,138-147.  
 4 王先平,齐逸.面向服务计算中 Web 服务动态绑定模型研究.计算机工程与设计,2010,31.