

# 基于双簇头无线传感器网络分簇算法的研究

潘 刚

(四川文理学院 计算机科学系,四川 达州 63500)

**【摘要】**针对无线传感器网络分簇协议中簇头及附近节点能量消耗不均衡的问题,提出了一种基于双簇头的无线传感器网络分簇路由算法。该算法利用双簇头的网络模型来解决节点侦测信道消耗能量的问题;构造了适应值函数和能量消耗函数用于选择和优化簇头,提高网络能量消耗的均衡性,降低网络能耗。实验结果证明了该算法的有效性。

**【关键词】**无线传感器网络;路由算法;分簇算法;潜在能量

**【中图分类号】**TP393 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2012)04-0058-04

## 1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由大量部署在监测区域内的无线传感器节点以无线通信的方式组成的一种无需基础设施的无线网络,在军事、医疗、环境检测等方面有广阔的应用前景。但是由于传感器节点一般靠电池供电,能量有限且难以补给,这使无线传感器网络的应用受到很大的限制。为此研究人员做了大量的研究,也取得的丰硕的成果。Heinzelman等人提出了一种根据某个阈值自主决定一个节点是否当选簇头的无线传感器网络分簇算法LEACH<sup>[1]</sup>,KENNEDY等人提出了一种完全分布式的根据概率和节点剩余能量选择簇头的成簇算法HEED<sup>[2]</sup>。Heinzelman等人提出一种基于整个网络挑选簇头的LEACH-C<sup>[3]</sup>成簇算法。周琴等人提出了一种基于双簇头的无线传感器网络多跳路由协议MRDC<sup>[4]</sup>。但这些算法都没有考虑周围节点的剩余能量对本区域数据传输能力的影响。针对以上分簇算法存在的问题,本文提出了基于双簇头的无线传感器网络的分簇算法(CADCH)。仿真结果表明:该算法在降低能量消耗和延长网络生命周期方面性能较其它算法优越。

## 2 基于双簇头的无线传感器网络分簇路由算法

本算法的基本思想如下:节点利用能耗均衡性的无线传感器网络路由算法<sup>[5]</sup>选择下一跳节点,并传输数据至簇头的前一跳节点,之后节点不是把数据直接发送给簇头,而是先向副簇头索取一个发送信息的序号后进入睡眠状态,以节省能量;待主簇头广播的ACK<sub>n</sub>信息将其唤醒后向主簇头发送数据。然后主簇头将融合处理后的数据转发到下一跳簇头,以此继续,直到数据传输到基站为止。

文中主要研究这个过程中“候选簇头的产生”、“最终簇头的产生”和“簇的形成”三个部分。为了简化研究的网络模型,作以下合理的假设条件:

- (1) 进行周期性的数据采集。
- (2) 节点和基站在部署后位置不变。
- (3) 链路是对称的,节点可以根据接收信号的强度计算发送者与自己之间的近似距离。
- (4) 节点可以自由调节其发送功率以便节约能耗。

### 2.1 候选簇头的产生

候选簇头的产生是簇形成的基础。这里采用投票的方式产生候选簇头,投票前节点先计算并广播自己的潜在能量<sup>[6]</sup>信息,随后进入候选簇头的产生阶段,其步骤如下:

- (1) 每个节点根据收到的邻居节点的潜在能量信息,选出三个潜在能量较大的节点作为投票(可以投自己的票)信息,并将其向半径为R区域(节点的检测区域)的节点广播。
- (2) 节点每接收到一条投自己票的信息,其计数器加1。
- (3) 判断投票是否结束,若结束,广播自己的得票数。否则,重复(1)~(2)。
- (4) 节点接收邻居节点的投票结果,如果自己的得票数大于所有邻居节点的得票数,广播得票数前三位的节点当选为候选簇头,进入簇头最终产生阶段。

候选簇头的产生过程如图1所示。

### 2.2 最终簇头的产生

为了在簇头的选择过程中综合考虑节点的潜在能量和节点在网络中的位置因素,构造了一个簇头竞争的适应度函数来优化簇头的选择,适应度函数<sup>[6]</sup>为:

收稿日期:2012-10-16

作者简介:潘刚(1978-),男,河南正阳人,助教,工学硕士,研究方向:嵌入式系统开发。

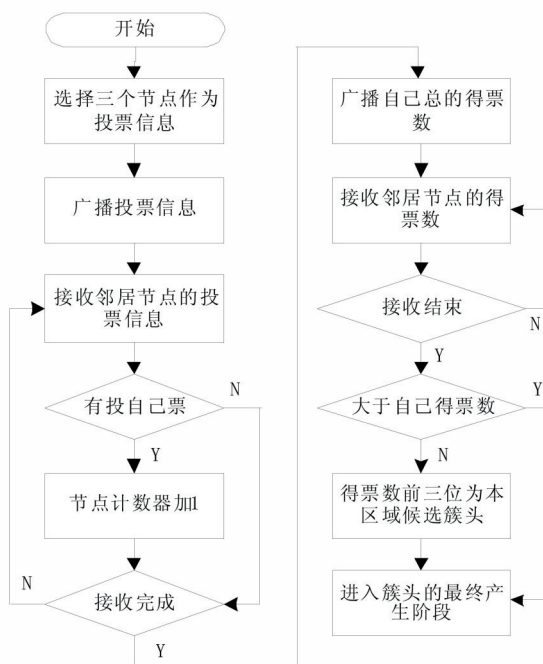


图1 候选簇头的产生过程

$$f(i) = \eta \times \left( \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n d^2(i, j)}{n-1} \right) - \lambda \times \left( \frac{E_{pi}(i)}{\sum_{j=1}^n E_{Rd}(j)} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

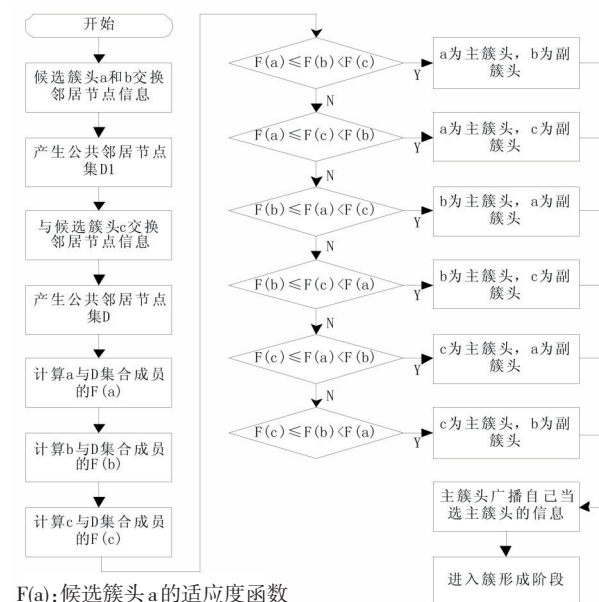
其中,  $n$  为区域内潜在能量大于零的节点数,  $d^2(i, j)$  为节点  $i$  到节点  $j$  的距离平方,  $E_{pi}(i)$  为节点  $i$  的潜在能量。  $E_{Rd}(j)$  表示节点  $j$  的剩余能量。  $\eta$  为距离影响因子,  $\lambda$  为能量影响因子,  $\eta + \lambda = 1$ , 且  $\eta, \lambda \in [0, 1]$ 。函数第一部分是计算候选簇头  $i$  到其它节点的距离平方的平均值。这个值越小说明节点与簇内成员通信代价就越小。函数的第二部分是计算候选簇头  $i$  的潜在能量占整个簇平均剩余能量的比重。这个比重越大, 说明候选簇头  $i$  的能量就越多。为了便于用  $f(i)$  的值来衡量候选簇头的优化度, 引入两个参数来实现选举簇头时节点位置和节点能量的和谐统一。  $f(i)$  的值越小越好。当节点  $i$  的剩余能量  $E_{Rd}$  小于  $E_{th}$  时, 节点  $i$  唤醒它的一个潜在节点代替它的工作。随着能量不断下降, 受能量影响因子的影响, 这些节点将会失去做簇头的资格。这样不仅可以避免频繁更换簇头而耗费能量, 而且可以减少因簇头死亡产生的网络“空洞”, 从而提高了网络能耗的有效性和均衡性。下面讨论如何利用适应值函数选出最终的簇头。

候选簇头产生后, 根据其距离的远近三个结合为一组, 每组中的三个候选簇头筛选出它们的公共

邻居节点集, 然后根据簇头到公共邻居节点集中节点的适应值函数值的大小选出主簇头和副簇头, 其步骤如下:

- (1) 每组的三个候选簇头交换邻居节点信息。选出三个候选簇头的公共邻居节点集。
- (2) 每个候选簇头根据公式(1)计算出自己在本区域的适应值函数值;
- (3) 候选簇头交换适应值函数值;
- (4) 函数值最小的节点当选为主簇头, 次之的节点当选为副簇头, 到此, 簇头产生阶段结束, 进入簇生成阶段。

最终簇头的产生流程如图2。



F(a): 候选簇头 a 的适应度函数

图2 最终簇头产生的流程

### 2.3 簇的形成

最终簇头产生后, 进入簇的形成阶段。在这个阶段, 除了两点之间的距离对能量消耗产生影响外, 节点的能量、节点周围邻居节点分布的密度及邻居节点的能量对局部网络的能量消耗效率及局部网络节点的连通性都会产生很大影响。节点在选加入择簇时, 综合考虑这些因素, 对节省节点能量、平衡节点和簇头区域的能量消耗是至关重要的。为此我们构造了能量消耗率函数<sup>[6]</sup>:

$$f(i, j) = w \times \frac{d^2(n_i, CH_j)}{d_{n-CH}^2} \times \frac{1}{E_{pi}(i)} + (1-w) \times \frac{d^4(CH_j, BS)}{d_{CH-max}^4} \times \frac{1}{E_{pi-CH}(j)} \quad (2)$$

其中,  $1 \leq j \leq CH$ ,  $CH$  为簇头数量。  $E_{pi}(i)$  表示节点  $i$  的潜在能量,  $E_{pi-CH}(j)$  表示簇头  $j$  的潜在能量。  $d(CH_j, BS)$  表示簇头  $j$  到基站 (BS) 的距离,  $d_{CH-max} = \arg \max_{1 \leq j \leq CH} \{d(CH_j, BS)\}$ 。  $d(n_i, CH_j)$  为节点  $i$  到簇头  $j$  的距离,  $d_{n-CH} = \arg \max_{1 \leq i \leq CM} \{d(n_i, CH_j)\}$ 。

$f(i, j)$  函数不仅考虑了节点与簇头、簇头与基站

之间距离在能量消耗中的作用,同时又考虑了节点和簇头在传输数据时对能量消耗的比例关系以及潜在能量因素,这些因素直接影响节点能量消耗的速率、节点的生命周期及局部网络的连通性,同时考虑这两个因素,对延长节点的生命周期和平衡当前簇头区域的能量消耗都有重要作用。 $f(i,j)$ 函数值越小,节点*i*与簇头、簇头与基站之间传输数据消耗能量的比例也就越合理,簇头 $CH_j$ 区域的能量消耗的平衡性也就越好简单说明如下:

在簇形成的过程中,节点选择 $f(i,j)$ 函数值小的簇加入,则有

$$\arg \min_{\substack{1 \leq i \leq CM \\ 1 \leq j \leq CH}} \{f(i,j)\} = \arg \min_{\substack{1 \leq i \leq CM \\ 1 \leq j \leq CH}} \left\{ w \times \frac{d^2(n_i, CH_j)}{d_{n,CH}^2 \times E_{P_i}(i)} + (1-w) \times \frac{d^4(CH_j, BS)}{d_{CH,BS}^4 \times E_{P_{CH}}(j)} \right\} \quad (3)$$

其等价公式如下:

$$\arg \min_{\substack{1 \leq i \leq CM \\ 1 \leq j \leq CH}} \left\{ \frac{1}{d_{n,CH}^2} \times \sum_i \varepsilon_{\delta} d^2(n_i, CH_j) + \frac{1}{d_{CH,BS}^4} \times \sum_j \varepsilon_{mp} d^4(CH_j, BS) \right\} \quad (4)$$

其中 $\varepsilon_{\delta} d^2(n_i, CH_j)$ 是簇成员消耗能量的关键部分, $\varepsilon_{mp} d^4(CH_j, BS)$ 是簇头消耗能量的关键部分。 $f(i,j)$ 函数值越小,节点*i*和簇头*j*,簇头*j*与基站传输数据消耗能量也就越低,进而可以推理,如果簇内所有成员都满足这个条件,这些成员的数据传输到基站消耗的能量相对较低,由此可知,整个网络消耗的能量也就较低。反之,如果簇成员和簇头消耗能量均低,那么能量消耗率函数 $f(i,j)$ 的值必定变小。因此,节点可以用 $f(i,j)$ 值的大小作为选择最佳簇加入的标准。最佳簇形成的步骤如下:

- (1)节点接收到邻近簇头当选的信息。
- (2)判断是否属于某个簇头的公共邻居节点集,如果是,则直接加入该簇。
- (3)否则,计算其到邻近当选簇头的能量消耗函数值。
- (4)根据能量消耗函数值的大小,选择最佳簇头加入。如图3所示。

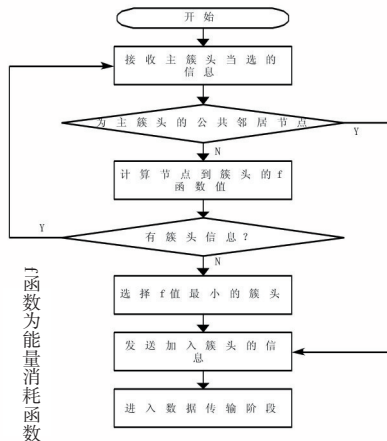


图3 簇的形成过程

### 3 实验仿真

为了验证提出算法的性能,这里采用网络仿真工具NS-2进行仿真实验,并与LEACH路由算法进行比较。实验参数配置如表1所示。

表1 实验参数

Parameters	Value
Area size of network	(0,0)-(100,100)
Base station	(50,170)
Number of sensor node	100
Initial energy	2J
$E_{elec}$	50mJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10pJ/(bit/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/(bit/m <sup>2</sup> )
Data packet	4000bits
Control packet	100bits
$d_0$	87m

将该算法与LEACH、LEACH-C、MRDC在同样的网络环境下进行比较测评,四种路由算法采用同样的异常恢复策略。评价指标包括存活节点数和网络的能量消耗两个方面。仿真结果如下:

存活节点数如图4所示,CADCH的第一个节点死亡出现在480s,LEACH、LEACH-C和MRDC的第一个节点死亡时间分别在310s、330s和460s,CADCH的第一个节点的死亡时间比LEACH、LEACH-C和MRDC延后了170s、150s和20s,这说明CADCH算法较另外三种算法能更好地减少能量消耗,延长网络生命周期。

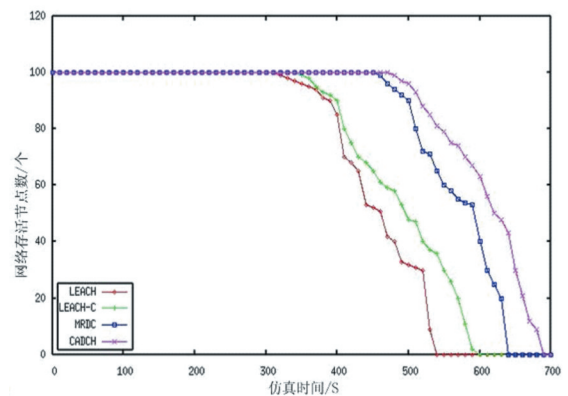


图4 存活节点数与时间的变化关系图

网络能量消耗如图5所示。LEACH、LEACH-C和MRDC的能量消耗一直高于CADCH;在520s时LEACH几乎已耗尽网络能量,LEACH-C和MRDC也在600s是几乎耗尽全部网络能量,而CADCH则可以延长到670s,由此可见,CADCH算法较LEACH、LEACH-C和MRDC具有较好的能量

有效性。

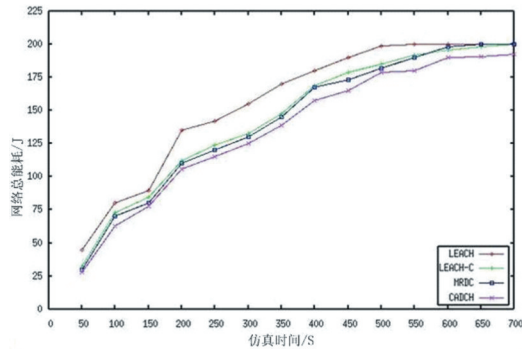


图5 能量随时间变化的关系图

#### 注释及参考文献:

- [1] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy efficient communication protocol for wireless sensor networks [C]// Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences. Piscataway: IEEE, 2000: 175-187.
- [2] KENNEDY J, EBERHART R. C. Particle swarm optimization [C]// Proc of IEEE Int' 1 Conf on Neural Network. Perth: IEEE Press, 1995: 1942-1948.
- [3] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [4] 周琴, 李腊元. 基于双簇头的无线传感器网络多跳路由协议 [J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2010, 32(2): 202-205.
- [5] 吉云. 基于分簇的无线传感器网络簇头选择优化算法研究 [D]. 太原科技大学, 2009.
- [6] 尚凤军, Mehran Abolhasan, Tadeusz Wysocki. 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, 30(10): 34-43.

## Research of Wireless Sensor Network Clustering Algorithm on the Basis of the Dual Cluster Head

PAN Gang

(Department of Computer Science, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou, Sichuan 635000 )

**Abstract:** Dual cluster head clustering routing algorithm is proposed in view of the energy dissipation disequilibrium of the cluster head and the nearby node. Utilizing the dual cluster head network model to reduce the energy dissipation of node detecting channels, it constructs fitness function and energy consumption function to choose and optimize cluster head, improving the equilibrium of network's energy dissipation and reducing network's energy dissipation. It is proved by experimental results that dual cluster head clustering routing algorithm is valid.

**Key words:** Wireless sensor network; Routing algorithm; Clustering algorithm; Potential energy

#### 4 总结与展望

本文讨论了无线传感器网络的数据传输模型,提出一种在节点分布不均匀的条件下的分簇算法。该算法综合考虑网络中节点能量消耗的高效性和均衡性,尽可能地平衡网络中节点间能量消耗,延长网络生命周期。仿真结果表明,该算法在均衡网络的能量消耗,延长网络生命周期方面,与基于LEACH相比,具有更优越的性能。下一步的主要工作是在保证能耗的高效率和高均衡度的基础上,进一步提高网络的可扩展性,缩短数据传输的时延。