

# 基于聚类的无线传感器网络的分簇算法研究

夏心锋, 孙 燕

(南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 针对无线传感器网络中的 LEACH 算法的簇头节点分布不均匀的不足之处, 提出了一种基于聚类的无线传感器网络的分簇算法. 该算法将传感器网络按照节点的实际分布情况采用聚类算法聚成几个类(分簇), 在各分簇中分别选择簇头节点. 模拟实验结果显示算法与 LEACH 相比具有更好的性能.

[关键词] 无线传感器网络, 分簇, 系统寿命

[中图分类号] TP393 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)02-0081-04

## Research on Cluster Algorithm Based on Clustering in Wireless Sensor Networks

Xia Xinfeng Sun Yan

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract** An algorithm based on clustering in wireless sensor networks is presented to solve the problem of uneven distribution of head nodes of LEACH algorithm. It clusters networks into groups according to the actual distribution of nodes and then selects head node in each group. Simulation results show that this algorithm performs better than LEACH.

**Key words** wireless sensor networks, clustering, system life

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)由大量部署在监测区域的传感器节点组成, 节点以无线通信方式相互连接, 可以感知、采集和处理监测区域的信息<sup>[1]</sup>. 传感器网络的节点使用有限电池做能源, 这使单个节点生存期很短. 部署高密度的冗余节点, 可减少节点的能量消耗, 从而延长网络的生存时间.

无线网络采用能量优先的原则, 需要考虑节点能量消耗以及网络能量均衡使用问题. 层次路由协议已经被证明能够有效地节约能量, 它将网络中的所有节点划分为簇头节点和普通节点两类. 普通节点负责数据的采集, 并发送给簇头节点, 簇头节点接收簇内普通节点发来的数据, 融合后再转发给汇聚节点, 这种算法称为分簇算法. 具有代表性的分簇算法有 LEACH<sup>[2-4]</sup>、PEGASIS<sup>[5, 6]</sup>、HEED<sup>[7, 8]</sup>等.

LEACH、PEGASIS 等分簇算法中簇头节点的产生与网络中传感器节点的分布无关, 传感器节点的分布不均匀, 疏密程度严重时, 采用上述分簇算法可能会造成节点稀疏区域簇头节点很少或没有的情况出现. 在这种情况下, 该区域的普通节点直接与汇聚节点通信, 导致普通节点能量的大量消耗而提前死亡, 直接影响了网络寿命. 因此, 本文针对上述问题提出了基于聚类的分簇算法(简称为聚类分簇算法).

### 1 聚类分簇算法

算法首先采用聚类方法将传感器网络按照节点的密集程度分成几个固定的区域(簇), 在每个区域中选择簇头节点, 簇头节点仅接收本区域内的节点发来的数据, 不接收其它区域的节点数据. 工作一段时间后进入下一轮循环, 在各个区域中重新选择簇头节点. 本文算法中的簇头选择的方法直接影响着算法的结果. 经过聚类后的簇头节点的选择不仅要考虑到节点离聚类中心的距离, 也要考虑到簇中各个节点的剩余能量. 因此, 簇头生成算法要尽可能选择离聚类中心较近、剩余能量也较多的节点担任簇头.

收稿日期: 2007-09-07

通讯联系人: 孙 燕, 副教授, 研究方向: 分布式网络, 智能主体. E-mail: sunyan@njnu.edu.cn

簇头节点的选择方法如下:

第  $m$  个簇中的簇头节点为  $i$   $i$  满足以下条件:

$$T(i) = \max [T(j)]. \tag{1}$$

式中,  $j \in G(m)$ ,  $G(m)$  为第  $m$  个簇中的节点的集合.  $T(j)$  是关于能量和距离的参数值, 可表示为

$$T(j) = a \times \frac{E_j}{E_{m\_total}} - b \times \frac{D_{j\_to\_center}}{D_{m\_total}}. \tag{2}$$

式中,  $E_j$  是  $j$  节点当前的能量,  $E_{m\_total}$  是第  $m$  个簇中所有节点当前能量的总和,  $D_{j\_to\_center}$  是  $j$  节点到该簇的聚类中心的距离,  $D_{m\_total}$  是第  $m$  个簇中所有节点到聚类中心的距离之和.  $a, b \in [0, 1]$ ,  $a, b$  为调节变量, 在算法的运行过程中可以动态改变, 以调节能量和距离在簇头选择过程中的重要程度.

算法基于如下前提:

- (1) 网络中的各个节点的位置已知;
- (2) 所有节点包括汇聚节点是静止的;
- (3) 所有节点的通信半径可调, 并可以与汇聚节点直接通信.

算法 1 分簇算法伪码

```
In iSensor()
Calculate k
Cluster(k)
While livenode_num > 0 do
    SelectHead()
    FindDistance()
    Calculate Energy variation of all sensors
    Count livenode_num
    Round = Round + 1
End while
```

函数 1 选择簇头节点函数 SelectHead() 伪码

```
Form = 1: k
    Calculate totalEnergy of class(m)
    Calculate totalDistance from center of class(m)
End for
Form = 1: k
    For i = 1: class(m).num
        Calculate T(i)
        If T(i) = max(T(j)), i ∈ class(m) then
            Head(m) = i
        End if
    End for
End for
```

算法 1 首先将传感器网络按照各个节点的实际分布情况采用聚类算法聚成  $k$  个类, 每个聚类为一个分簇, 在各分簇中按照阈值  $T(i)$  选出簇头节点, 工作一轮后进入下一次循环, 在各个簇中重新选择簇头节点. 若网络内还有存活节点, 进入按轮次更换簇头, 直至无存活节点为止.

## 2 模拟实验和分析

### 2.1 网络通信模型

模拟实验模型采用 Heinzelman 等人提出的简化无线通信模型<sup>[2]</sup>. 传感器节点发送  $n$  比特字节所消耗的能量  $E_{Tx}$  为:

$$E_{Tx}(n, d) = E_{Tx-elec}(n) + E_{Tx-amp}(n, d), \tag{3}$$

$$E_{Tx}(n, d) = E_{elec}^* n + \epsilon_{amp}^* n^* d^2. \tag{4}$$

传感器节点接收  $n$  比特字节所消耗的能量  $E_{Rx}$  为:

$$E_{Rx}(n) = E_{Rx-elec}(n), \quad (5)$$

$$E_{Rx}(n) = E_{elec} * n \quad (6)$$

式中,  $\epsilon_{amp}$  是信号放大器的放大倍数;  $E_{elec}$  是发送电路和接收电路消耗的能量;  $d$  是信号传输的距离, 并假设  $d^2$  的信道传输能量衰减.

## 2.2 聚类算法

本文采用的聚类算法为  $k$ -means 算法.  $k$ -means 算法首先随机选择  $k$  个对象, 每个对象代表一个聚类的质心. 对于其余的每一个对象, 根据该对象与各聚类质心之间的距离, 把它分配到与之最相似的聚类中. 然后, 计算每个聚类的新质心. 重复上述过程, 直到准则函数收敛. 在本文的算法中  $k$  的确定方式<sup>[4]</sup> 为:

$$k = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_k}{\epsilon_{mp}} \frac{M}{d_{toBS}^2}} \quad (7)$$

式中,  $N$  为网络中的节点个数,  $\epsilon_{fs}$  为自由空间衰减信道模式 ( $d^2$  功率损耗) 放大指数,  $\epsilon_{mp}$  为多路径衰减信道模式 ( $d^4$  功率损耗) 放大指数,  $d_{toBS}$  为簇头节点到汇聚节点的距离,  $M$  为正方形区域边长.

## 2.3 模拟实验

为了验证聚类分簇算法的性能, 本文进行了模拟实验, 并比较其结果.

模拟实验的参数设置如下: 初始能量  $E_{init} = 1 \text{ J}$ ,  $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ ,  $\epsilon_{amp} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$ , 数据融合所消耗的能量  $E_{DA} = 50 \text{ pJ/bit/signal}$ . 每轮内节点要发送的数据大小为  $2000 \text{ bit}$ .

模拟实验平台为 MATLAB 7.0 模拟情景如下: 100 个节点随机分布在  $100 \times 100$  的正方形区域中, 汇聚节点位于 (0 - 100) 处, 如图 1 所示.

经该算法聚类后, 将整个网络分为 5 个区域, 定义为 5 个分簇, 如图 2 所示.

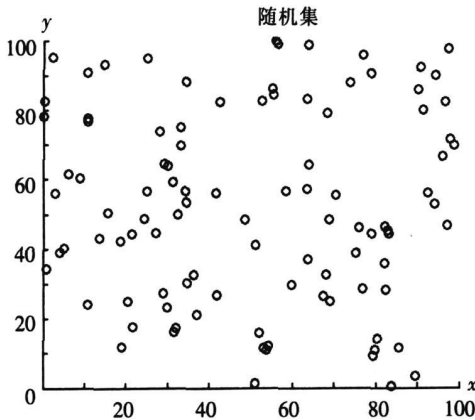


图 1 随机分布的节点

Fig.1 Random distribution of nodes

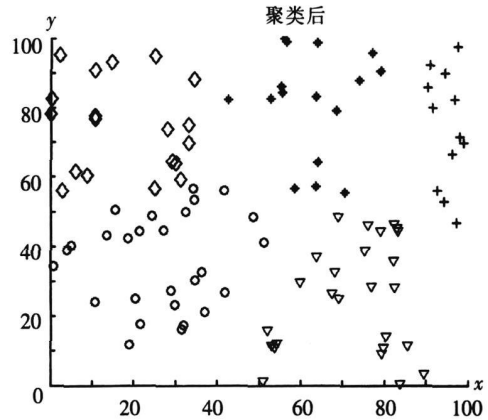


图 2 聚类后节点的分簇

Fig.2 Clusters of nodes after clustering

图 3 显示了本文算法首轮运行后, 产生的簇头节点在网络中的分布情况. 由图 3 可知, 簇头节点分布在网络的各个分簇中, 杜绝了可能会出现节点稀疏处没有簇头节点的情况.

图 4 显示了聚类分簇算法和 LEACH 算法网络的生命周期. 通过比较可得: 聚类分簇算法第一个节点的死亡时间 (FND) 和全部节点死亡的时间 (LND) 都比 LEACH 算法的时间长. 统计 50 次实验后的结果为: 聚类分簇算法的 FND 平均是 LEACH 的 1.5 倍, LND 平均是 LEACH 的 1.7 倍. 这表明本文的算法将能量的损耗均匀分布到了所有节点中, 避免了单个节点过早死亡, 提高了网络的生命周期.

## 3 结论

本文提出了一种基于聚类的无线传感器网络的分簇算法, 它生成的簇头节点均匀分布到了网络的各个分簇中, 减少了簇内通信的代价, 同时也杜绝了可能会出现节点稀疏处没有簇头节点而导致节点直接与汇聚节点通信以致提前死亡的情况, 从而避免了网络对该区域提早失去监测. 该算法对位置确定的无线传感器网络有均衡能效和提高网络生存期的作用.

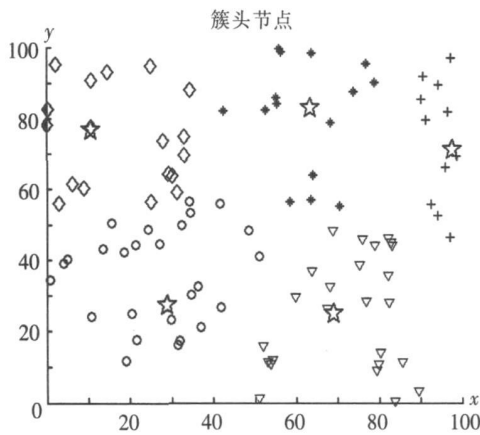


图 3 Distribution of head nodes (☆)

Fig.3 簇头节点 (☆) 的分布

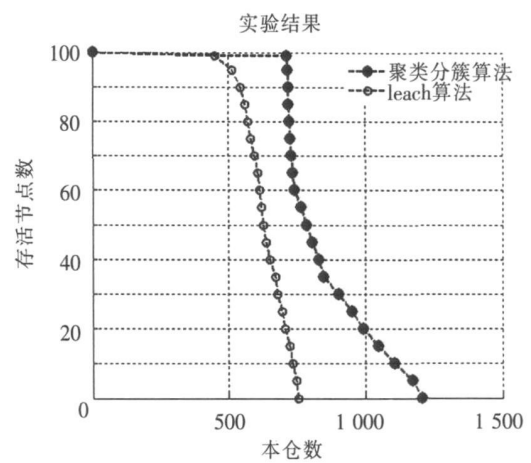


图 4 两种算法的生命周期

Fig.4 Life cycle of two algorithms

### [参考文献] (References)

- [1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C] // Proc of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf on System Sciences Maui. IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [3] Handy M, J. Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection [C] // Proc of the 4th IEEE Conf on Mobile and Wireless Communications Networks. Stockholm: IEEE Communications Society, 2002: 368-372.
- [4] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [5] Lindsey S, Raghavendra C. S. PEGASIS: Power efficient gathering in sensor information systems[C] // Proc of the IEEE Aerospace Conf. San Francisco: IEEE Computer Society, 2002: 1-6.
- [6] Lindsey S, Raghavendra C. S. Sivalingam K. Data gathering in sensor networks using the energy delay metric[C] // Proc of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001: 2001-2008.
- [7] Younis O, Fahmy S. H. A hybrid energy-efficient distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [8] 沈波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1588-1600.  
Shen Bo, Zhang Shiyong, Zhong Yiping. Cluster-based routing protocols for wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2006, 17(7): 1588-1600. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]