

## Energy Consumption Balance Improvement of LEACH of WSN\*

ZHANG Wei-hua, LI La-yuan\*, ZHANG Liu-min, WANG Xuan-zheng  
(Department of computer science and technology, Wuhan university of technology, 430063, China)

**Abstract:** LEACH (low-energy adaptive clustering hierarchy) routing protocol is widely used in wireless sensor network. But it has the disadvantage of irrationality of choosing cluster head and of unbalanced energy consumption of nodes. By modeling and analyzing the energy consumption of nodes in LEACH routing protocol, an improved energy consumption balanced protocol LEACH-B is proposed. Finally, the improved protocol is simulated on NS2. The results of simulation show that the improved routing protocol can balance energy consumption of nodes and prolong the lifetime of the whole networks.

**Key words:** wireless sensor network; balanced energy consumption; simulation; LEACH  
EEACC: 6150p; 7230

## 无线传感器网络 LEACH 协议能耗均衡改进\*

张伟华, 李腊元\*, 张留敏, 王选政

(武汉理工大学计算机科学与技术学院, 武汉 430063)

**摘要:** LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy) 路由协议是无线传感器网络中被广泛应用的分层协议, 但它存在簇头选择不合理和节点能耗不均衡的缺点。通过对 LEACH 协议节点能耗建模和分析, 提出了一种均衡节点能耗的改进协议 LEACH-B。最后用 NS2 对改进后的协议进行仿真, 仿真结果表明, 改进后的协议能均衡节点的能耗, 有效地延长了整个网络的生存期。

**关键词:** 无线传感器网络; 能耗均衡; 仿真; LEACH

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-1699(2008)11-1918-05

传感器技术、嵌入式计算技术、无线通信技术、微机电系统和分布式信息处理五大技术结合而形成的无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 是一种全新的信息获取与处理技术。它由大量的具有数据采集、无线通信和自组网功能的低成本、微小传感器节点组成, 通过随机部署于监控区域, 可以实现对该目标区域的实时数据监测和有效传输。无线传感器网络在环境恶劣、无人职守、资源受限的环境中显示了很大的应用价值, 能够客观有效的获取物理信息, 具有十分广阔的应用前景, 可应用于军事国防、工农业控制、城市管理、智能家居、生物医疗、环境检测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等诸多领域<sup>[1]</sup>。目前, 对无线传感器网络的研究主要集中在网络层和链路层, 而路由协议已经

成为无线传感器网络的核心技术之一。

根据网络中各个节点的地位和功能是否相同, 路由协议可以分成平面路由协议和分簇路由协议。LEACH 协议是比较成熟且常用的分簇路由协议, 许多分簇路由协议如 TEEN<sup>[2]</sup> (threshold sensitive energy efficient sensor network protocol)、PEGASIS<sup>[3]</sup> (power efficient gathering in sensor information systems) 等都是它的基础上发展而来, 因而选择 LEACH 协议作为研究的对象具有很好的代表性。

### 1 LEACH 协议描述

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)<sup>[4]</sup> 是一种为无线传感器网络设计的低功耗

基金项目: 国家自然科学基金资助 (60672137); 教育部博士点基金资助 (20060497015)

收稿日期: 2008-06-20 修改日期: 2008-08-20

自适应聚类路由协议,是一种典型的基于单层簇以数据为中心的协议。

LEACH 协议假设前提条件:

① 所有节点都是相同的且无线电信号在各个方向上能耗相同,各节点的初始能量值相等且能量有限,能感知自己的剩余能量,并且具有功率控制能力可以改变发射功率,从而控制发送的距离,每个节点都有足够的计算能力支持不同的 MAC 协议和数据处理。信道是对称的,从节点 A 发到节点 B 的能量消耗与从节点 B 发到节点 A 的能量消耗相同。

② 所有节点之间以及节点与 sink 节点之间均可以直接通信。

③ sink 节点是固定的并且离整个 WSN 较远,研究中不考虑 sink 节点的能耗,假定其有足够的能量供应。

④ 在每帧内每个节点总有数据传输,并且邻近节点采集的数据具有较高的相关性,可以进行数据融合。

⑤ 节点是静止的。

该算法基本思想是:以循环的方式随机选择簇首节点,将整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点中,从而达到降低网络能源消耗,提高网络整体生存时间的目的。仿真表明,与一般的平面多跳路由协议和静态分层算法相比,LEACH 可以将网络生命周期延长 15%。

LEACH 在运行过程中不断地循环执行簇的重构过程,每个簇重构过程可以用回合的概念来描述。每个回合可以分成两个阶段:簇的建立阶段和传输数据的稳定阶段。为了节省资源开销,稳定阶段的持续时间要大于建立阶段的持续时间。簇的建立过程可分成 4 个阶段:簇首节点的选择、簇首节点的广播、簇首节点的建立和调度机制的生成。

簇首节点的选择依据网络中所需要的簇首节点总数迄今为止每个节点已成为簇首节点的次数来决定。具体的选择办法是:每个传感器节点随机选择 0-1 之间的一个值。如果选定的值小于某一个阈值  $T(n)$ ,那么这个节点成为簇首节点。 $T(n)$  的计算方法如下

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times [r \bmod (1/P)]} & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

其中: $P$  为节点成为簇头节点的百分数, $r$  是当前的轮数, $G$  是在过去的  $1/P$  轮没有被选择为簇头节点的集合,mod 是求模运算符。

选定簇首节点后,通过广播告知整个网络。网络中的其它节点根据接收信息的信号强度决定从属的簇,并通知相应的簇首节点,完成簇的建立。最后,簇首节点采用 TDMA 方式为簇中每个节点分配向其传递数据的时间点。

稳定阶段中,传感器节点将采集的数据传送到簇首节点。簇首节点对簇中所有节点所采集的数据进行信息融合后再传送给汇聚节点,这是一种叫少通信业务量的合理工作模型。稳定阶段持续一段时间后,网络重新进入簇的建立阶段,进行下一回合的簇重构,不断循环,每个簇采用不同的 CDMA 代码进行通信来减少其他簇内节点的干扰<sup>[5]</sup>。LEACH 的运行过程如图 1 所示:

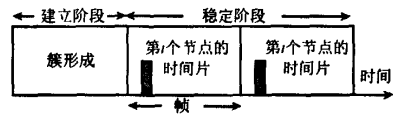


图 1 LEACH 运行过程

### 1.1 存在问题

#### (1) 簇头选择问题

LEACH 算法是让网络中的节点自组织地形成簇,簇头是随机产生的。簇头选择没有考虑节点的剩余能量和节点已经做过簇头的次数。选择剩余能量小的节点做为簇头,节点会过早死亡,降低了网络的生存时间;当节点做簇头次数过多时,离该节点较远的节点能耗较多,会出现节点能耗不均衡的现象。

#### (2) 簇头之间能量负载不平衡<sup>[6]</sup>

簇头能量消耗主要有两个方面:①簇头和 sink 之间的距离,簇头距离 sink 越远,消耗的能量越多,因为需要较大的功率发送数据;②簇中节点的数目,簇中节点数量越多,簇头消耗的能量越少。

#### (3) 不同簇内的成员节点之间能耗不平衡

簇内节点数越少,簇成员消耗的能量越多,因为采集以及发送数据的次数要多。

(4) 特殊节点(指在一轮中,没有成为任何簇成员的节点)。由于基站离 WSN 较远,没有进入任何簇内的节点,要以较大的功率发送数据,节点单独通信时,数据融合不能得到充分体现,使网络总能耗变大。

## 2 改进描述

### 2.1 能量消耗模型

LEACH 采用的是无线传感器网络中通常采用的一阶无线模式,其能耗模型如图 2 所示。

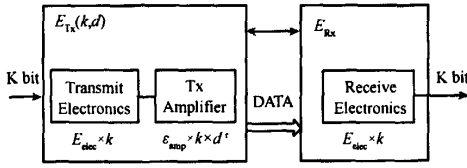


图2 LEACH 能量传输模型

在这种模式下,节点发送  $k$  bit 的数据消耗的能量为

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec}(k) + E_{amp}(k, d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^r \quad (2)$$

其中,  $E_{elec}$  为电路消耗的能量,  $d$  为发送者与接收者的距离, 当  $d < d_0$  时  $r = 2$ , 采用自由空间模型, 发射功率呈  $d^2$  衰减, 当  $d > d_0$  或干扰较大时  $r = 4$ , 采用多路径衰减模型, 发射功率呈  $d^4$  衰减。  $\epsilon_{amp}$  为在信号放大器内消耗的能量比例系数, 随着  $d$  变化,  $\epsilon_{amp}$  取不同值:  $d < d_0$  时取  $\epsilon_{amp} = 10 \text{ pJ/bit} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 当  $d \geq d_0$  时取  $\epsilon_{amp} = 0.0013 \text{ pJ/bit} \cdot \text{m}^{-4}$ 。接收  $k$  bit 的数据需要的能量为

$$E_{Rx} = E_{elec}(k) = E_{elec} \times k \quad (3)$$

### 2.1.1 LEACH 能耗分析

假设节点总数为  $N$ , 均匀分布在  $M \times M$  的区域内, 本轮中簇头节点个数为  $k$ , 则平均每个簇中的簇成员数为  $N/k - 1$ , 每个簇成员节点在一个时间片内采集发送的数据为 1 bit。融合 1 bit 数据消耗的能量为  $E_A$ , 数据融合比例为了  $L:1$ 。那么在一个帧中, 簇头消耗的能量为

$$E_{CH} = lE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1\right) + lE_A \left(\frac{N}{k} - 1\right) + \frac{l}{L} \left(\frac{N}{k} - 1\right) E_{elec} + \frac{l}{L} \left(\frac{N}{k} - 1\right) \epsilon_{ch\_amp} d_{toBS}^4 \quad (4)$$

假设  $\frac{N}{k} \gg 1$ , 则上式可写成:

$$E_{CH} = lE_{elec} \frac{N}{k} + lE_A \frac{N}{k} + \frac{l}{L} \frac{N}{k} E_{elec} + \frac{l}{L} \frac{N}{k} \epsilon_{ch\_amp} d_{toBS}^4 \quad (5)$$

其中,  $l$  为簇成员发送给簇头的每个数据包的大小,  $\epsilon_{ch\_amp}$  为簇头到基站, 信号放大器内消耗的能量比例系数,  $d_{toBS}$  为簇头与基站的距离, 基站远离 WSN, 簇内每个成员在一帧内消耗的能量为

$$E_{CM} = lE_{elec} + l\epsilon_{cm\_amp} d_{toCH}^2 \quad (6)$$

其中,  $\epsilon_{cm\_amp}$  为簇成员到簇头, 信号放大器内消耗的能量比例系数,  $d_{toCH}$  为簇成员到该簇头的距离。整个网络在一帧内消耗的能量为

$$E_{total} = kE_{CH} + (N - k)E_{CM} \quad (7)$$

为便于比较, 取一轮运行中两个簇进行研究, 假设两个簇头分别为  $i, j$ , 簇成员个数为  $N_i, N_j$ , 则两

个簇的帧大小之比为  $N_i: N_j$ 。由文献[3]可知, 在一轮内, 簇  $i$  中一个成员节点能量为

$$E_{CM}^i = E_{CM} \times \frac{T_{data}}{T_{frame}} = E_{CM} \times \frac{T_{data}}{T_{slot} \times N_i} \quad (8)$$

其中,  $T_{data}$  为一轮的数据传输时间,  $T_{slot}$  为每个簇成员分配的时槽长度。

由式(8)可知, 簇  $i$  和  $j$  中的与各自簇头距离相同的簇成员节点在一轮内消耗能量之比为  $N_j: N_i$ , 也就是说簇内成员数目越少, 在这一轮内簇成员消耗的能量越多, 因为采集和发送数据的次数要多。

簇头  $i$  在一轮内消耗的能量为

$$E_{CH}^i = \frac{T_{data}}{T_{slot}} [lE_{elec} + lE_A(1 + \frac{1}{N_i}) + \frac{l}{L} E_{elec}(1 + \frac{1}{N_i}) + \frac{l}{L} \epsilon_{ch\_amp} d_{toBS}^4(1 + \frac{1}{N_i})] \quad (9)$$

由式(9)可知, 簇头消耗的能量取决于簇头和基站之间的距离和簇中节点数目的多少。簇中节点数目越多, 簇头消耗的能量越少。

## 2.2 具体改进

### 2.2.1 簇头的选择

在选择簇头时, 把节点的当前能量和节点充当簇头节点的次数综合考虑进去。

$$T(n) = \frac{p}{1 - p[r \bmod(1/p)]} \left[ \frac{E_{n\_current}}{E_{n\_init}} + (1 - \frac{E_{n\_current}}{E_{n\_init}}) \frac{p}{(CH\_Times + 1)} \right] \quad n \in G \quad (10)$$

其中,  $p$  为节点成为簇头节点的百分数,  $r$  是当前的轮数,  $G$  是在过去的  $1/p$  轮没有被选择为簇头节点的集合,  $\bmod$  是求模运算符,  $E_{n\_current}$  表示节点的当前能量,  $E_{n\_init}$  表示节点的初始能量,  $CH\_Times$  表示节点在以前回合中充当簇首的次数。

当前能量大的节点有更大的概率成为簇头节点, 使能耗平均分配到每个节点; 随着节点充当簇头次数的增加, 节点成为簇头的概率变小, 能够均衡该节点周围节点的能耗。

### 2.2.2 簇内成员数控制

根据文献[7], 簇头所占百分比为 0.05 时, 整个网络的能耗最优, 也就是说簇内成员数和簇头的平均比例为 19:1。每个簇内成员的最大数目为:  $N_{max} = 19(1 + \alpha)$ , 其中  $\alpha \in [0, 1]$ 。这里假设当  $\alpha$  取 0.5 能保证簇内节点数整体分布是均等的, 则  $N_{max}$  取 30。当簇内成员数达到最大个数  $N_{max}$ , 再有节点要加入簇中时, 簇头发送拒绝消息, 通知该节点加入其它簇, 该节点收到拒绝消息后, 选择能量强度较弱的节点进簇, 以此类推。每个簇内成员的最小数目为  $N_{min} = 19(1 - \beta)$ , 其中  $\beta \in [0, 1]$ 。这里假设  $\beta$  取 0.8

能满足数据的采集和簇内节点的均衡能量消耗,则  $N_{min}$  取 4。如果簇内节点数目过少,则取消这个簇,簇中的节点和簇头选择信号强度次弱的簇头进簇,进簇时将不再考虑一个簇内的最大节点数目,节点直接进簇。由于加入节点的数目较少,对网络的分布影响很小,这样做是可取的。

### 2.2.3 特殊节点的处理

对于没有加入到任何簇的节点,由于基站离整个 WSN 的距离较远,单个节点直接和基站通讯时,发射功率较大,节点的能耗也较大,这会造成该节点过快死亡和网络总能耗的增加。在一般情况下,这样的节点的有无,对数据的采集没有任何影响。本文对这种节点的处理是,使该节点进入休眠状态,当下一轮成簇开始时,再唤醒该节点。

### 2.2.4 簇头节点之间的通信

在 LEACH 协议中,簇头负责与基站的通信,当簇头离基站较远时,要以较大的功率发送数据,这会造成簇头节点能量的过快消耗。本文解决方法是,当簇头距离基站较近时,簇头节点直接与基站通信;当簇头节点距离基站较远时,通过其它簇头节点,以多跳的方式,选择跳数最小的路径,把数据传送给基站。

## 3 仿真结果分析(表 1)

表 1 仿真试验的各个参数

| 仿真中试验参数      | 参数值         |
|--------------|-------------|
| 节点数          | 100         |
| 分布区域         | 100 m×100 m |
| Sink 节点位置    | (50,100)    |
| 带宽           | 2 M/s       |
| 消息长度         | 500 byte    |
| 信息包长度        | 25 byte     |
| 节点初始能量       | 2 J         |
| 最佳簇首数        | 5 个         |
| 模拟退火算法迭代次数   | 1000 次      |
| 每轮时间         | 20 s        |
| 时间片大小        | 0.032 s     |
| 簇建立时间与稳定时间比例 | 1:19        |

本文仿真工具采用网络仿真工具 NS2 (network simulation version2) 进行仿真。它是一种可扩展的、容易配置的和可编程的事件驱动网络仿真引擎,由美国加州的 LNBL 网络研究组于 1989 年开始研究开发的软件。NS 正在 VINT 项目的支持下,由南加州大学、施乐公司和加州大学与 Lawrence Berkeley 国家实验室协作,进行进一步的开发<sup>[8]</sup>。目前最高版本为 NS2 2.29.2,其源代码全部

公开,提供开放的用户接口。

本文用网络总能耗、网络存活节点数目和每轮总能量消耗三个指标对比 LEACH-B 和 LEACH。由图 3 可知,LEACH-B 的总能耗低于 LEACH,这是由于限制了簇成员节点的数量,均衡了每个簇中成员节点数,对特殊节点采用休眠机制,对簇头节点通信采用多跳方式和基站进行通信,有效的节省了总能耗。网络中存活节点数目能很好的说明一个网络的生存时间。图 4 说明,LEACH-B 比 LEACH 中存活节点数目多,生存周期比 LEACH 长。图 5 说明,LEACH-B 每轮中节点的总能耗变化率比 LEACH 变化小,证明了 LEACH-B 每轮中能耗均衡。

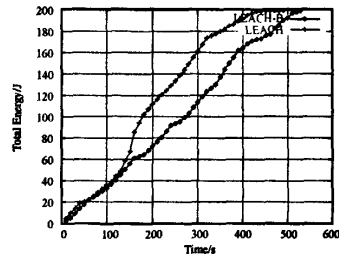


图 3 网络总能耗

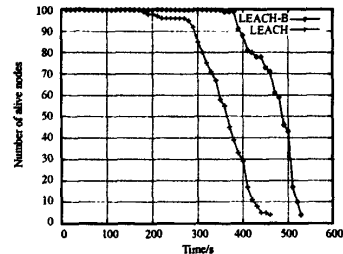


图 4 网络存活节点数目

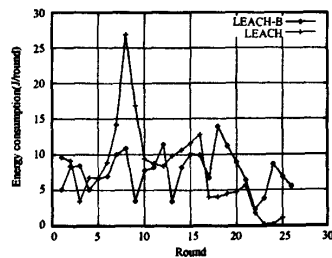


图 5 每轮总能量消耗

## 4 总结

本文对传统的 LEACH 路由算法进行了分析,指出了 LEACH 路由算法中存在的问题:簇头选择问题、簇头之间能耗不均衡、不同簇的成员节点之间能耗不均衡和存在特殊节点。针对以上问题,对

LEACH路由算法进行了改进。通过对仿真结果分析,改进的LEACH-B路由算法,均衡了网络中节点的能量消耗,延长了节点的死亡时间,有效地延长了整个网络的生存时间。

#### 参考文献:

- [1] Akyildiz F, Su W, Sankarasubramaniam Y. Wireless Sensor Networks: A survey [J]. *Computer Networks*, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] Manjeshwar A, Agrawal DP TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks[C]// *Proceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium*, San Francisco: IEEE Computer Society, 2001; 2009-2015.
- [3] Lindsey S, Raghavendra CS. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems[C]// *Proc. of the IEEE Aerospace Conf.* San Francisco: IEEE Computer Society, 2002; 1-6.
- [4] 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.
- [5] 吴臻, 金心宇. 无线传感器网络的 LEACH 算法的改进[J]. *传感技术学报*. 2006, 19(1): 34-36.
- [6] 张华忠, 刘志杰, 于鹏程. WSN 中负载均衡的 LEACH 通信协议研究[J]. *计算机工程与设计*. 2007, 28(18): 4403-4406.
- [7] Wendi B Heinzelman, Anantha P Chandrakasan, Hari Balakrishnan. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660-670.
- [8] 徐雷鸣, 庞龙, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社. 2003: 57-126.



张伟华(1980-),男,武汉理工大学计算机科学与技术学院硕士研究生,研究方向为计算机网络,goxxll@126.com




李腊元(1946-),男,武汉理工大学计算机科学与技术学院教授,博士生导师,研究方向为计算机网络,主持完成多项国家科技攻关、国家自然科学基金、国防科工委、国际合作交流项目等科研项目,多项达到国际先进水平,并获省部级以上自然科学奖、技术发明奖、科技进步奖等 10 余项,我国《数据网协议一致性测试国家军用标准》的主要起草人。曾先后在科学出版社、国防工业出版社等出版专著 6 部。在英文版《国际红外与毫米波学报》、《信息科学国际学报》、《计算机通信》、《IEEE 文集》、《计算机科学技术学报》等发表学术论文 150 余篇(第一作者)。论文被美国《科学引文索引(SCI)》、《工程索引(Ei)》、《科学技术会议论文索引(ISTP)》等收录 80 余篇次, lilayuan@mail.whut.edu.cn

# 无线传感器网络LEACH协议能耗均衡改进

作者: [张伟华](#), [李腊元](#), [张留敏](#), [王选政](#), [ZHANG Wei-hua](#), [LI La-yuan](#), [ZHANG Liu-min](#),  
[WANG Xuan-zheng](#)

作者单位: [武汉理工大学计算机科学与技术学院, 武汉, 430063](#)

刊名: [传感技术学报](#) 

英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS](#)

年, 卷(期): 2008, 21(11)

引用次数: 0次

## 参考文献(8条)

1. [Akyildiz F, Su W, Sankarasubramaniam Y](#) [Wireless Sensor Networks: A survey](#) 2002(4)
2. [Manjeshwar A, Agrawal DP](#) [TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks](#) 2001
3. [Lindsey S, Raghavendra CS](#) [PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems](#) 2002
4. [Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H](#) [Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks](#) 2000
5. 吴臻, 金心宇 [无线传感器网络的LEACH算法的改进](#) [期刊论文] - [传感技术学报](#) 2006(1)
6. 张华忠, 刘志杰, 于鹏程 [WSN中负载均衡的LEACH通信协议研究](#) [期刊论文] - [计算机工程与设计](#) 2007(18)
7. [Wendi B Heinzelman, Anantha P Chandrakasan, Hari Balakrishnan](#) [An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks](#) 2002(4)
8. 徐雷鸣, 庞龙, 赵耀 [NS与网络模拟](#) 2003

## 相似文献(10条)

1. 会议论文 [阳娣兰, 谢政, 陈挚, 肖满生, 徐桢](#) [无线传感器网络中能耗均衡的覆盖控制算法](#) 2008  
覆盖控制作为无线传感器网络的一个基本问题, 对网络的生存时间、部署策略、通信协议和组网等问题的解决具有重要影响。在传感器节点随机冗余部署方式下, 传统的方式是在保证覆盖要求和通信连通的前提下仅将最少量的节点投入活跃工作状态, 从而降低网络能耗。但是, 若频繁地激活同一批节点, 会造成这些节点由于能耗过快而较早失效, 使整个网络的冗余程度降低。然而, 冗余度是传感器网络在单个节点性能有限的情况下提高整个网络的可靠性、容错性、精确性等的基础。为此, 本文提出了一个能耗均衡ECB的覆盖问题, 指出它是NP完全的, 并给出了一个集中式近似算法。该算法根据节点的剩余能量赋予每个节点非负权, 再基于Voronoi划分和贪心边方法, 在保证覆盖要求的同时选择权和最小的节点激活。仿真实验结果表明, ECB算法求得的活跃节点集小, 可以达到有效覆盖, 并且可以保持网络的冗余度。
2. 期刊论文 [阳娣兰, 谢政, 陈挚, 肖满生, 徐桢, YANG Di-lan, XIE Zheng, CHEN Zhi, XIAO Man-sheng, XU Zhen](#) [无线传感器网络中能耗均衡的覆盖控制算法](#) - [计算机工程与科学](#) 2008, 30(12)  
覆盖控制作为无线传感器网络的一个基本问题, 对网络的生存时间、部署策略、通信协议和组网等问题的解决具有重要影响。在传感器节点随机冗余部署方式下, 传统的方式是在保证覆盖要求和通信连通的前提下仅将最少量的节点投入活跃工作状态, 从而降低网络能耗。但是, 若频繁地激活同一批节点, 会造成这些节点由于能耗过快而较早失效, 使整个网络的冗余程度降低。然而, 冗余度是传感器网络在单个节点性能有限的情况下提高整个网络的可靠性、容错性、精确性等的基础。为此, 本文提出了一个能耗均衡ECB的覆盖问题, 指出它是NP完全的, 并给出了一个集中式近似算法。该算法根据节点的剩余能量赋予每个节点非负权, 再基于Voronoi划分和贪心边方法, 在保证覆盖要求的同时选择权和最小的节点激活。仿真实验结果表明, ECB算法求得的活跃节点集小, 可以达到有效覆盖, 并且可以保持网络的冗余度。
3. 期刊论文 [赵彤, 郭田德, 杨文国, ZHAO Tong, GUO Tian-De, YANG Wen-Guo](#) [无线传感器网络能耗均衡路由模型及算法](#) - [软件学报](#) 2009, 20(11)  
在综合考虑传感器网络中节点链路接入、数据包传输能耗及节点剩余能量的基础上, 提出了一种自适应能耗均衡路由策略, 并给出了相应的数学最优化模型及求解算法。优化的目标是均衡网络能耗, 进而最大化网络寿命。首先采用跨层分析的方法设计了符合传感器节点计算能力的分布式动态路由由树生成算法及各节点的路由选择策略函数; 然后通过构造一个双层规划模型使传感器网络的整体能耗趋向均衡, 尽可能地延长网络寿命。一个数值例子说明, 提出的路由选择策略、双层规划模型及求解算法是可行且有效的。
4. 期刊论文 [王毅, 张德运, 梁涛涛, WANG Yi, ZHANG Deyun, LIANG Taotao](#) [无线传感器网络分区能耗均衡的非均匀分簇算法](#) - [西安交通大学学报](#) 2008, 42(4)  
针对在无线传感器网络中分簇算法采用多跳通信方式时, 靠近汇聚节点的簇头节点由于转发大量数据而导致自身能量消耗过快且节点易失效, 从而造成网络分割, 形成“热区”的问题, 提出了一种新颖的基于分区能耗均衡的多跳非均匀分簇算法(CEB-UC)。其核心思想是: 将传感器网络合理分区, 使得在靠近汇聚节点分区内的簇数量较多, 各簇内传感器节点数较少; 在远离汇聚节点分区内的簇数量较少, 各簇内的传感器节点数较多, 从而保证承担数据中继转发任务的簇头节点能减少自身的簇内通信开销, 节约的能量可供簇间数据转发使用; 任意分区的簇头节点在选择下一跳中继节点时可综合考虑候选节点的位置及剩余能量。实验以HEED、LEACH、PEGASIS、EAR-ACM等协议为参照, 结果表明, 当节点使用不同的数据融合策略时, CEB-UC算法能有效平衡网络节点能耗, 延长网络部署半径, 降低17%~41%的簇头节点能耗, 提高24%~53%的网络寿命。
5. 学位论文 [常薇](#) [基于蚁群算法的WSN能耗均衡路由协议研究](#) 2008

利用低成本、低功耗、多功能、体积小以及可进行短距离通信的无线传感器网络技术, 得到越来越多的关注。由于无线传感器网络具有硬件资源有限、能量有限、以数据为中心、自组织、多跳路由、动态拓扑、节点多、应用相关等特点, 使得无线传感器网络同传统的有线网络、Ad Hoc网络等有着明显不同的技术要求, 传统的路由协议并不适用于无线传感器网络。因此, 如何设计无线传感器网络路由协议, 如何有效利用能量有限的无线传感器节点来实现网络生命周期的最大化成为无线传感器网络研究的重要问题。本文利用蚁群算法具有局部工作、支持多条路径的特点, 同时借鉴多态蚁群算法的思想, 设计了无线传感器网络能耗均衡路由协议。该协议通过不同种类的蚂蚁分工合作、周期运行的方式来完成网络的路由过程。侦查蚁负责探寻网络的拓扑结构, 构建路径树, 建立备选路径表集; 搜索蚁负责搜索最优传输路径。同时该协议将节点的剩余能量信息融入到路径信息素的形成中, 利用节点间距离决定路径选择的启发函数, 选取父节点动态作为簇头节点, 并进行数据融合处理。使得各传感器节点的能量均衡消耗, 从而达到最大化延长网络生命周期的目的。仿真实验表明, 该路由协议平均有82%的节点死亡时间比LEACH协议晚, 同时该协议能多传输48%的数据包。证明了该协议比LEACH协议更节省网络能量并且能传输更多的数据。在实验室利用已有的31个节点部署无线传感器网络, 并将本协议在该实验平台中实现, 得到了与仿真结果一致的网络拓扑结构和路径树, 并通过对实验室光数据的多次实验采集, 有效地测试了网络的能量消耗, 得到了理想的实验结果。证明了该路由协议基本达到了无线传感器网络路由协议的设计目标, 仿真实验可靠有效。

## 6. 期刊论文 [余勇昌, 韦岗, YU Yong-chang, WEI Gang 无线传感器网络中能耗均衡的数据收集算法 - 通信技术](#)

2008, 41 (2)

无线传感器网络所具有的集中式数据收集、多跳数据传输、多对一流量模式容易导致严重的包碰撞、网络拥塞, 包丢失, 同样也会导致能量消耗的热点出现, 使某些节点甚至整个网络过早死亡。文中提出一种能耗均衡的数据收集算法, 此算法按节点离基站的距离进行分层, 根据中间节点的能量参数和通信开销建立到基站的多径路由, 在数据收集过程中除了利用具有最小能耗的最优路径外还偶尔使用一些次优路径; 为进一步减少节点能耗, 算法还采用了数据聚合机制。分析和仿真结果表明, 算法在很大程度上均衡了节点间能耗并延长了网络寿命。

## 7. 期刊论文 [王青正, 闵林, 郭拯危 基于蚁群优化的无线传感器网络能耗均衡路由算法 - 计算机应用研究](#)

2009, 26 (12)

针对无线传感器网络中节点能量受限的特点, 将蚁群优化算法(ACO)应用于无线传感器网络, 同时考虑了通信路径长度和节点剩余能量等因素, 提出了具有能量意识的无线传感器网络路由算法, 从多方面解决了节点间的能耗不均衡问题。该算法在OMNET++平台下仿真结果表明, 与Ant-Net、ACRA算法相比在能耗不均衡和传输延迟等方面有了较大改进, 实现了全网节点的能耗均衡, 有效延长了网络生命周期, 减小了传输时延。

## 8. 会议论文 [杨文东, 蔡跃明, 徐友云 基于模糊评判的无线传感器网络协同传输研究](#) 2008

协同通信是一种应用前景很广的无线通信新技术。若要在无线传感器网络中实现协同通信, 节点之间的能耗均衡是必须考虑的问题。提出了一种基于模糊综合评判的无线传感器网络协同传输方案。该方案综合考虑了节点的信道信息和能量信息, 并据此进行模糊综合评判, 以选择出最佳的协同节点。仿真结果表明, 提出的协同传输方案不仅可以获得很好的中断性能, 而且可以较好地均衡节点之间的能耗。

## 9. 期刊论文 [叶娟, 刘明, YE Juan, LIU Ming 基于额外节点的无线传感器网络能耗均衡机制 - 计算机工程](#)

2008, 34 (22)

在无线传感器网络中, 邻近基站的节点由于承载过多的数据量而过早死亡, 从而引发“热点”问题。该文讨论了在一般的环带模型中, 通过增加一定的节点个数来均衡各环之间的能耗, 以减轻“热点”问题, 从而有效延长网络生存时间, 所提出的模型可以保证传感器区域实现完全无缝覆盖时, 所需要的节点个数最少。

## 10. 学位论文 [于鹏程 无线传感器网络基于聚簇的路由协议的研究](#) 2007

本文在对大量路由算法分析的基础上提出了两种新的路由协议, 一种为基于聚簇的多跳路由协议CBMRP, 另一种为基于聚簇的路径增强协议CBPSP。CBMRP基于聚簇的思想, 还创新性地引入网关和簇标识的概念, 数据传输阶段, 簇首节点查询自己构建的路由表, 并结合表中簇标识和网关剩余能量作为启发参数选择网关, 使得数据通过网关在簇首间进行转发, 并最终传送到基站。协议采用的网关节点和簇首节点转发的方式能够有效均衡节点能耗, 有利于网络规模扩展和网络生命周期的延长。同时该协议支持网络动态建簇和簇间数据融合, 是一个能量高效的协议。CBPSP通过在监测子区域选举一个关键节点进行该区域节点采集数据的汇聚, 有效消除数据的冗余, 同时每次任务中只建立起关键节点到基站的传输路径, 消除了多个源节点存在情况下分别建立多条路径的弊端, 该协议结合了基于聚簇的路由协议和定向扩散路由协议的优点, 适用于固定划分子区域的不定期监测。详细介绍了两种协议思想和实现技术, 并通过理论验证分别分析了两种协议的优点, 还采用OMNet++对CBMRP和传统基于聚簇的路由协议进行仿真实验结果对比, 验证了该协议在均衡节点能耗和延长网络生命周期方面的有效性。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_cgjsxb200811023.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cgjsxb200811023.aspx)

下载时间: 2010年4月15日