

# 分层混合路由协议的研究与仿真

陈春玲, 张 玲

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘 要:**基于分层路由协议 LEACH 算法提出了改进的分层混合路由算法 HMP。从簇建立阶段到稳定的数据传输阶段,对分层混合路由协议进行研究。分层混合路由协议引用了迪杰斯特拉算法计算数据传输的优化路径,减少了簇首节点通信能耗;并考虑了优化路径上节点的剩余能量状况,建立了簇首多跳节能通信机制,防止了靠近汇聚节点的最优路径上的簇首节点因为能量的过渡消耗而过早死亡。最后采用仿真工具 NS2 对 HMP 算法和 LEACH 算法进行了仿真比较分析,验证了 HMP 算法更能够均衡网络能量消耗,提高能量的有效性,从而延长网络生命周期。

**关键词:**无线传感器网络;分层;LEACH;混合;路由算法;迪杰斯特拉算法;生命周期;NS2 仿真

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)11-0137-04

## Research and Simulation of Hierarchical Mix Routing Protocol

CHEN Chun-ling, ZHANG Ling

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Based on LEACH algorithm of the hierarchical routing protocol, give the hierarchical mix routing protocol - HMP. From the stage of the cluster building to stably transferring, HMP protocol is researched. HMP protocol adopts Dijkstra algorithm to compute the short path of data transmission in order to decrease the communication consumption of cluster-heads. Taken into account the situation of the node's residual energy, HMP protocol also establishes the cluster head multi-hop saving-energy communication mechanism so as to prevent the cluster-heads of the optimum paths from early deaths because of the transitional costs. Finally, compare the HMP algorithm with LEACH algorithm by using the simulation tool of NS2, to prove that HMP algorithm could balance the energy consumption of network, improve the efficiency of energy and prolong the network lifetime.

**Key words:** wireless sensor network; hierarchical; LEACH; mix; routing algorithm; Dijkstra algorithm; network lifetime; NS2 simulation

## 0 引言

无线传感器网络的节点采用电池供电,一般工作环境恶劣、复杂,处于无人值守状态,节点能量无法得到补充,节点的计算、存储和通信能力都非常有限<sup>[1,2]</sup>。如何提高网络能量的有效性,使网络在有限的能量条件下尽可能工作更长的时间,成为无线传感器网络研究的重点。文中正是以能量损耗为首要考虑因素,在典型低功耗自适应聚类分层路由协议 LEACH 的基础上,结合平面路由协议多跳节能的特性,得出 HMP 算法。

## 1 分层混合路由算法 HMP 的引进

无线传感器网络根据网络结构可以分为平面和分

层路由协议,平面路由协议中所有节点地位平等,功能相同,便于运用各种算法寻找能降低网络能耗的多跳的数据传输路径<sup>[3]</sup>。分层路由采用分簇算法,由簇首担任数据融合和数据传送任务,簇内成员只在自己的时隙内发送数据给簇首,其他时间可以关闭通信模块,成员功能简单,同时采用了周期性地选择簇首节点的做法以均衡网络中的节点能量消耗,适合大规模的无线传感器网络环境,可扩展性好。由于 LEACH 协议是第一个分簇式路由协议,其后的路由协议大都是从它的基础上发展起来的,具有典型性,因此选择该协议为基础利用其优点克服其不足<sup>[4]</sup>,结合平面路由协议的多跳节能特性,采用迪杰斯特拉算法,加以改进得出一种高效节能的混合式路由算法 HMP。HMP 协议网络结构如图 1 所示。

## 2 分层混合路由算法 HMP 设计

与 LEACH 算法一样,HMP 也是分簇式路由协议,也分为轮,每轮分为两个阶段:簇的建立阶段和稳定的数据传输阶段。

收稿日期:2011-04-12;修回日期:2011-07-20

基金项目:国家自然科学基金(60773041)

作者简介:陈春玲(1961-),男,江西兴国人,教授,硕士,研究方向为软件技术及其在通信中的应用;张 玲(1987-),女,湖南益阳人,硕士研究生,研究方向为软件技术及其在通信中的应用。

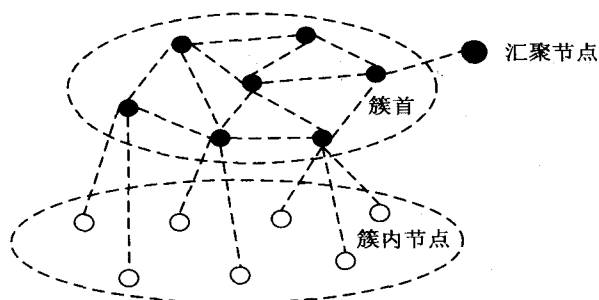


图 1 HMP 协议网络结构图

## 2.1 簇的建立阶段

1) 在初始的选簇阶段,节点要向汇聚节点发送包含节点 ID、当前能量等数据信息,为此设计数据结构如下:

```
struct NodeMsg{
    int nodeID;
    double energy;
}
```

汇聚节点根据接收到的节点信息,选举本轮簇首,为了实现簇首节点个数固定、最优,选举结束以后,汇聚节点对当前的簇首个数进行判定,当簇首数大于节点总数的 5% 时,需要根据簇首节点的剩余能量,剔除能量偏小的簇首节点;当簇首数不足 5% 时,汇聚节点从余下未担任过簇首的节点中随机选举若干节点担任簇首。

2) 簇首产生后,汇聚节点向全网广播簇首信息,成为簇首的节点采用非持续 CSMA 的 MAC 协议向全网广播一个 ADV 消息,非簇首节点根据接收到的 ADV 信号的强度来选择要加入的簇,并采用非持续的 CSMA 的 MAC 协议发送一个 Jion-REQ 消息,簇首节点根据接收到的 Jion-REQ 消息创建 TDMA 调度消息,等待簇内节点发送数据;簇首节点根据接收到的 ADV 信号强度,计算到邻近簇首的距离,并将距离信息发送给汇聚节点;汇聚节点根据接收到的簇首节点数据信号的强度,计算到簇首节点的距离<sup>[5-7]</sup>。簇首节点发送信息的数据结构设计如下:

```
struct ch_NodeMsg{
    int currentNodeID; //当前簇首 ID
    int nodeID[N]; //邻近节点 ID
    double dist_to_ch[N]; //到邻近簇首的距离
}
```

3) 汇聚节点根据接收到的距离信息,运行选路算法,寻找簇首向汇聚节点传输数据的优化路径。HMP 协议和 LEACH 协议采用一样的无线能量传输模型<sup>[4]</sup>,根据 LEACH 的无线能量传输模型可知,当  $d_{AB}^2 + d_{BC}^2 < d_{AC}^2$  时,节点 A 选择节点 B 作为下一跳节点向节点 C 转发数据,可减少数据传输能量损耗,如图 2

所示。

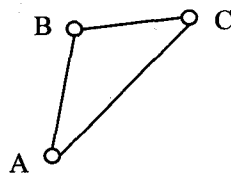


图 2 路径选择

为能使用迪杰斯特拉算法思想寻找簇首节点传输数据的优化路径,采用邻接表表示法存储簇首节点的距离信息,具体的数据结构定义如下:

表头节点的结构:

nodeID	energy	dist_to_bs	num_nb	next
--------	--------	------------	--------	------

其中 nodeID 为传感器节点的 ID,energy 为传感器节点当前能量,dist\_to\_bs 是节点到汇聚节点的距离,num\_nb 是邻节点的个数,next 是结构体指针,指向邻节点表。

边节点的结构:

nodeID	energy	dist_to_node
--------	--------	--------------

一维结构数组 path 存放转发节点的信息,为了考虑转发节点的能量情况,设置标识符标记当前转发节点的能量情况,path 数组结构为:

Tag	nodeID
-----	--------

Tag=0 表示节点当前能量低于平均能量,Tag=1 表示能量大于或等于能量的平均值,Tag=2 表示转发节点就是汇聚节点。

HMP 协议由汇聚节点根据迪杰斯特拉算法思想寻找簇首节点传输数据的优化路径,边的权值取距离的平方,当节点具有多个转发节点时,需要维护多条路径,并记录最优路径,以均衡网络能耗,提高网络寿命。

结合迪杰斯特拉算法求优化路径的算法步骤<sup>[8]</sup>:

(1) 设一维数组  $d[i]$  存放从汇聚节点到节点  $i$  的最短路径的距离长度平方和,数组  $inS[i]$  表示节点  $i$  是否加入集合  $S$  中。

变量的初始化过程如下:

```
for(i=0; i<num_clusters; i++){ //num_clusters
    //是簇首节点总数
    inS[i]=false;
    d[i]=node[i].dist_to_bs * node[i].dist_to_bs;
    path[i].nodeID = bsID; //bsID 是汇聚节点
    //的 ID
    path[i].tag = 2;
}
```

(2) 使用 for 循环,按长度非减次序依次产生最短路径,函数 choose\_min\_dist 用来选出最小的  $d[i]$ ,调用函数 find 寻找节点  $k$  的邻居节点,如果存在邻居节

点  $i$ , 并使得  $d[i]$  与节点  $k$  到节点  $i$  的距离平方和小于  $d[k]$ , 更新  $d$  和  $path$  数组。

寻找最小  $d[i]$  的  $choose\_min\_dist$  函数为:

```
int choose_min_dist(double *d)
{
    int i, pos=-1;
    double min=100000;
    for(i=1; i< num_clusters; i++) {
        if(d[i] < min) {
            min=d[i];
            pos=i;
        }
    }
    return pos;
}
```

寻找邻居节点的  $find$  函数为:

```
int find(int k, int nodeID) {
    for(i=0; i<node[k].num_nb; i++) {
        if(node[k].next[i].nodeID == nodeID)
            return i;
    }
    return -1;
}
```

计算最短路径的主要代码如下:

```
for(j=0; j< num_clusters; j++)
{
    if(! inS[j] && d[k] + pow(node[j].next[m].dist_to_node) < d[j])
        d[j] = d[k] + pow(node[j].next[m].dist_to_node);
}
```

其中  $k$  为下一条最短路径节点,  $m$  为邻居节点  $k$  在邻接表中的下标。在计算最优路径的过程中需要考虑节点的当前能量, 如果低于总能量的平均值, 则需要置  $path$  中标识  $Tag$  为 0, 否则置为 1。同时, 算法计算过程中还需要保存非最优路径转发节点。图 3 是求优化路径算法流程图。

选路算法运行结束后, 汇聚节点需要改变自身的扩频码, 分别将优化路径信息发送给簇首节点。

## 2.2 稳定的数据传输阶段

数据传输阶段和 LEACH 算法类似, 整个阶段被成长度相等的时隙, 为了节省能耗, 簇内节点和簇首节点之间的数据传送仍采用单跳的方式, 簇内节点在各自的时隙内向簇首发送数据, 其他时候置于睡眠状态。簇首节点在收到一定的数据后, 进行数据融合, 去除冗余数据, 提取关键信息, 再根据汇聚节点发送的路径信息, 搜索优化路径, 将结果以单跳或多跳的方式发送到汇聚节点, 当簇首节点的路由表中最优路径转发节点的能量高于总能量的平均值, 即  $tag=1$  时, 选择最优路径转发节点转发数据, 如果转发节点的能量低于总能量, 即  $tag=0$  时, 则从备选路径中随机选择一个转发节点, 如果没有备选路径, 则直接将数据发送给汇聚节点<sup>[9-12]</sup>。

量, 即  $tag=0$  时, 则从备选路径中随机选择一个转发节点, 如果没有备选路径, 则直接将数据发送给汇聚节点<sup>[9-12]</sup>。

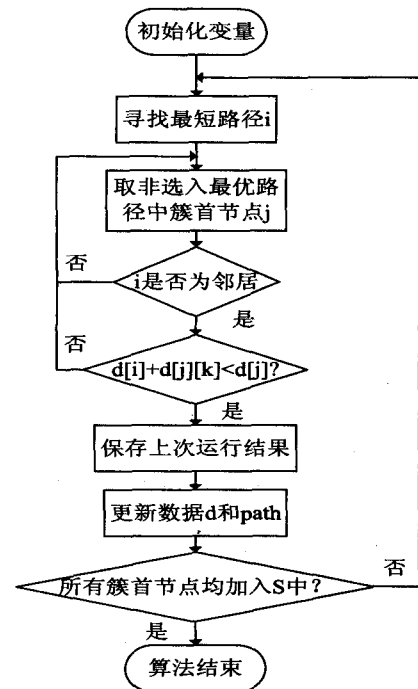


图 3 求优化路径算法流程图

稳定的数据传输阶段持续较长的时间, 结束后, 重新进入下一轮的初始化阶段。

## 3 HMP 协议 NS2 仿真结果及分析

图 4 是随着仿真时间的变化, 传感器节点消耗的能量总量对比图, 横坐标是仿真时间, 纵坐标是传感器节点消耗的能量总和。从图 4 中可以看出, 在整个网络运行时间内, HMP 算法传感器节点消耗的能量总和明显要低于运行 LEACH 协议传感器节点消耗的能量总和, 也就是说在能量总和相等的情况下, 在数据的传输过程中, HMP 算法能够更节省能量, 能够传输更多的数据, 因而达到延长网络生命周期的目的。

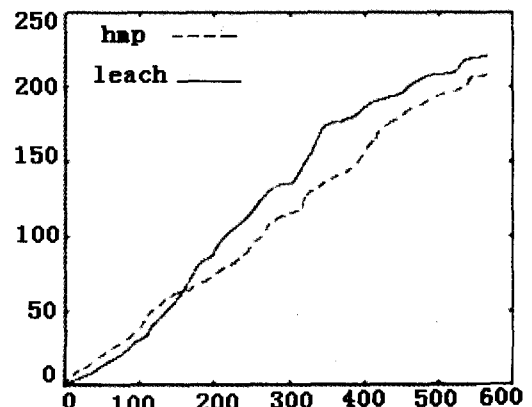


图 4 HMP 和 LEACH 协议能量消耗对比

图 5 是描述汇聚节点 (BS) 收到的数据总量变化

对比图,横坐标是仿真时间,纵坐标是汇聚节点收到的数据总量。从图 5 中可以看出,在所有传感器节点能量相等、网络总能量相等的情况下,HMP 算法汇聚节点收到的数据总量在整个仿真时间里比 LEACH 算法汇聚节点收到的数据总量要多。

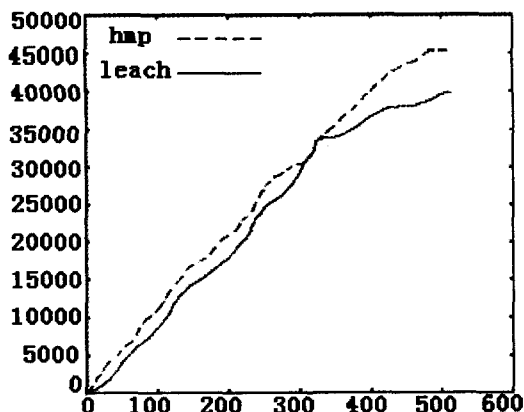


图 5 HMP 和 LEACH 汇聚节点收到的数据总量

#### 4 结束语

从以上仿真可以得出,HMP 算法通过结合迪杰斯特拉算法寻找簇首传输数据的最优路径,减少了簇首节点通信能耗,同时,为了防止靠近汇聚节点的最优路径上的簇首节点因为能量的过渡消耗而过早死亡,HMP 算法维护了多条路径,在簇首选择转发节点进行数据转发时,考虑了转发节点的当前剩余能量。仿真结果说明了 HMP 算法能够均衡网络能量消耗,提高能量的有效性,从而延长网络生命周期。

#### 参考文献:

[1] 王 殊,阎毓杰,胡富平,等.无线传感器网络的理论与应

用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.

[2] 宋 文,王 兵,周迎宾.无线传感器网络技术与应用[M].北京:电子工业出版社,2007.

[3] 李善仓,张克旺.无线传感器网络原理与应用[M].北京:机械工业出版社,2008.

[4] Yang Guang, Yin Guisheng, Yang Wu. Intra-Cluster Multi-Hop Routing Algorithm Based on Forwarding Restriction Angle in WSNs[C]//IEEE of Chinese of Control and Decision Conference (CCDC'08). [s. l.]: [s. n.], 2008:2035-2039.

[5] 汪祥莉,李腊元,王文波.无线传感器网络中的路由协议研究[J].计算机科学,2008,35(7):50-60.

[6] 孙利民,李建中,陈 渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.

[7] 石军锋,钟先信.一种无线传感器网络的跨层节能同步机制[J].计算机科学,2008,35(2):42-46.

[8] 陈慧南.算法设计与分析[M].北京:电子工业出版社,2006.

[9] Kuorilehto M, Suhonen J, Kohvakka M, et al. Experimenting TCP/IP for Low-Power Wireless Sensor Networks[C]//IEEE of the 2006 International Colloquium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. [s. l.]: [s. n.], 2006:1-6.

[10] Farivar R, Fazeli M, Miremadi S G. Directed Flooding: A Fault-Tolerant Routing Protocol for Wireless Sensor Networks [C]//Proceeding of the 2005 Systems Communications. [s. l.]: [s. n.], 2005:395-399.

[11] Yee R, Kleinrock L. Qos Control for Sensor Networks[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications. [s. l.]: [s. n.], 2003:517-521.

[12] Hassanein H, Luo Jing. Reliable energy aware routing in wireless sensor networks[C]// Proceeding of the Second IEEE Workshop on Dependability and Security in Sensor Networks and Systems. [s. l.]: [s. n.], 2006:54-64.

(上接第 136 页)

[3] 王林艳,李 蔚,王党利,等.非线性机械故障诊断的核分布粒子滤波方法[J].西安工业大学学报,2010,30(5):433-437.

[4] 徐贵斌,周东华.非线性动态系统故障预测方法[J].华中科技大学学报(自然科学版),2009,37(S1):23-27.

[5] 葛哲学,杨拥民,胡 政,等.非高斯噪声下基于 Unscented 粒子滤波器的非线性系统故障诊断方法[J].兵工学报,2007,28(3):332-335.

[6] Kadirkamanathan V, Li P, Jaward M H, et al. Particle Filtering-Based Fault Detection in Non-linear Stochastic Systems[J]. International Journal of Systems Science, 2002, 33(4):259-265.

[7] Lin D, Markis V. On-line parameter estimation for a failure-prone system subject to condition monitoring[J]. Journal of

Applied Probability, 2004, 41(1):211-220.

[8] 葛哲学,杨拥民,胡 政,等.非高斯噪声下基于 U-粒子滤波器和似然比的非线性系统故障诊断[J].机械工程学报,2007,43(10):27-31.

[9] 张 磊,李行善,于劲松,等.基于混合系统粒子滤波和二元估计的故障预测算法[J].航空学报,2009,30(7):1277-1283.

[10] 莫以为,萧德云.基于进化粒子滤波器的混合系统故障诊断[J].控制与决策,2004,19(6):611-615.

[11] 陈以超,洪汉玉,王 俊,等.一种鲁棒性的遥感图像地域分类新方法[J].计算机技术与发展,2007,17(8):136-138.

[12] 武新乾,田 铮,李小斌.函数系数线性自回归模型的样条估计[J].数学研究与评论,2007,27(4):869-875.