改进的 WSN 节能分簇多跳路由算法^①

韩 芳, 靳宗信, 张亚娟

(黄河科技学院信息工程学院,郑州450063)

摘 要: LEACH 算法是 WSN 中典型的单跳分簇路由算法,本文针对 LEACH 算法的缺点,提出了一种改进的节能 分簇多跳路由算法.该算法采用层次分析法确定节点度数、节点间的通信距离、节点剩余能量和节点距基站的距 离这四个因素的权值系数,在簇首选举中引入这四个因素,每一轮的簇首选举结束后,利用遗传算法寻找出一条遍 历所有簇首节点和基站的最优路径,该算法实现了簇首以多跳通信方式向基站传输数据的功能.仿真结果表明,该 算法在网络能耗、生存周期和能量均衡性方面均优于 CECA、LEACH-GA 和 LEACH 算法,达到了能量均衡和延 长了网络生存周期的目的.

关键词:无线传感器网络;分簇;LEACH;遗传算法

引用格式:韩芳,靳宗信,张亚娟.改进的 WSN 节能分簇多跳路由算法.计算机系统应用,2017,26(11):193-198. http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6108.html

Improvement of Energy-Efficient Clustering Multi-Hop Routing Algorithm for WSN

HAN Fang, JIN Zong-Xin, ZHANG Ya-Juan

(School of Information Engineering, Huanghe Science and Technology College, Zhengzhou 450063, China)

Abstract: The LEACH algorithm is a typical single-hop clustering routing algorithm for wireless sensor networks. Aiming at mending the shortcomings of LEACH, this paper proposes an improved energy-efficient clustering multi-hop routing algorithm which uses the analytic hierarchy process to determine the weight coefficients of the four factors: the node degree, the communication distance between nodes, the residual energy of nodes and the distance from node to base station. The four factors are introduced in the cluster election after each round of the election of cluster head. The genetic algorithm is used to find a traversal of all cluster head node and the base station of the optimal path. The algorithm realizes the function of transmitting data from the cluster head to base station by multi-hop communication mode. The experimental results show that the proposed algorithm has better performance than CECA, LEACH-GA and LEACH algorithm in the life cycle of the network, the network energy consumption and the balance of energy. It has achieved the balance in energy and has prolonged the network lifecycle.

Key words: wireless sensor networks; clustering; LEACH; genetic algorithm

无线传感器网络是多项前沿科学技术的融合,节 点通过组建自组织网络对信息进行监测,是物联网重 要的组成部分.WSN主要应用于环境保护与监测、军 事作战、医疗等多种领域.在大部分WSN(Wireless Sensor Network)工作环境中,失效节点比较难进行及 时地更换. 合理的 WSN 路由协议能够有效的改善网络 中节点能量利用率及节点能量的受限问题^[1,2]. 因此通 过降低节点的能耗, 均衡网络的负载, 延长网络的生存 时间是 WSN 路由协议设计的重要目标. 然而, 现有的 典型 WSN 分簇路由算法^[3-5,7,8]存在簇首节点能量消耗

Software Technique Algorithm 软件技术 算法 193

基金项目:河南省教育厅自然科学计划项目(17A520043);河南省基础与前沿技术研究计划项目(162300410193);郑州市嵌入式系统应用技术重点实验室建设项目 (121PYFZX177);郑州市物联网急特需专业教学质量工程资助项目 (ZZLG201608);郑州市科技攻关项目 (20140661) 收稿时间: 2017-03-02;修改时间: 2017-03-27;采用时间: 2017-04-07

分布不均匀的问题, 簇首节点与基站没有采用最优路 径, 使得网络规模较大的时候网络的能耗、寿命等性 能表现不良. 针对这些问题, 本文在文献[9]的基础上 对 LEACH 算法进行改进并提出一种节能性分簇多跳 路由算法. 在每一轮的簇首选举结束之后, 利用遗传算 法寻找出一条遍历所有簇首节点和基站的最优路径, 实现了簇首以多跳的方式向基站传输数据. 实验结果 表明, 在较大的网络规模下, 本文提出的算法的网络生 存寿命和能耗的指标都表现较好.

1 相关研究

LEACH 是最早被提出来的分簇路由协议. LEACH 以等概率对簇首节点周期性的进行选择, 将网络的负载平均的分配给整个网络^[10-12]. 该协议与其他平面路 由协议对比能有效的延长网络寿命. LEACH 算法采用 这种簇首选择机制有很大的随机性, 然而, LEACH 算 法没有考虑对网络寿命影响较大的节点的剩余能量和 传输距离这两个因素, 同时也不能保证成为簇首节点 的个数合理性和节点散布的均衡性.

国内外有很多针对这些问题的研究成果. 文献[13] 中,提出了基于源节点到簇首节点间距离和簇首节点 剩余能量的 LEACH-ED 算法, 文献[14]中, 提出用时间 间隔取代产生簇首的阈值和随机数的 LEACH-T 算法. 但这两个算法都没有考虑成为簇首的节点散布的合理 性. 文献[9]针对文献[13,14]中簇首节点分布的不合理 问题,提出了一种基于节点间通信距离、节点的剩余 能量和节点度数的节能型分簇路由协议,提高了簇首 分布的均匀性. 但是该算法并没有考虑到节点与基站 的距离这一重要因素. 文献[9,13,14]算法在稳定运行阶 段,簇首都以单跳的形式直接向基站发送数据.簇首和 基站采用单跳的通信方式也会消耗掉大量的能量.在 一些文献中提出用遗传算法、禁忌搜索、模拟退火算 法、神经网络优化等智能算法使整个网络能量消耗均 衡,延长整个网络生命周期. 文献[15]提出基于遗传算 法的无线传感器网络多路径的路由优化算法,源节点 和目标节点间建立多条路由,在路径建立上选择能耗 最小和最优的路径作为适应度函数,但是该算法中并 未考虑到节点的剩余能量. 文献[16]中考虑了节点剩余 能量问题,并将遗传算法融入无线网络路由协议中,但 是没有考虑节点到基站通信距离. 文献[17]中提出的 LEACH-GA 算法利用遗传算法对簇的建立阶段和稳

定传输阶段进行了改进,降低了网络的整体耗能,但是 稳定传输阶段后,节点剩余能量下降过快.本文采用遗 传算法实现簇首多跳,适应度函数考虑节点间通信距 离、节点的度数、节点的剩余能量和节点距基站距离 这四个因素,从这几个方面改进 LEACH 协议,从而延 长网络寿命.

2 基本能量模型

201

文献中经常采用的能量模型是一阶无线电模型 (First Order Radio Model), 能耗的计算公式如下:

$$E(k,d)_{\text{\noise}} = \begin{cases} E_{\text{elec}} \cdot l + E_{fs} \cdot l \cdot d^2, & d < d_0 \\ E_{\text{elec}} \cdot l + E_{mp} \cdot l \cdot d^4, & d \ge d_0 \end{cases}$$
(1)

$$E(k)_{\cancel{K}} = E_{\text{elec}} \cdot l \tag{2}$$

式中, $d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}}$, d 为传输的距离, 当 d 小于 d_0 时, 功率放大损耗则采用自由空间模式, 当 d 大于等于 d_0 时, 功率放大损耗则采用多路径衰减模式^[9]; l 为传输的字节数; E_{elec} (nJ/bit) 为射频能耗系数; E_{fs} 和 E_{mp} 为电路放大器能耗系数.

本文使用的是自由空间模式,即节点间的传输距 离小于阀值 d₀.

3 改进的节能分簇多跳路由算法

本文的提出的改进算法是利用 LEACH 算法的成 簇原理,同时在簇首选举时考虑节点间通信距离、节 点的度数、节点剩余能量和节点距基站的传输距离这 四个因素,通过采用这样的成簇方法来提高成簇的质 量和网络的性能,进而延长网络的寿命.簇首选举后, 簇首与基站间的数据传输采用多跳的通信方式,引入 遗传算法计算最优路径.多跳路由的引入能有效降低 簇首节点的网络能耗,提高网络能量均衡性.

3.1 簇首选举

第1步.网络广播阶段,在网络节点对外广播 ID 信息 的过程中,节点 *i* 根据收到的信息统计出*Neighbour(i)*, *Number(i)*和*d(i)*.

第2步. 簇首选举阶段, 节点执行下列步骤:

① 每个节点按式 $d(i) = \frac{\sum_{j=Neighbour(i)} d(i, j)}{Number(i)}$ 计算其自

身的延时时间Δt(i),若节点 i 在Δt(i)时间内未收到簇首 发过来的消息,则通知邻居节点自己成为簇首.

② 若节点在Δt(i)时间内收到簇首节点发过来的消

息,则该节点成为簇首的成员节点,并停止计时.

③ 若节点在Δ*t*(*i*)时间内收到多个簇首发过来的消息,则选择成为后到的簇首信息的簇成员.

$$\Delta t(i) = \alpha \times e^{-\omega_i} \tag{3}$$

式中, α 是决定 $\Delta t(i)$ 的比例系数; ω_i 如下:

$$\left(C_1 \cdot \frac{1}{d(i)} + C_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{Number(i)}\right) + C_3 e^{E_i} + C_4 \cdot \frac{1}{D(i)}\right)$$
(4)

式中, *Number*(*i*)表示节点度数; *E_i*表示节点*i*当前剩余的能量; *D*(*i*)表示节点*i* 到基站的传输距离; C1+C2+C3+C4=1.

C1、C2、C3 和C4 的确定采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[9]. 通过构建三层递阶层 次结构模型、然后建立判断矩阵、通过判断矩阵的一 致性检验、计算出层次单排序和层次总排序的权重, 最终得到相对于目标层的权重. 其中构建递阶层次模 型如图 1 所示.



图 1 递阶层次模型

3.2 簇首多跳实现

在每一轮的簇首选举结束之后,利用遗传算法寻 找出一条遍历所有的簇首节点和基站的最优路径,每 个簇首将其它簇首传来的数据与来自本簇成员节点的 数据融合,然后沿着路径发送给下一个簇首节点.路径 上最后一个簇首节点负责将所有簇首传来的数据传输 给基站.每一轮簇首选举结束后,统计成为簇首的节点 信息,记录其坐标和序号,根据坐标计算出任意两个簇 首之间的距离.

形成过程如下: 假设在 100 m×100 m 随机放 100 个节点, 基站位于监测区域中心 (50 m, 150 m) 处, 假如 簇首选举在某一轮得到 10 个簇首.

①初始化种群

随机生成一个初始化种群作为起始的解,初始化 种群所含个体的数目为100.每个个体数据串表示为 10个簇首的随机排列序列,节点间形成一条单链多跳 通信的路由. ②计算种群中个体的适应度

该个体的适应度函数为
$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} D_{k_i k_j}^2}$$
. 其中 k₁ k₂

k₃.....**k**_n 为一个采取整数编码的染色体, *D*_{kikj}为簇首 **k**_i 到簇首 **k**_i 的距离.

③选择操作

根据适应度函数 F 值从旧的群体中选择个体加入 到新的群体中, F 值越大, 个体就越有可能被选中.

④ 交叉操作

采用部分映射交叉,确定交叉的父代,对父代的样 本两个两个进行分组,每组重复以下过程:

随机产生出两个整数 r₁和 r₂,这两个整数在[1, 10]之间,然后确定两个位置,对其之间的数据交叉如 r₁ = 4,r₂ = 7.

个体a:951 [3742] 1086

个体b:1054[6387]219

交叉为:

个体a:951[6387]1086 个体b:1054[3742]219

交叉后,同一个体中若有重复的簇首编号,不需要 重复保留,冲突数字采取部分映射方法来消除冲突,采 用中间段对应关系进行映射.例如个体 b 中 4 为重复 数字,那么在中间段查找个体 b 中 4 对应个体 a 同位 置的数字 8 来替代.结果为:

> 个体a:951 [6387] 1042 个体b:1058 [3742] 619

⑤ 变异操作

对个体根据变异概率 Pm 进行随机变异,某个簇 首基因成为变异点之后在非簇首基因中随机选取一个 与之互换. Pm 的自适应取值采用如下公式.

$$P_m = (P_{m1} + P_{m2})/2 \tag{5}$$

$$P_{m1} = P_{m_{max}} - (P_{m_{max}} - P_{m_{min}}) \cdot r/MaxIter \quad (6)$$

$$P_{m2} = \begin{cases} P_{m_\max} - (P_{m_\max} - P_{m_\min}) & f \ge f_{avg} \\ (f - f_{avg})/(f_{\max} - f_{avg}) & (7) \\ P_{m_\max} & f < f_{avg} \end{cases}$$

式中,f为个体的适应值, f_{max} 为当代群体中个体最大的 适应值, f_{avg} 为当代群体适应值均值 $P_{m_{max}} = 0.1$ 为最大 突变率, $P_{m_{min}} = 0.0001$ 为最小突变率.当采用遗传算 法进化初期的时候,种群的适应度群体性差, P_m 值选 取的要大,后期群体的个体性差异变小时,适应度比较 差的种群个体需要较大的 P_m 值.

Software Technique Algorithm 软件技术 算法 195

⑥判断是不是满足预设的最大进化代数 MAXGEN, 不满足则跳转,进入适应度计算;否则结束遗传操作, 并返回最优路径的簇首排序.

4 仿真结果分析

为了验证本文提出的算法的性能,利用 Matlab2012 仿真平台对本文提出的改进算法进行仿真实验,并与 LEACH、文献[9]中提出的 CECA 算法及文献[17]提 出的 LEACH-GA 算法做了比较分析.为了更好研究不 相同节点密度下本文算法的性能,将节点个数分别设 置为 100, 150, 200, 300 个无线传感节点随机分布在设 定的区域大小为 100 m×100 m 区域内,基站位置为 (50, 150).本文仿真所采用的网络能耗模型中相关参数 如表 1 所示.

表1	仿真参数设置
参数	参数值
节点初始能量	2J
射频能耗系数 E_{elec}	50 nJ/bit
数据融合能耗系数 E_{BF}	5 nJ/bit
E_{fs}	$10 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})$
E_{mp}	$0.0013 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^{-2})$
传输数据包大小	4000 bit

在仿真过程中,由于每次的仿真结果都存在着差 异,为了保证准确性,LEACH 算法、CECA 算法、 LEACH-GA 算法和本文提出的改进算法仿真结果均 为 5 次不同仿真结果的平均值.图 2 网络生存周期与 存活节点关系图.从图 2 中可以看出 LEACH、CECA 算法及 LEACH-GA 算法都在比较早时间内出现了第 一个死亡节点,而改进后的算法第一个死亡节点直到 第 23 轮才出现.本文的算法较好的均衡了网络能耗, 避免了少数节点的能量消耗过大,节点出现过早死亡.

图 3 给出了不同节点密度下三种网络的寿命,可 以看出本文改进的算法在低节点密度下比 LEACH、 CECA 算法、LEACH-GA 算法具有更长的生存时间. 当节点数为 100 时,本文的算法网络寿命较 LEACH 算法、 CECA 算法和 LEACH-GA 算法使网络寿命延长了 50%、14%、8%.

图 4 比较了不同的网络规模下本文算法的性能. 设定区域大小分别为 100 m×100 m, 150 m×150 m 和 200 m×200 m, 基站位置分别为 (50, 150), (75, 260), (100, 275), 节点数为 100, 其他参数不变. 从图 4 中看

196 软件技术·算法 Software Technique Algorithm

出,在小规模网络下,如 100 m×100 m,本文算法的网络生存周期要优于 CECA 算法、LEACH 算法和 LEACH-GA 算法;随着网络规模的增大,本文算法的 网络生存周期明显的比其他算法网络要长.如 200 m× 200 m规模下,本文网络寿命约 44 轮,LEACH 网络寿 命只有 15 轮,CECA 网络寿命只有 17 轮,LEACH-GA 网络寿命约 42 轮,本文算法的网络寿命较 CECA 长 了 158.8%,较LEACH长了 193.3%,比LEACH-GA 长 了 5%.同时,图 4 中显示,在大规模网络下本文算法的 网络生存周期基本保持稳定;CECA 协议和LEACH 协 议的网络寿命急剧下降,这两种算法的扩展性比较差. 本文算法通过引入遗传算法实现了簇首多跳,有效降 低了簇首的能耗负担,网络的生存周期变长.



节点能量的均衡性也是路由算法好坏评价的标准 之一. 图 5 可见,本文提出的改进算法通过引入簇首间 多跳传输,在稳定运行阶段降低了能耗,其能耗值明显 小于 LEACH-GA、CECA 和 LEACH 算法.本文分别 选取三种算法网络中的第5轮、第10轮和第15轮所 有节点的剩余能量数据,并统计其标准差,结果如图6 所示.从图6中可以看出,运行改进后算法的网络节点, 其节点的剩余能量的标准方差值最小,节点间能量消 耗差距很小,达到了能耗均衡的目的.



图 4 不同网络规模下生存周期



因此,从网络生存时间和能量消耗上来看,本文提出的算法在低节点密度和大规模网络下算法性能均优于 LEACH 算法和文献[9,17]中所提出的 CECA 算法、LEACH-GA 算法.

5 结语

减小网络能耗,延长网络生存周期是设计 WSN 路 由协议的重要目标,为了延长网络生存周期,路由协议 还应需要保证网络能量的均衡性.本文提出了一种改进的节能分簇多跳路由算法,利用遗传算法计算簇首间多跳的最优路径,有效解决了簇首单跳传输能量消耗过大的问题.实验结果表明,本算法在大规模网络、低节点密度下生存时间显著优于 LEACH、CECA 和 LEACH-GA 算法.



图 6 网络剩余能量标准差图

参考文献

- 1 董国勇, 彭力, 吴凡, 等. 一种采用蚁群优化的 WSN 能量 均衡非均匀分簇路由算法. 小型微型计算机系统, 2015, 36(7): 1565–1568.
- 2 曹欲晓,徐金宝,徐梦溪,等.无线传感器网络 LEACH 协议的二进制粒子群改进算法.电子技术应用,2015,41(4): 91-93,97.
- 3 Lindsey S, Raghavendra CS. PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems. Proc. of IEEE Aerospace Conference Proceedings. Big Sky, MT, USA. 2002, 3. 3-1125–3-1130.
- 4 Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam KM. Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2002, 13(9): 924–935. [doi: 10.1109/TPDS.2002.1036066]
- 5 Satapathy SS, Sarma N. TREEPSI: Tree based energy efficient protocol for sensor information. Proc. of IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks. Bangalore, India. 2006, 4.
- 6 郑希. 基于 LEACH 的无线传感器网络路由协议能耗性能 的研究及优化[硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- 7 Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energyefficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proc. of the 33rd Annual Hawaii International

Software Technique Algorithm 软件技术 算法 197

WWW.C-S-a.org.cn

Conference on System Sciences. Maui, HI, USA. 2000, 2. 10.

- 8 Heinzelman WB, Chandrakasan AP, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660–670. [doi: 10.1109/TWC.2002. 804190]
- 9 丁岳, 丁勇, 于春娣, 等. 一种具有提高成簇质量的 WSN 节能分簇路由算法. 传感技术学报, 2011, 25(2): 258-262.
- 10 刘军,李岩,齐华. 基于 NS2 的无线传感器网络 LEACH 协议的改进与仿真. 电子技术应用, 2012, 38(2): 21-23, 27.
- 11 曾闵, 江虹, 陈帅, 等. 基于能量优化的 LEACH 路由协议 改进. 电子技术应用, 2014, 40(9): 108-110, 117.
- 12 周志立. 基于负载均衡的无线传感器网络路由算法. 计算 17 周1 机系统应用, 2012, 21(12): 76–79. [doi: 10.3969/j.issn.1003-学行

3254.2012.12.017]

- 13 杨伟伟, 刘润杰, 申金媛. 一种基于 LEACH 的高效节能协议. 传感技术学报, 2010, 23(8): 1153-1157.
- 14 李成岳, 申铉京, 陈海鹏, 等. 无线传感器网络中 LEACH 路由算法的研究与改进. 传感技术学报, 2010, 23(8): 1163-1167.
- 15 周集良, 李彩霞, 曹奇英. 基于遗传算法的 WSNs 多路径路 由优化. 计算机应用, 2009, 29(2): 521-524.
- 16 高德民, 钱焕延, 汪峥, 等. 基于遗传算法的无线传感器网络路由协议研究. 计算机应用研究, 2010, 27(11): 4226-4229.
- 17 周晓明. 基于遗传算法的无线传感网路由协议研究[硕士 学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2015.

198 软件技术·算法 Software Technique Algorithm