

无线传感器网络低能耗多跳路由协议仿真

覃琪, 谭松鹤

(1.河池学院计算机与信息工程学院, 广西河池 546300; 2.河池学院现代教育技术中心, 广西河池 546300)

摘要: 设计无线传感器网络的低能耗多跳路由协议, 可以延长网络寿命, 提高网络故障检测能力同时解决无线传感器网络存在能量约束的问题。传统的多跳路由协议设计中, 簇头选取时无法有效避开能量较少与位置不佳的节点, 且未考虑簇头与中继节点之间的距离, 导致开销较大, 网络寿命较低。提出基于新型簇头选取机制的低能耗多跳路由协议。引入节点度的概念, 通过综合考虑网络候选传感器节点的剩余能量以及自身位置信息等参数优化簇头选取, 避免剩余能量较少和位置不佳的传感器节点被推选成簇首, 减少能量消耗。簇内通信过程中, 考虑簇头与中继节点之间的距离, 簇首与中继节点之间利用单跳和多跳相结合的传输形式, 减少节点间的通信开销, 延长网络寿命。实验结果证明, 改进的多跳路由协议能够有效均衡节点能量, 延长了传感器节点以及网络寿命。

关键词: 无线传感器网络; 低能耗; 多跳; 路由协议; 簇头选取机制

中图分类号: TP393 **文献标识码:** B

Wireless Sensor Network Low Energy Consumption Multi-Hop Routing Protocol Simulation

QIN Qi, TAN Song-he

(1. Computer and information engineering college, Hechi University, Guangxi Hechi 546300, China;

2. Modern education technical center, Hechi University, Guangxi Hechi 546300, China)

ABSTRACT: To design the low energy consumption multi-hop routing protocol for wireless sensor network can prolong network lifetime and improve the ability of network fault detection. In this article, we put forward a multi-hop routing protocol with low energy consumption based on new cluster head selection mechanism. At first, the concept about node degree was introduced. Secondly, the selection of cluster head was optimized by considering the residual energy of network candidate sensor nodes and the self-location information, which avoided the fact that sensor nodes with less residual energy and poor position were selected as cluster heads, so as to reduce energy consumption. In the process of intra-cluster communication, the distance between the cluster head and the relay node was considered. Finally, the single-hop and multi-hop transmission forms were used to reduce the communication overhead and prolong the network lifetime. Simulation results show that the improved multi-hop routing protocol can effectively equalize the node energy and prolong the lifetime of sensor node and network.

KEYWORDS: Wireless sensor network; Low energy consumption; Multi-hop; Routing protocol; Cluster head selection mechanism

1 引言

无线传感器网络作为一种新型网络体系, 具有移动性、无线布线、多跳路由等多种特点, 在远程监测、信息采集以及交通控制等多个领域都有广泛应用^[1-2]。无线传感器网络通过传感器节点采集与处理覆盖域内监测到的信息, 在军事、

消防以及工业领域均有着广泛的应用^[3]。在实际网络应用中, 传感器节点分布不均, 使得某些簇头与距离较远的基站进行通信时, 发射功率较大, 增加了网络通信能耗, 缩短了网络生命周期^[4]。在这种情况下, 如何有效地进行降低网络通信能耗, 成为了该领域亟待解决的主要问题。而低能耗多跳路由协议中的簇头选取策略, 通过综合考虑网络候选传感器节点的剩余能量以及自身位置信息等参数优化簇头选取, 避免剩余能量较少和位置不佳的传感器节点被推选成簇首, 减少能量消耗, 是解决上述弊端的有效手段, 引起了该领域相关专家学者的高度关注^[5]。

基金项目: 广西壮族自治区中青年教师基础能力提升项目
(KY2016YB382)

收稿日期: 2018-06-01 修回日期: 2018-06-29

近年来,诸多学者对无线传感器网络多跳路由协议进行了大量研究。李双双等人^[6]提出基于非均等分区的网络多跳路由协议。采用所设计的协议对网络进行划分,在各个区域中依据剩余能量、距离因子选取合适的传感器节点作为簇首,在簇首之间构建负载均衡树,解决网络数据通信过程中的热点问题。通过分析该协议的通信方式发现,当基站与被监测区域之间距离较远时,簇首节点进行通信传输能量消耗过快,缩短了网络生命周期。温佩芝等人^[7]提出基于 K-means 聚类的网络多跳路由协议。在给定的无线传感器网络环境下,先确定整个网络部署下通信簇头节点数量,利用 K-means 聚类方法根据节点自身选取结果,划分聚类簇。利用蚁群算法确定聚类簇间的最优多跳路由,均衡网络能耗。该方法在一定程度上能够均衡节点能耗,但涉及过多传感器节点时,节点能量消耗过大,网络生命周期较短。

针对当前网络路由协议存在的问题,提出基于新型簇头选取机制的无线传感器网络低能耗多跳路由协议。与传统的路由协议不同,改进后的路由协议考虑网络候选节点剩余能量、簇首与中继节点之间的距离等参数优化簇首节点的选取,避免了簇首选取不当,节点间的能量消耗不均,增加网络总能量损耗的弊端。实验结果表明,改进的多跳路由协议能够有效降低节点能量消耗,延长了传感器节点以及网络寿命。

2 无线传感器网络低功耗多跳路由原理

对无线传感器网络设计低能耗多跳路由协议,可以有效降低网络总能量损耗,延长网络寿命。传统方法往往忽略了簇首选取的重要性以及其与中继节点之间的距离,导致簇首节点剩余能量较低、位置较差,从而影响路由协议的整体能耗开销,缩短网络寿命。由此,簇首的选取以及其与中继节点之间距离成为了目前的研究难点问题。

非均匀分簇多跳路由协议采用与 LEACH 协议相同的无线传感器网络通信能耗模型。引入“轮”的概念,在各轮成簇阶段,通过计算传感器节点竞争半径给出限定阈值,根据该阈值选取候选簇首。在多跳路由构建阶段,对比每个簇首至中继节点的距离选取下一跳簇首。通信链路构建完成后进入数据传输阶段。具体过程如下所述:

该多跳路由协议通过随机选择节点作为簇首的分簇形式降低无线传感器网络能力,利用下式结合轮的形式来均衡无线传感器网络路由负载

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p^* \left(r \bmod \frac{1}{P} \right)}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中 P 表示网络簇首节点占整个网络中全部节点的比例, r 表示当前轮数, G 表示近邻的 $1/P$ 轮中没有被推选成簇首节点的节点集合。采用与上述协议相同的通信能耗模型,无线传感器网络通信节点传送 l 比特数至距离 d 的位置所消耗的能量实质是电路损耗结合功率放大损耗的结果之和,利用下

式进行表示

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_e + l\varepsilon_f d^2, & d < d_0 \\ lE_e + l\varepsilon_m d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中 E_e 表示无线传感器网络发射电路损耗能量, ε_f 和 ε_m 分别表示功率放大所需的能量,利用下式给出网络中的某节点接收 l 比特的通信数据所耗能量

$$E_{Rx}(l) = lE_{Tx}(l, d) \quad (3)$$

假设,无线传感器网络近邻节点获得的通信数据冗余度较高,各个通信节点传送长度为 b 的数据包,簇首可将内部成员的通信数据组合成长度为 b 的数据集;簇间通信冗余度较低,不进行组合处理。

在无线传感器网络各轮成簇阶段,采用下式计算出通信节点 s_i 的竞争半径,根据计算结果与式(1)计算得到的限定阈值结合考虑,推选出候选簇首。各个候选簇首广播内部成员,搜索其邻居节点构建邻居表,通过比较自己和近邻节点之间的剩余能量选取最终簇头。在网络多跳链路构建阶段,当网络簇首节点选择下一跳簇首时,通过对比候选簇首 s_i 与中继节点 k_u 之间距离 $d(s_i, k_u)$,再采用竞争半径选取多个符合条件的下一跳簇首,随机选取其中一个簇首作为下一跳的簇首。无线传感器网络通信链路构建完成后进行数据传输阶段,即

$$s_i \cdot Rc = \left(1 - c \frac{d_{\max} - d(s_i, k_u)}{d_{\max} - d_{\min}} \right) \quad (4)$$

其中 k_u 表示中继节点, d_{\max} 和 d_{\min} 分别表示候选簇首 s_i 与中继节点 k_u 之间最大距离和最小距离, c 表示链路拥塞因子。

上述无线传感器网络多跳路由协议原理解决了中继节点邻近区域出现热区的问题,且簇首分布较为均匀,在一定程度上均衡了无线传感器网络能耗,由该原理完成无线传感器网络低能耗多跳路由协议的设计。

3 基于新型簇头选取机制的多跳路由协议

3.1 网络通信簇首选取

为了有效避免剩余能量较少和位置不佳的传感器节点被推选成簇首,同时避免簇首节点能量消耗过多,引入节点度的概念,通过综合考虑网络候选传感器节点的剩余能量以及自身位置信息等参数优化簇头选取,具体过程如下所述:

为了有效均衡无线传感器网络的能量负载分布,综合考虑网络候选节点的剩余能量及地理位置等参数优化网络通信簇头选取。设定采用以下无线传感器网络模型,模型内各个通信节点含有6个属性符。 ID 表示通信节点标签, C_{id} 表示聚类簇标签, E_n 表示节点剩余能量, E_a 表示通信节点所属簇内全部成员剩余能量均值, P_{xy} 表示节点当前位置信息, P 表示节点相对于全局节点的位置信息。在各轮簇头选取过程中,网络节点查看自身的 E_n 值,将此信息向先前簇头报告,节点所属簇内簇头计算簇内的 E_a 值,即

$$E_a(r) = \frac{\sum_{n=1}^n E_n(r)}{n} \quad (5)$$

将 $E_{-a}(r)$ 值广播至其所属簇内每个成员,各个成员调整自身成为簇头的阈值,利用下式给出各个成员调整后的阈值

$$I(n) = W_1 g \frac{p}{1 - p \left[(r+1) \bmod \frac{1}{p} \right]} \times \frac{E_{-n}(r)}{E_{-a}(r)} + W_2 g \frac{p}{\sum_{r=1}^n d_i^2 + d_{BS}^2} \quad (6)$$

其中 $E_{-n}(r)$ 表示网络通信节点在 r 轮的剩余能量, $E_{-a}(r)$ 表示第 r 轮簇内剩余全部成员的剩余能量均值, W_1 、 W_2 分别表示节点剩余能量及全局位置的加权系数, $\sum_{r=1}^n d_i^2$ 表示被推选为候选簇头节点与其它节点之间距离的平方和, d_{BS}^2 表示被推选为候选节点与基站之间的距离。

网络通信簇头节点选定后,剩余节点依据接收到的广播信息强度^[8]大小,自主选取可加入的聚类簇,向其加入的簇首发出加入此簇的请求消息,并将自身的 P_{xy} 、 E_{-n} 、 ID 发送给簇头。簇头接收到不同节点发送的消息后,根据节点相应的能量值,按从高到低进行排序,优选能量值较高的通信节点加入此簇内,判断加入的节点数量不能超过簇首自身的阈值,即

$$w = kI(n) \frac{1}{p} \quad (7)$$

式中 p 表示某个网络节点被推选成簇头的百分比, k 表示簇内节点最大数量和期望此簇内节点数量的比值。综合考虑网络候选传感器节点的剩余能量以及自身位置信息等参数优化簇头选取,得到簇头选取结果

$$u_c = w \sum_{i=1}^{n-1} P_{xy} + \frac{E_{-n}}{k \cdot E_{-a}(r)} + ID \quad (8)$$

上述过程引入节点度和剩余能量判定阈值等策略,完成簇头的优化选取,进一步保证了无线传感器网络内节点能量负载的均衡性。

3.2 以单跳和多跳相结合的传输方式构建多跳路径

当网络节点被确定为簇首节点后,考虑到与中继节点较远的簇头节点进行数据转发能量消耗较大,将区域内簇首节点与基站之间的通信利用多跳传输形式,这种形式能够节省节点能耗。簇头节点与基站之间利用单跳通信,可减少簇首能量消耗,结合这两种形式构建多跳路径。具体过程如下所述。

当无线传感器网络通信传输距离较近时 $d > d_0$,利用自由空间信道模型^[9];当无线传感器网络通信传输距离较远时 $d \leq d_0$,选用多路径衰减模型;当两个通信节点传输距离为 d 时,传输 1bit 信息时,发送端节点消耗的能量利用下式表示

$$E_{Tx}(\psi, d) = \begin{cases} \psi \cdot E_e + \psi \cdot \varepsilon_f \cdot d^2; & d \leq d_0 \\ \psi \cdot E_e + \psi \cdot \varepsilon_m \cdot d^4; & d > d_0 \end{cases} \quad (9)$$

其中 ψ 表示通信数据长度,利用下式描述网络信息接收端接收单位比特数据时消耗的能量

$$E_{Rx}(\psi) = \psi \cdot E_e \quad (10)$$

利用下式表示通信节点接收单位比特的数据和自身数据进行数据融合处理消耗的能量

$$E_{Gx}(\psi) = \psi \cdot E_g \quad (11)$$

当通信传输距离小于阈值 d_0 时,利用自由空间模型。当通信传输距离大于阈值 d_0 时,利用多路径衰减模型。利用下式计算两个通信节点 V_i 与 V_j 之间的距离 $d(V_i, V_j)$

$$d(V_i, V_j) = \sqrt{(x_{v_i} - x_{v_j})^2 + (y_{v_i} - y_{v_j})^2} \quad (12)$$

其中 x_i 和 y_j 分别表示簇头 (x_{v_i}, y_{v_i}) 和 (x_{v_j}, y_{v_j}) 分别表示两个簇头的位置信息。

设定无线传感器网络通信采用自由空间模型,通信节点 V_j 接收到节点 V_i 发送的数据后,将其发送给中继节点,则传输 1bit 的通信信息至中继节点,通信节点 V_i 相应的能量消耗利用下式表示

$$E_{2-hop} = [E_{Rx}(\psi) + E_{Tx}(\psi, d(V_i, V_j))] \quad (13)$$

由上式可知,传感器节点 V_i 的能量消耗主要由 V_j 与 V_i 之间的距离以及 V_j 与中继节点之间的距离 $E_{Tx}(\psi, d(V_i, V_j))$ 决定。

当传感器节点 v_i 被推选为簇首节点后,以最大发射功率向无线传感器网络中广播自身 ID 、剩余能量 $E_{i(r)}$ 以及至基站 d_i 的消息。簇首 v_i 接收到其它簇首 v_j 的消息时,计算该簇首与其它簇首之间的距离,当距离 $d(v_i, v_j)$ 小于节点通信半径时,将其信息记录在邻居节点集合 $N(v_i)$ 中。通信节点 v_i 需要将接收到的信息发送或是转发时,其相应的下一跳只能在邻居节点集合中选取。当簇首节点 v_j 至中继节点距离 $d(v_j, DS)$ 大于通信半径 R 时,则通过多跳路由将通信数据发送给中继节点。利用下式构建多跳路径

$$\text{cost} = \frac{E_i}{\sqrt{d^2(v_H, v_I) + d^2(v_I, DS)}} + C_i \quad (15)$$

上式从邻居节点集合中选取最高权值节点作为下一跳节点。 E_i 表示某个传感器节点被推选成中继节点,其相应的剩余能量, $d^2(v_H, v_I)$ 表示簇首节点 H 与 $Sink$ 节点 I 之间的距离, $d(v_I, DS)$ 表示任意两个中继节点之间的距离, C_i 表示某个传感器节点被推选成簇首节点的自信度。

由此实现了无线传感器网络低能耗多跳路由协议的设计,解决能量约束的问题,降低无线传感器网络整体损耗开销,从而有效延长网络寿命。

4 实验结果与分析

为了验证所提基于新型簇头选取机制的无线传感器网络低能耗多跳路由协议的有效性,需要进行一次仿真。在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 范围内随机布置 50 个传感器节点作为仿真环境,采用 NS-2 仿真平台。将基于非均等分区的网络路由协议以及基于 K-means 聚类的网络多跳路由协议作为实验对比项。

图 1 给出所提方法和基于非均等分区的网络路由协议

以及基于 K-means 聚类的网络多跳路由协议的存活节点数 (个) 对比结果,为了简化描述,将所提方法、基于非均等分区的网络路由协议以及基于 K-means 聚类的网络多跳路由协议分别表示为 PM、UD、K-means。

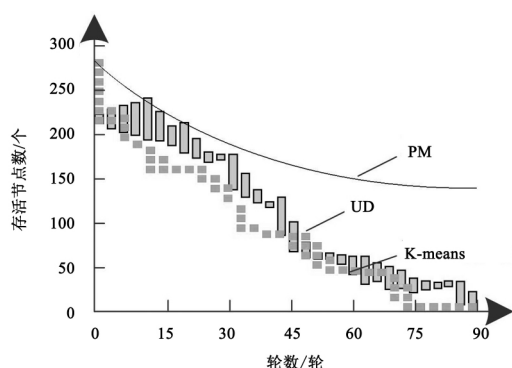


图1 不同方法存活节点数对比结果

从图1中可以看出,在第75轮时,基于非均等分区的网络路由协议存活的节点数量非常少,而所提方法还有大约150个存活的节点,对比结果证明,所提方法比基于非均等分区的网络路由协议以及基于 K-means 聚类的网络多跳路由协议存活的节点数量要多,延长了网络寿命。

图2给出了不同协议下无线传感器网络寿命与基站距离之间的关系。

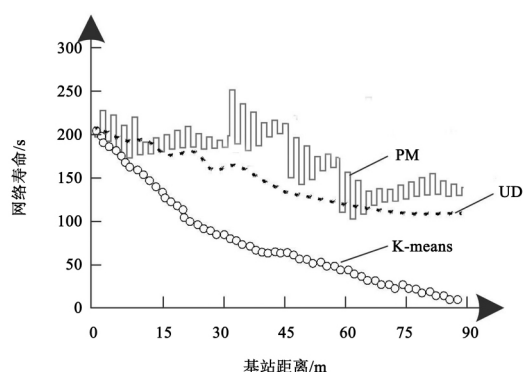


图2 基站距离与无线传感器网络寿命关系

分析图2可知,基站与无线传感器网络覆盖的监测区域距离较远时,所设计的路由协议对网络寿命影响不大,主要原因在于所设计的多跳路由协议利用多跳路由形式与基站之间进行通信,而基于非均等分区的网络多跳路由协议,全部簇首与基站之间的通信均是采用单跳形式,当基站与被监

测区域之间距离较远时,簇首节点进行通信传输能量消耗过快,缩短了网络生命周期。

5 结论

在分析 LEACH 路由协议弊端的基础上,提出基于新型簇头选取机制的无线传感器网络低能耗多跳路由协议。运用新型簇头选取机制,使得能量消耗均匀分布在每个传感器节点上;对选取的簇头节点与中继节点间的通信采用多跳和单跳相结合的方式,弥补了传统的路由协议单跳的不足,理论分析和仿真结果表明,所提方法有效延长了传感器节点与无线传感器网络的寿命。改进的多跳路由协议没有提到网络拓扑结构的设计,网络拓扑结构对无线传感器网络生命周期也会产生很大的影响,未来阶段从此方面进行更深层次的研究。

参考文献:

- [1] 焦克莹,郭强.面向异构 WSNs 的基于能量感知的簇路由算法[J].传感技术学报,2017,30(9):1427-1432.
- [2] 陈志刚,沈小建,刘立.无线 mesh 网中最小编码代价低时延多播路由[J].通信学报,2016,37(1):10-16.
- [3] 肖军弼,刘战军. AntNet 算法在 Ad Hoc 网络 QoS 组播路由中的研究[J].计算机系统应用,2014,23(11):127-131.
- [4] 周欣欣,余镇危.基于情景感知的移动 Ad Hoc 网络自适应路由协议[J].计算机工程与设计,2014,35(11):3799-3903.
- [5] 刘迪,等.基于 NDN 的多层卫星网络分布式动态路由方法[J].电子学报,2017,45(11):2769-2778.
- [6] 李双双,杨文忠,吴向前.基于非均等分区的无线传感器网络路由协议[J].计算机应用,2016,36(11):3010-3015.
- [7] 温佩芝,等.多级异构无线传感器网络分簇路由协议[J].计算机工程与设计,2016,37(6):1471-1477.
- [8] 廖福保,张文梅.基于最小生成树的非均匀分簇路由协议[J].传感技术学报,2017,30(9):1412-1416.
- [9] 刘觉夫,王建旭,王作航.基于博弈论的多跳认知无线网络协作路由算法[J].计算机工程与设计,2017,38(5):1136-1141.
- [10] 黄笑笑.嵌入式多媒体通信中节能路由选择仿真研究[J].计算机仿真,2017,34(3):173-176.

【作者简介】



覃 琪(1981-),女(壮族),广西宜州人,硕士,讲师,研究方向:计算机软件与理论;

谭松鹤(1982-),男(毛南族),广西宜州人,硕士,讲师,研究方向:计算机网络。