

Research on Reliable Cluster Protocol in Wireless Sensor Network

Shenghui Qiu, Qiuxia Jiang, Xiaomeng Pang, Bin Wang

School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu
Email: 798356640@qq.com

Received: Jun. 4th, 2018; accepted: Jun. 20th, 2018; published: Jun. 28th, 2018

Abstract

On the basis of LEACH protocol, this paper puts a reliable LEACH protocol based on packet loss rate measurement. Firstly, it is assumed that wireless link channel is not reliable, and there is a certain probability that the packet will be lost. In order to estimate node packet loss rate, in each round of data transmission, according to the current statistics of a target node, we iteratively update packet loss rate, then model trust of neighbor nodes. Under this condition, the packet loss rate of a selected head node is estimated and the distance is also used to select a cluster head. Finally, simulation shows that our scheme can improve the holistic successful transmission rate of network data, and reduce the additional energy of the node due to the packet retransmission, thus achieve the purpose of saving network energy and improving the data transmission efficiency.

Keywords

Wireless Sensor Network, Clustering Protocol, Packet Loss Rate

可靠的无线传感器网络分簇协议研究

邱生辉, 姜秋霞, 庞晓萌, 王 斌

扬州大学信息工程学院, 江苏 扬州
Email: 798356640@qq.com

收稿日期: 2018年6月4日; 录用日期: 2018年6月20日; 发布日期: 2018年6月28日

摘 要

本文在LEACH协议的基础上提出了基于丢包率度量设计的可靠的LEACH协议。首先假设无线链路信道是不可靠的, 存在一定的概率会丢失数据包。为了估计结点的丢包率, 在每轮数据传输过程中, 当前统计

的目标节点的丢包率将通过迭代公式进行动态更新。在此基础上建立对邻居节点的信任模型。在此条件下引入被选择头结点的丢包率并结合距离因素作为选择簇头的判定依据。最终可提高网络数据的整体成功发送的比率，减少因数据包重发而消耗节点的额外能量，从而达到网络节能和提高数据传输效率的目的。

关键词

无线传感器网络，分簇协议，丢包率

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种以信息采集和传输为主要功能的无线自组织网络。此网络由大量传感器节点以自组织和多跳的方式构成，目的是协作感知，采集，处理和传输对应区域被感知对象的信息。LEACH 路由协议[1]的基本思想是提出轮(Round)的概念，一个周期分成若干轮，每一轮以随机的方式选择簇头节点，普通的节点将数据传输到簇头节点上，簇头节点再和基站通信，从而可以均衡网络能量消耗，延长网络的生存周期，详见图 1。

现有 LEACH 网络协议簇头选择策略基于理想网络环境下设计，模拟每次数据传输 100%成功，节点根据下式来选举簇头：

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

式 1 中， P 值为网络中簇头节点占总节点数量的百分比，这个值在网络初始化时设置。 r 是本周期的轮数编号。 G 是本周期没有当选过簇头的节点的集合[2]。而实际应用中不同节点处于不同环境下，各节点丢包概率存在且各不相同，若依据现有网络协议，簇头节点可能选择高丢包概率节点作为头结点，造成大量数据重发，增加能耗，缩短整体网络生存周期。

针对这一问题，提出了一种更加完善的簇头选择机制，依据各节点自身所处环境所决定的内置概率参数，以及各节点历史数据丢包数据统计，得到各个节点的丢包参数，在选取头结点时，该参数被映射

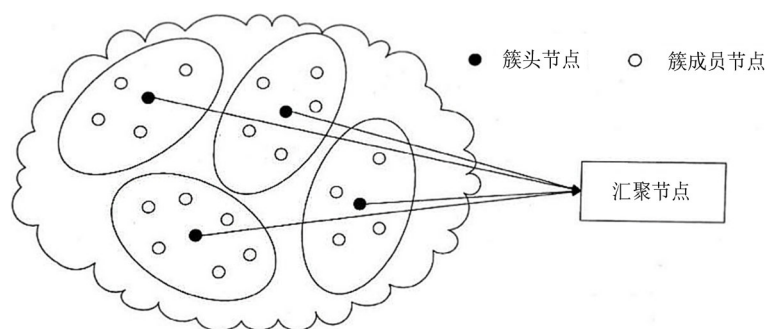


Figure 1. Cluster routing topology

图 1. 分簇路由拓扑结构

到选择过程中。簇头选择影响因素由仅考虑距离转变到同时考虑距离和概率，因而可以减小高丢包率节点当选簇头的可能性，达到节能效果。

2. 准备工作

无线传感器网络的路由算法研究是一个非常活跃的研究领域，目前经典设计思路有以下方面：

1) 基于跳数选择最优方案的路由思想[3]。在分析原始最小跳数(Minimum Hop Count, MHC)路由协议的特点和存在的问题基础上，提出了一种基于跳数的无线传感器网络路由算法[4]。

2) 基于 K-means++ 聚类的路由算法 LEACH-KPPE [5]。首先根据 LEACH 协议能量消耗模型推导出能耗最小的最优簇头结点数，再利用 K-means++ 聚类算法对 LEACH 中分簇进行优化，针对不同的节点分布环境对数据传输路径进行优化处理，使其数据传输路径达到最优。

3) 基于分簇次数最优方案的路由思想[6]。算法在簇头节点选择时综合考虑节点剩余能量和当前位置问题，使簇头的分布更均匀；同时在估算最优簇头数的基础上，改进了分簇方法，减少了分簇次数，节省了网络能量消耗。

4) 基于能量均衡的 Ad-hoc 网络拓扑[7]和能量均衡的无线传感器网络拓扑控制算法[8]的解决思想。这类思想通过网络结构优化平衡能量分布。

5) 基于链路丢包率的的路由思想。LEACH-LLR (LEACH-Least Loss Rate) [9]是基于 LEACH 链路丢包率方面改进的研究方案。

LEACH-LLR 的不足在于其丢包数量统计机制不完善，未考虑其他因素及丢包率动态更新。所以可以得出一种基于 LEACH-LLR 的优化改进算法。

3. 可靠的分簇方案设计

3.1. WSN 模型

网络中随机分布了 n 个传感器节点，并且均匀分布在一个方形区域中，sink 节点位于区域中央。

- 1) 所有节点部署完成后处于静止状态；
- 2) 每个传感器节点具有相同的初始能量及通信能力，具有唯一的标识；
- 3) 每个传感器节点选择加入通信半径范围内合适的簇，每个簇都有簇头节点负责簇内部的信息的接收和转发。

3.2. 信任模型

协议中信任模型特点如下：

- 1) 初始状态下，即无线传感器刚部署在指定区域时，假设所有的节点可靠性相同；
- 2) 节点间的信任值与时间 t 呈反比例关系，即网络运行时间 t 越长，则信任值越低，因此需要不断地通信以评估最新的信任值；
- 3) 默认节点的信任值范围取值在 $[0,1]$ 之间。

3.3. 信任值的计算

协议的簇头产生的方案采用和 LEACH 协议相同的设置。用 N_s 代表节点 n_s 的一跳邻居节点集合。用 d_k 代表邻居节点 n_k 到 sink 节点的空间距离，用 E_k^0 代表邻居节点 n_k 初始的能量。每个节点 n_s 需要维护一个关于其所有一跳邻居节点的可信度列表 $Trust_s$ ，表中邻居节点 n_k 关联一个信任值 $t_{s,k}^{i-1}, i \geq 1$ ，表示在第 i 轮开始前节点 n_s 对邻居节点 n_k 的信任值，初始值 $t_{s,k}^0 = 1$ 。

在第 i 轮结束后, 节点 n_s 按如下方式刷新对邻居节点 n_k 的信任值:

$$t_{s,k}^i = \alpha \cdot r_{s,k}^i + (1-\alpha) \cdot t_{s,k}^{i-1}, i \geq 1 \quad (\text{式 2})$$

式 2 中参数 $0 \leq \alpha \leq 1$, $r_{s,k}^i$ 表示在第 i 轮 n_k 根据与邻居节点 n_k 的通信状态计算的可靠度参量。如果在第 i 轮 n_s 没有与邻居节点 n_k 进行通信, 取 $r_{s,k}^i = 0$ 。

反之, 通过如下方式估计 $r_{s,k}^i$: 在某一轮中, 假设簇内普通节点 n_s 和簇首结点 n_k 之间有 n 次数据传输过程, 到簇首结点的链路根据预设的链路丢包概率(随机分布在 0.1~0.3 间)随机地丢弃数据包。要求簇首结点每收到一个数据包, 需要给出一个应答。设簇内普通节点收到 $t \leq n$ 次应答, 则计算 $r_{s,k}^i = t/n$ 。

迭代式可以有效抑制某一节点丢包概率短时间内起伏过大, 造成子节点误选, 间接增加能量消耗。在每一轮中, 每一节点的丢包率都会动态变化, 从而使依赖于可靠性的头结点选择具有时效性。

3.4. 簇头关联

在数据传输过程中, 距离越远, 信号衰减越快, 所需要的能量也越多。所以以距离为选择头结点的首要条件是合理的。但是在实际过程中, 不是每次传输过程都可以 100%成功传输, 对于某些节点来说有极大的丢包可能性, 于是簇头选择方案同时考虑距离和丢包概率, 在子节点一定范围内存在多个头结点时, 判断对应头结点的丢包概率, 选择丢包率较小的头结点, 从而提高发送成功率, 减少丢包重发的次数, 减少了能量的消耗, 使得网络寿命大大延长。普通节点 n_s 在关联簇头时根据如下规则进行考虑(考虑了可信度和距离因素):

1) 根据可信度列表 $Trust_s$ 在相邻的簇头节点中选出信任值最大的节点集 A_s ;

2) 若节点集 A_s 只含一个元素, 加入对应的簇; 若节点集 A_s 含多个元素, 则挑选离自己最近的簇头节点加入。

4. 仿真结果与分析

4.1. 实现环境

在软件仿真中, 通过 C 语言移植了 LEACH 网络协议, 并针对基于链路丢包率方面进行了方案设计, 产生数据与另一改进 LEACH 协议——聚类 LEACH 协议[10](以下简称聚类协议)做分析和对比。

数据处理分析使用 MATLAB 软件进行可视化处理。详细参数设计见表 1。

4.2. 仿真结果分析

图 2 中, 横坐标表示节点编号, 共 100 节点, 纵坐标表示能量剩余值。初始化能量为 0.05, 若能量小于 0 则该节点退出。

对两组数据进行能量分布对比见表 2。

第 50 轮时在一定丢包概率条件下, 由曲线图可以看出, 可靠协议的能量分布比较均匀。由表中数据分析得出, 节点能量剩余差额为 0.080J, 聚类协议节点能量剩余差额为 0.095J, 两种协议平均值差为 0.003J。由此可知, 可靠协议能耗稍低于聚类协议。同时, 可靠协议引入丢包率考虑因素, 避免了同一个节点多次重复发送数据, 减小了各节点之间剩余能量差额, 有利于整体网络的生存周期。

图 3 为 200 轮中节点丢包数量统计折线图, 横坐标为运行轮数, 纵坐标为当前轮丢包总数目。由图分析可知, 在第 0~100 轮之间, 可靠协议每轮平均丢包数量为 178.3, 聚类协议每轮平均丢包数量大约为 209.5, 平均每轮少丢包 31.2。第 100~160 轮, 可靠协议每轮丢包数量与聚类协议基本持平。参考图 4 可知, 在 100~200 轮聚类协议节点退出个数大于可靠协议, 聚类协议统计样本空间变小。综上所述可得

Table 1. Parameter setting of simulation
表 1. 仿真实验参数设置

参数	数值
部署区域	100 * 100 m ²
节点数量	100
部署方式	随机分布
基站坐标	(50, 50)
节点初始能量	0.5J
网络运行轮数	200
E_{else}	50 nJ/bit
E_{DA}	5 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
分组大小	4000 bit
链路可靠性参数	0.1~0.3

Table 2. Feature data comparison
表 2. 特征数据对比表

剩余能量	聚类 LEACH	可靠 LEACH
最大值	0.0391J	0.0395J
最小值	0.0189J	0.0192J
平均值	0.0296J	0.0315J

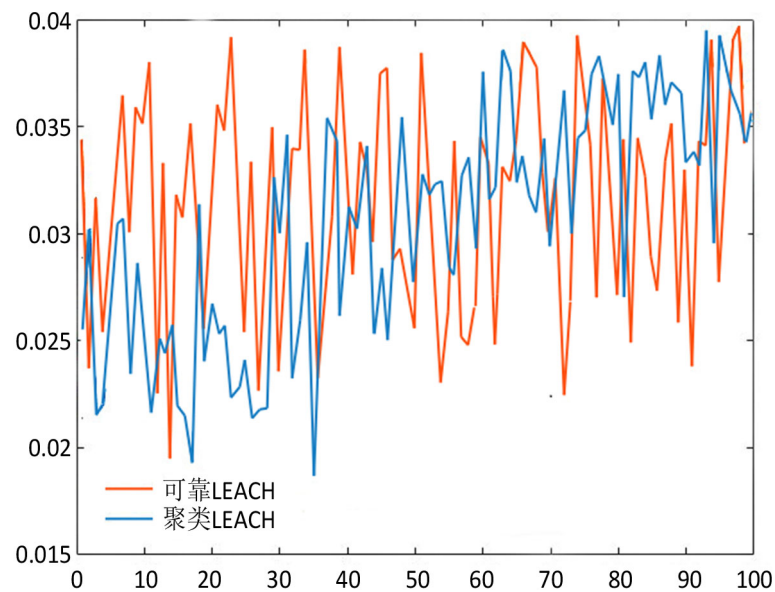


Figure 2. Diagram of energy comparison of the 50th round
图 2. 第 50 轮节点能量对比图

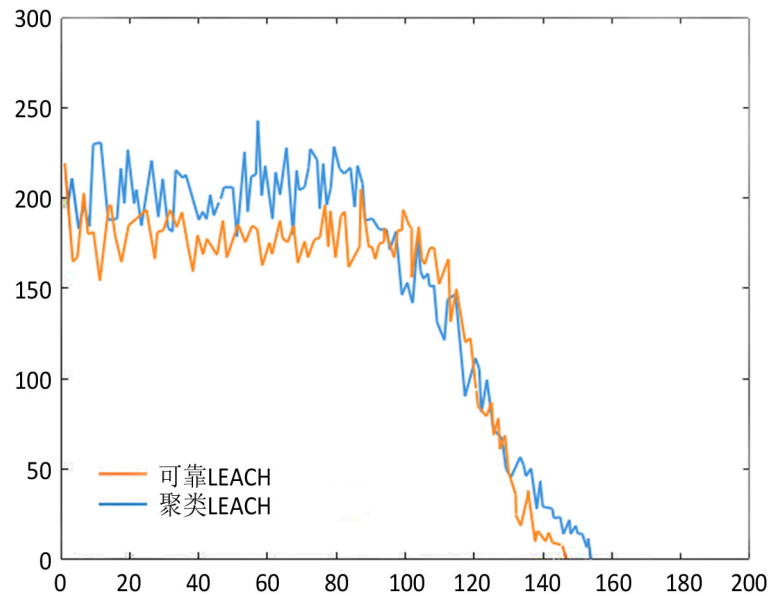


Figure 3. Statistical comparison of packet loss

图3. 丢包数量统计对比图

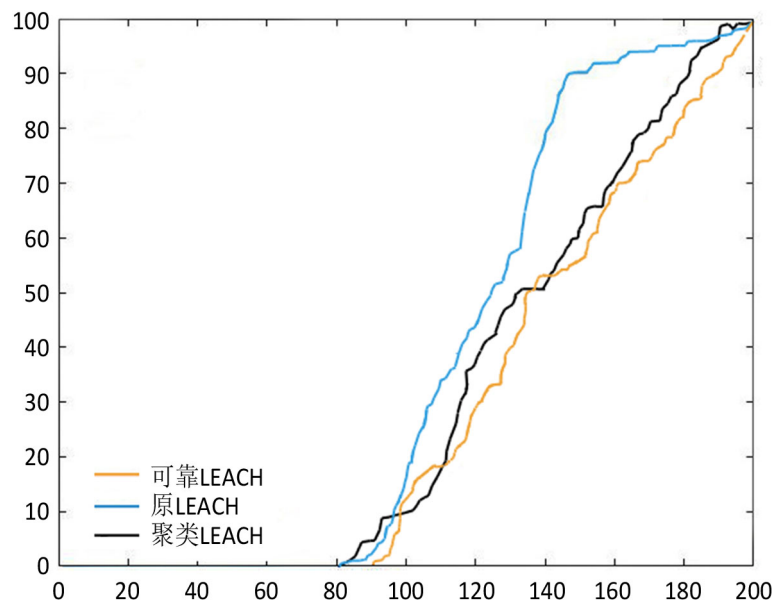


Figure 4. Round of node exit

图4. 节点退出轮数

下结论：在相同样本空间条件下，聚类 LEACH 协议丢包数量大于可靠 LEACH 协议丢包数量。

图4为200轮中节点退出过程示意图，横坐标为运行轮数，纵坐标为退出节点数目。由图分析可知，三条曲线在80轮附近开始有节点退出，可靠协议节点退出曲线总体在原LEACH协议节点退出曲线下方。聚类协议节点退出曲线与可靠协议曲线大体类似。在80~140轮过程中，可靠LEACH淘汰节点数为0.867个/轮，聚类LEACH淘汰节点数为0.898个/轮，原LEACH淘汰节点数为1.51个/轮。原LEACH节点退出速率最快，可靠协议及聚类协议均延缓了节点退出速度，大约以0.83个/轮的速度均匀退出。在200轮运行过程中，加入丢包率对每轮头节点的选择影响时，节点的生存周期明显高于原生选择机制。这与第

四组数据得出的结论是一致的。

通过多次试验证明, 丢包概率越大时, 节能效果越明显。综上所述, 基于丢包率设计的 LEACH 协议有明显的节能效果。

5. 结论

本文在不可靠的通信环境下对传统无线传感器网络中 LEACH 路由算法进行优化, 根据估计的节点可信度的参数, 改进了每轮子节点选择头结点的机制。仿真结果表明, 该算法在丢包率较高的环境中能够大幅减少各节点能量消耗, 使整个网络节点数据传输成功率提升, 从而减少节点因重发数据而消耗的能量, 以达到提高网络生存周期的目的。

基金项目

本文受基于链路可靠性的 WSN 的簇头选择策略项目(X20170431)、复杂电磁环境下高稳健 Large Scale 信号检测技术研究项目(BK20170512)、高动态环境下稳健信号检测技术研究项目(17KJB413003)、复杂电磁环境下的信号检测技术研究项目(2016CXJ025)的资助。

参考文献

- [1] Heinzelman, W.B., Chandrakasan, A.P. and Balakrishnan, H. (2002) An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **1**, 660-670. <https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804190>
- [2] 任智, 姚玉坤, 曹建玲. 无线自组织网络路由协议及应用[M]. 南京: 电子工业出版社, 2015.
- [3] 陈小平. 无线传感器网络原理及应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2017.
- [4] 陈志泊, 徐孝成. 一种改进的基于跳数的无线传感器网络路由算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(4): 83-85.
- [5] 张伟. 无线传感器网络 LEACH 协议的研究与改进[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海应用技术大学, 2017.
- [6] 王丽红, 于光华, 刘平. 无线传感器网络 LEACH 算法的改进研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2018, 34(2): 18-22.
- [7] 陈辉, 巨永锋. 基于能量均衡的 Ad-hoc 网络拓扑控制技术[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(5): 1-3.
- [8] 刘少伟, 罗丹彦. 能量均衡的无线传感器网络拓扑控制算法[J]. 电子科技大学学报, 2010(39): 89-94.
- [9] 战立岸, 易运晖. 基于链路丢包率和覆盖率的无线传感器网络分簇协议研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2014(26): 51-56.
- [10] Bajaber, F. and Awan, I. (2008) Dynamic/Static Clustering Protocol for Wireless Sensor Network. *2nd UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation (EMS'08)*, Liverpool, 8-10 September 2008, 524-529. <https://doi.org/10.1109/EMS.2008.22>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org