

# A Routing Protocol of Wireless Sensor Networks Based on K-Center

Bowen Huang, Bin Wang, Jie Ding, Rui Gao

Information Engineering College, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu  
Email: 471502489@qq.com

Received: Feb. 12<sup>th</sup>, 2019; accepted: Feb. 25<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 4<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

WSN clustering routing protocol has the advantage of good scalability, and is suitable for large-scale applications. As cluster heads are heavy-loaded, their distribution has a great impact on network performance. For randomized clustering algorithm, it is difficult to control cluster heads' distribution and distance between nodes and cluster heads. Unbalanced energy consumption leads to unavailable nodes and shortens network life cycle. In view of cluster heads selection problem, this paper presents a cluster head selection scheme based on the K-center, which controls distance between nodes and cluster heads approximate optimally. K-center algorithm takes as input a parameter K. We use the cluster head rotation mechanism to generate a K value. The final simulation result shows that the proposed WSN routing protocol based on K-center can effectively extend network life cycle.

## Keywords

Wireless Sensor Network, Routing Protocol, Clustering Structure, K-Center, Approximation Algorithm

---

# 基于K中心的无线传感器网络路由协议

黄博文, 王斌, 丁杰, 高锐

扬州大学信息工程学院, 江苏 扬州  
Email: 471502489@qq.com

收稿日期: 2019年2月12日; 录用日期: 2019年2月25日; 发布日期: 2019年3月4日

---

## 摘要

WSN分簇路由协议具有可扩展的特点, 适合于大规模的WSN应用。由于簇首负担较重, 簇首分布是影响无线传感器网络性能的关键因素。在随机型的簇首选择算法中, 簇首的分布和簇内节点到簇首的距离难

以有效控制,不平衡的能耗导致节点过早退出,缩短网络的生命周期。针对簇首的优化选择问题,本文通过K中心的近似算法来挑选簇头,使簇内节点到簇首的距离接近最优。K中心的算法运行时需要一个K值,本文借鉴LEACH协议动态轮转簇头的思路,实现了K中心数量自适应的动态生成。仿真结果表明提出的基于K中心的传感器网络路由协议能有效地延长网络的生命周期。

## 关键词

无线传感器网络, 路由协议, 分簇结构, K中心, 近似算法

Copyright © 2019 by author(s) 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. 概述

无线传感器网络是由大量传感器节点组成的一种分布式无线自组织网络。为了完成指定的任务,传感器节点需要将监测的数据传送给汇聚节点。由于传感器节点通信能力有限,无线传感器网络中的大多数传感器节点需要通过中间节点采用多跳的方式向汇聚节点进行转发。因此路由成为无线传感器网络中一个关键因素,能否在传感器节点和汇聚节点之间建立高效的传输路径,对无线传感器网络的性能将产生很大的影响[1] [2] [3] [4]。

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)协议[5]是一种低功耗自适应分层路由协议。该协议的基本思想是将网络划分成多个簇,簇内的成员节点将所采集的数据发送给簇头,簇头对接收到的数据进行融合处理后,再将数据直接发送给汇聚节点。

尽管 LEACH 可以改善节点的能耗,但仍存在一些问题。例如: 1) 由于每个节点按一定概率成为簇头, LEACH 不能保证簇头的数量以及簇头的分布均衡; 2) 普通节点和簇头之间,簇头与基站之间的通信距离有时仍然过长,导致节点能耗较大。三层 LEACH 路由协议[6]是在 LEACH 协议的基础上发展而来的。该方案利用多级传输来控制节点之间的通信距离,通过减少节点间的通信距离节省功耗,延长网络的寿命。基于非均匀分簇的节点能量优化方面的工作还有文献[7] [8] [9]。

不同于 LEACH 协议的分簇模式, PEGASIS 协议[10]将网络中的所有节点组成一个“链”。该协议要求每个节点都可以获取其他节点的位置信息,并且每个节点仅与距离自己最近的节点通信,采取点到点的方式进行数据传输,使得数据从链头传到链尾(即基站)。

尽管和 LEACH 协议相比,使用 PEGASIS 的 WSN 网络的生命周期更长,但 PEGASIS 协议也有一些缺点。例如: 1) 网络拓扑变化时,必须重建一个新链,这将导致大量的能量消耗; 2) 远离链头的那些节点的数据将通过链多次转发到达链头,这将导致高时间延迟。

如上所述:簇头的优化选择和减少节点间的通信距离是 WSN 路由设计中需要解决的关键问题。本文基于 K 中心算法[11]设计了簇头选取的算法,使簇内节点到簇首的距离接近最优。然而已有的 K 中心算法运行时需要固定的 K 值作为运行参数,本文借鉴 LEACH 协议动态轮转簇头的思路,自适应地生成每轮的 K 值,控制每轮的 K 中心数量。仿真结果表明,和 LEACH 协议、PEGASIS 协议相比,提出的基于 K 中心的传感器网络路由协议能有效地延长网络的生命周期,以及平衡网络中节点的能耗。

## 2. 背景知识

K 中心算法是一种典型的聚类算法。K 中心算法要求从  $n$  个节点构成的集合  $V$  中选取  $K$  个中心点,

其余节点按欧氏距离的度量关联到离自己最近的中心点[11]。令  $S$  为  $K$  个中心点构成的集合，一个非中心的普通节点  $i \in V/S$  到  $S$  的距离定义为  $d(i, S) = \min_{j \in S} d(i, j)$ 。该算法的目标是使  $\max_{i \in V} d(i, S)$  达到最小，这被证明是一个 NP-hard 的问题，在文献[11]中讨论了该问题的一个近似比为 2 的近似算法。

### 3. 基于 $K$ 中心簇头的选举

由于 LEACH 簇头选取具有随机性，导致在数据传输的过程中，不可避免出现节点能耗分布不均衡，而在每轮根据节点的位置、剩余能量选取最佳的簇头分布是一个计算困难的问题。而 PAGASIS 存在链尾节点转发延迟过大的问题。

由于  $K$  中心选取问题考虑了极小化小内部节点到中心节点集的最大距离，本文基于  $K$  中心选取问题设计了 WSN 的簇头选取算法，以控制簇内节点到簇头的距离并节约能耗。把簇头视为待选取的中心节点。已有的  $K$  中心算法运行时需要固定的  $K$  值作为运行参数，这里的难点是如何选择合适的且动态变化的  $K$  值。本文根据 LEACH 对当选簇头的计数算法，生成一个二项分布的随机变量，实现可随网络运行，在每轮动态变化的  $K$  值。

#### 3.1. 计算簇头选取的参数 $K$

设传感器网络监测区域  $L$  大小为  $N \times N$  平方米的正方形，均匀随机分布  $n$  个传感器节点，用  $V$  代表所有传感器节点组成的集合。整个网络的运行过程分为若干个周期  $T_1, \dots, T_i, \dots$ ，每个周期  $T_i$  又分为  $t$  轮  $T_i[1], \dots, T_i[t]$ 。在每轮簇头选取阶段，用变量  $K$  代表待选取的中心节点数。LEACH 对当选簇头的计数的思路被借鉴用来生成随机变量  $K$ ， $0 \leq p \leq 1$  为对应的系统概率参数。

在每个周期  $T_i$  的第一轮  $T_i[1]$  的开始时刻，所有节点的  $G$  标志置为 0。节点的  $G$  标志置为 1 表示该节点本周起内某轮当选过中心节点。

在每个周期  $T_i$  的第  $j$  轮  $T_i[j]$  的开始时刻，用  $N_j$  表示此时所有  $G$  标志被置为 0 的节点数量。定义一个二项随机变量  $B[N_j, p_j]$ ，概率  $p_j$  按 LEACH 协议的方式定义为：

$$p_j = \frac{p}{1 - p * \text{mod}(j, [1/p])} \quad (1)$$

$K$  取  $B[N_j, p_j]$  在当前的随机实验所得的结果。

#### 3.2. 生成中心节点集

$K$  的值给定后，在每个周期  $T_i$  的第  $j$  轮  $T_i[j]$  根据已有  $K$  中心选取问题的近似算法(近似比为 2) [11] 以  $K$  为参数设计了 WSN 的中心节点选取算法：

1) 给定参数  $K$ ，用集合  $S$  来保存簇头， $S$  初始化为空集， $V$  初始化为当前  $G$  标志置为 0 的传感器节点集。节点  $i \in V$  到集合  $S$  的距离定义为  $d(i, S) = \min_{j \in S} d(i, j)$ ， $d(i, j)$  为二维空间两点间的欧式空间距离。

2) 随机选择一个点  $i \in V$ ， $S = S \cup \{i\}$ ， $V = V \setminus \{i\}$

将节点  $i$  加入集合  $S$ ，从集合  $V$  中去除节点  $i$ 。

3) While  $|S| < K$

$$k = \arg \max_{j \in V} d(j, S)$$

注：选取节点  $k$  为离当前集合  $S$  距离最远的非中心节点；

$$S = S \cup \{k\}, V = V \setminus \{k\}$$

end

集合  $S$  中所有新当选的中心节点  $G$  标志置为 1。

### 3.3. 关联簇头和数据转发

在生成了中心节点集合  $S$  后，普通节点按欧氏距离的度量关联到离自己最近的中心节点形成分簇结构。在数据向基站转发时，每个普通节点把数据转发到自己关联的中心节点，中心节点则把数据转发到基站。

## 4. 性能分析

### 4.1. 方案参数设置

本文在 matlab 平台上进行仿真实验， $n = 100$  个同构的传感器节点随机分布在一个(0,0)至(100,100)的网络区域内，移动基站初始位置位于网络区域中心，坐标位置为(50,50)，节点的初始能量均为 0.5 J。生成簇头的概率参数  $p = 0.1$ 。具体能量参数设置如表 1 所示。

**Table 1.** Scheme parameter settings

**表 1.** 方案参数设置

参数	数值
部署区域	$100 \times 100 \text{ m}^2$
节点的初始能量	0.5 J
Eelec	50nJ/bit
EDA	5nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>

### 4.2. 能耗对比

图 1 展示了 K-Center 协议在第 3000 轮时所有传感器节点的能耗情况。由图 1 可知，在同一网络分布的条件下：

在第 3000 轮时，LEACH 协议中的所有传感器节点剩余能量的最小值为 0.2249，最大值为 0.3583，极差为 0.1334，平均值为 0.2957，标准差为 0.02822；

PEGASIS 协议中的所有传感器节点剩余能量的最小值为 0.2335，最大值为 0.3643，极差为 0.1309，平均值为 0.2955，标准差为 0.03029；

K-Center 协议中的所有传感器节点剩余能量的最小值为 0.2805，最大值为 0.3106，极差为 0.0301，平均值为 0.2925，标准差为 0.02801。

分析可知，K-Center 协议相比 LEACH 和 PEGASIS 协议，传感器节点的能量消耗较少且更加平均稳定，有利于网络的长久运行。

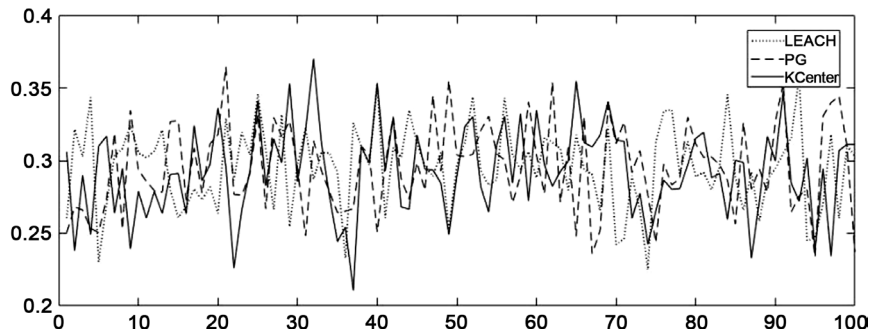


Figure 1. Energy consumption comparison diagram

图 1. 能耗对比图

### 4.3. 轮数对比

图 2 展示了 K-Center 协议的网络运行生命周期对比图。由图 2 可知，在同一网络分布的条件下：

LEACH 协议的第一个退出节点轮数为 1022, PEGASIS 协议的第一个退出节点轮数为 1057, K-Center 协议的第一个退出节点轮数为 1140, K-Center 协议相比 PEGASIS 协议的生命周期延长了 7.85%;

LEACH 协议的最后一个退出节点轮数为 1487, PEGASIS 协议的最后一个退出节点轮数为 1371, K-Center 协议的最后一个退出节点轮数为 3000, K-Center 协议相比 LEACH 协议晚 100.02%, K-Center 协议相比 PEGASIS 协议晚 118.81%。

分析可知，相比 LEACH 和 PEGASIS 协议，K-Center 协议的第一个退出节点轮数和最后一个退出节点轮数都要好于 LEACH 和 PEGASIS 协议。因此，网络的生命周期得以延长。

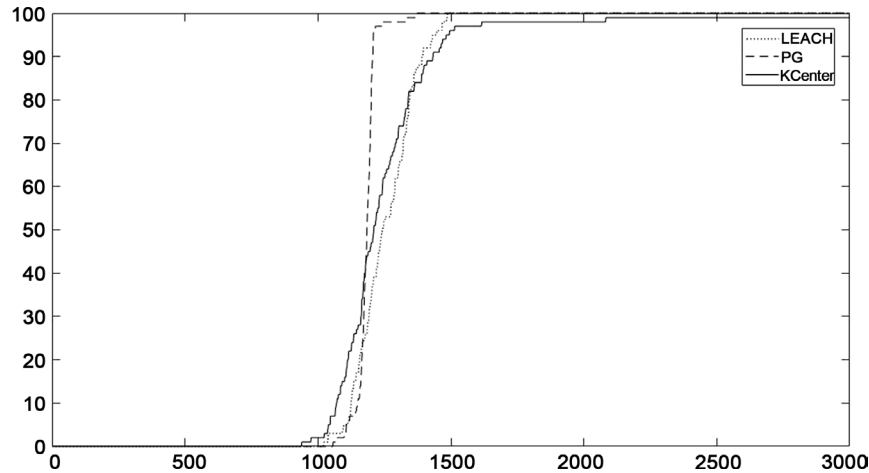


Figure 2. Number of rounds for comparison

图 2. 轮数对比图

## 5. 结论

本文分析了三种经典的 WSN 路由协议 LEACH、三层 LEACH 和 PEGASIS 中使用的降低能耗的方法及优缺点。由于 K 中心选取问题考虑了极小化小内部节点到中心节点集的最大距离，本文基于 K 中心选取问题设计了 WSN 的簇头选取算法，以控制簇内节点到簇头的距离。本文根据 LEACH 对当选簇头的计数算法，生成在每轮自适应变化的 K 值。仿真结果表明，和 LEACH 协议、PEGASIS 协议相比，提出的基于 K 中心的传感器网络路由协议能有效地延长网络的生命周期，以及平衡网络中节点的能耗。

## 基金项目

国家自然科学基金(61472343), 江苏省自然科学基金项目(BK20170512), 江苏省高校自然科学基金项目(17KJB413003), 扬州市自然科学基金项目(YZ2016113)项目。

## 参考文献

- [1] Al-Karaki, J.N. and Kamal, A.E. (2014) Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey. *IEEE Wireless Communications*, **11**, 6-28. <https://doi.org/10.1109/MWC.2004.1368893>
- [2] 张婧. 无线传感器网络能耗平衡策略研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [3] 罗小元, 李昊, 王金然, 关新平. 无线传感器网络拓扑三级分簇优化算法[J]. 控制与决策, 2016, 31(6): 1099-1104.
- [4] Johnson, D.B., Maltz, D.A. and Broch, J. (2016) DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks. In: Pekins, C.E., Ed., *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, Boston, 139-172.
- [5] 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>
- [6] Deng, Z.X. and Qi, B.S. (2016) Three-Layered Routing Protocol for WSN Based on LEACH Algorithm. *IEEE Internet of Things Journal*, **3**, 780-960.
- [7] 常雪琴, 张道华. 一种新的无线传感器网络非均匀分簇算法[J]. 吉林大学学报, 2016, 54(6): 1388-1394.
- [8] 李栋. 无线传感器网络中能量优化与安全方案研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [9] 王白婷, 周占颖. 能耗均衡的非均匀分簇多跳路由协议[J]. 吉林大学学报, 2016, 34(2): 174-181.
- [10] Lindsey, S. and Raghavendra, C.S. (2003) PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems. *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, 9-16 March 2002, 1125-1130.
- [11] Williamson, D.P. and Shmoys, D.B. (2016) *The Design of Approximation Algorithms*. Cambridge University Press, Cambridge, 37-39.

### 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](mailto:csa@hanspub.org)