

# 一种基于 LEACH 协议的分簇路由算法

牛小娇, 吕程林

(山东大学威海分校 机电与信息工程学院, 山东 威海 264209)

**摘 要:** 低能自适应聚类路由协议(LEACH 协议)是为无线传感器网络设计的一种低功耗自适应分层路由协议,具有延长网络生命时间的作用。为了均衡无线传感器网络节点的能耗,延长整个网络的生命周期,通过对 LEACH 协议的研究,对簇首的选取和簇首与 Sink 的通信机制进行优化,提出了一种改进的 LEACH 协议的分簇路由算法。通过 Matlab 仿真实验证明,改进后的 LEACH 算法在网络生命周期和网络能量消耗等方面比 LEACH 算法有较大的提高。

**关键词:** 无线传感器网络;路由协议;LEACH;网络能耗

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)07-0013-03

## A Clustering Routing Algorithm Based on LEACH

NIU Xiao-jiao, LÜ Cheng-lin

(School of Mechanical & Electronic Engineering, Shandong University at Weihai, Weihai 264209, China)

**Abstract:** The LEACH protocol is a low-energy adaptive clustering hierarchy protocol designed for the wireless sensor networks, which can prolong the network lifetime. Based on the research of the LEACH protocol, improves the cluster head selection and the communication mechanism between cluster head and sink to balance energy consumption of wireless sensor networks and prolong the network lifetime. Results of the simulation experiment using Matlab show that the network life-cycle and network energy consumption of the modified LEACH algorithm have been greatly improved than the LEACH algorithm.

**Key words:** wireless sensor networks; routing protocols; LEACH; network energy consumption

## 0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)<sup>[1]</sup>技术被认为是 21 世纪中能够对信息技术、经济和社会进步发挥重要作用的技术。它是由多个节点组成的面向任务的无线自组织网络。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等,被广泛用于环境监测、工业控制、生物医疗以及国防军事等领域<sup>[2]</sup>。

在多数情况下,传感器网络中的节点都是由电池供电,电池容量非常有限,并且对于有成千上万节点的无线传感器网络来说,更换电池非常困难,甚至是不可能的,但是却要求无线传感器网络生存时间长达几年甚至数十年。如果网络中的节点因为能量耗尽而不能工作,会带来网络拓扑结构的改变以及路由的重新建立等问题,甚至可能使得网络分成不连通的部分,造成通信的中断。因此,如何在不影响功能的前提下,尽可能地节约无线传感器网络的电池能量成为无线传感器

网络软硬件设计中的核心问题。目前,国内外科研人员设计出了多种面向 WSN 的路由协议<sup>[3]</sup>,分类方法也不尽相同,但是还没有一种方法能够适用于所有的 WSN。LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)协议<sup>[4]</sup>是最早提出的分簇路由协议。它的基本思想是:通过等概率的随机循环选择簇头,将整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点,从而达到降低网络能量耗费、延长网络生命时间的目的<sup>[5]</sup>。但是,LEACH 协议没有考虑到被选举为簇头节点的能量情况和簇头的分布,以及簇头与 Sink 单跳通信的能量消耗情况。文中在深入了解 LEACH 协议的基础上提出对 LEACH 协议的改进算法,主要目的是降低网络能耗,延长网络生命周期。

## 1 LEACH 算法的描述

LEACH 定义了“轮”的概念<sup>[6]</sup>,每一轮分为分簇阶段和稳定阶段。分簇阶段和稳定阶段所持续时间的总和称为一轮。在分簇阶段,无线传感器网络的各节点产生一个 0~1 之间的随机数,如果这个随机数小于该“轮”所设定的阈值  $T(n)$ ,且该节点在前  $1/p$  ( $p$  为节点成为簇首的比例)轮内未担任过簇首,那么该节点

收稿日期:2010-12-12;修回日期:2011-03-13

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2008E17)

作者简介:牛小娇(1985-),女,辽宁辽阳人,硕士,研究方向为现代检测技术。

就成为簇首。阈值  $T(n)$  的计算公式<sup>[7]</sup>如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times (r \bmod 1/p)} & (n \in G) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $p$  为成为簇首的期望百分比;  $r$  为当前轮数;  $G$  为在最后  $1/p$  轮中还没有成为过簇首的节点集。

当节点成为簇首后, 就向全网的传感器节点广播其成为簇首的消息, 其他节点接收到簇首消息后, 根据信号强度来选择它要加入的簇, 并通知相应的簇首。簇首对加入自己所在簇的传感器节点分配 TDMA 时隙, 分簇阶段完成。

在稳定阶段, 簇内成员节点按照该簇簇首事先分配的 TDMA 时隙向簇首节点传输数据, 簇首节点将收到的数据进行融合处理后再以单跳的方式将数据传送给 Sink。

但是, LEACH 算法存在以下一些问题:

(1) LEACH 算法中, 簇首选择是随机的, 没有考虑节点的剩余能量, 如果剩余能量很小仍然被选为簇首, 则会导致该节点的过早死亡, 会降低网络生存时间。

(2) 由于簇首与 Sink 间的通信是单跳的, 所以距离 Sink 较远的簇首会消耗更多的能量, 导致簇头之间消耗能量不均衡<sup>[8]</sup>。

(3) 簇首分布不均匀。

(4) LEACH 算法不适合在较大规模的无线传感器网络中应用。

## 2 LEACH 算法的改进

假设  $N$  个传感器节点随机均匀分布在  $M * M$  的正方形区域中, 应用场景为周期性的数据采集, 并具有如下性质:

(1) 汇聚节点在正方形区域的外侧且位置不发生移动。传感器节点部署后也不发生移动。

(2) 所有节点初始能量相同且能量不能补充。节点能够通过计算得到自己的剩余能量, 节点均具备数据聚合能力。

(3) 传感器节点可以根据接收到汇聚节点信号的强弱计算出自己到汇聚节点的距离。

(4) 传感器节点可以根据接收方距离的远近调整发射功率以节省能量。

这里采用与文献[9]相同的无线传输能量消耗模型。节点传输 kbit 信息时能耗为:

$$E_{tx}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_f d^2 & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{mp} d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $d_0 = \sqrt{\epsilon_f / \epsilon_{mp}}$ 。设定一个距离值  $d_0$ , 当传输距离  $< d_0$  时, 能量消耗与距离的二次方成正比; 当传输距离  $\geq d_0$  时, 能量消耗与距离的四次方成正比。

节点接收 kbit 信息时的能耗为:

$$E_{rx}(k) = kE_{elec} \quad (3)$$

其中,  $E_{elec}$  为驱动传感器或接收器所消耗的能量,  $\epsilon_f$  和  $\epsilon_{mp}$  为放大功率所消耗的能量, 在这里  $\epsilon_f = \epsilon_{mp}$ ,  $d$  为传输距离。

针对 LEACH 算法存在的以上问题, 文中对 (1)、(2) 两个问题进行了改进。

### 2.1 对簇首选择的改进

因为传统的 LEACH 算法只考虑了节点在当前轮有没有担任过簇首, 而没有考虑其剩余能量, 因此在文中, 把节点的剩余能量考虑进去, 假设节点的初始能量为  $E_0$ , 当前的剩余能量为  $E_{node}$ , 节点产生的随机数为  $\mu_0$ , 则对随机数进行调整如下:

$$\mu = \mu_0 \frac{E_0}{E_{node}} \quad (4)$$

这样, 剩余能量越多的节点产生的随机数调整后越小, 则越有可能小于当轮的阈值  $T(n)$ , 越有可能成为簇首。

### 2.2 对簇间路由的改进

簇首负责收集簇内成员节点发送来的数据, 并将数据融合后传送给 Sink。传统的 LEACH 算法是采用单跳的方式, 即所有簇首直接与 Sink 节点通信, 这样距离 Sink 较远的簇首会消耗较多的能量, 造成传感器网络节点能耗不均<sup>[10]</sup>。因此, 文中采用单跳和多跳混合的方式将簇首数据传输给 Sink。假设  $P_i$  和  $P_j$  为两个簇首, 若:

- (1)  $P_i$  到 Sink 的距离大于  $P_j$  到 Sink 的距离;
- (2)  $P_i$  到  $P_j$  的距离小于  $P_i$  到 Sink 的距离;
- (3)  $P_j$  的剩余能量大于等于三分之二  $P_i$  的剩余能量。

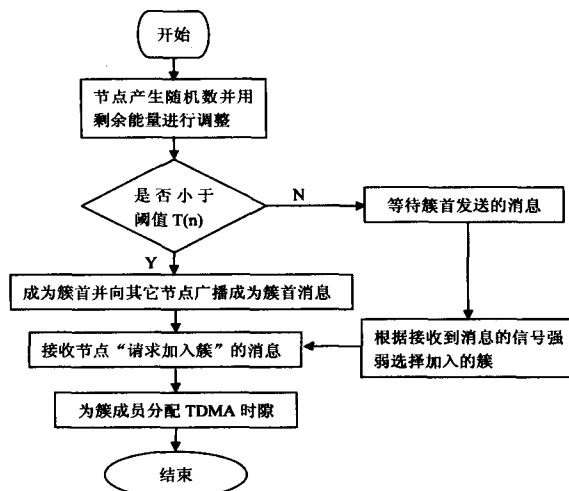


图 1 簇形成流程图

如果簇首  $P_i$  和  $P_j$  满足以上三个条件, 则  $P_j$  簇首成为  $P_i$  簇首的下一跳中间节点。改进算法流程图如图 1 所示。

无线传感器网络路由示意图如图 2 所示。簇内节点直接将采集到的数据传送给该簇簇首,而簇首向汇聚节点传输数据时,则综合考虑自身与汇聚节点位置远近及相邻簇首节点与汇聚节点距离以及其剩余能量等条件。图 2 示意图显示,A,B,C 三个簇首由于距离汇聚节点较远,所以寻找与其相邻的且符合上述改进条件的簇首作为其的下一跳节点。

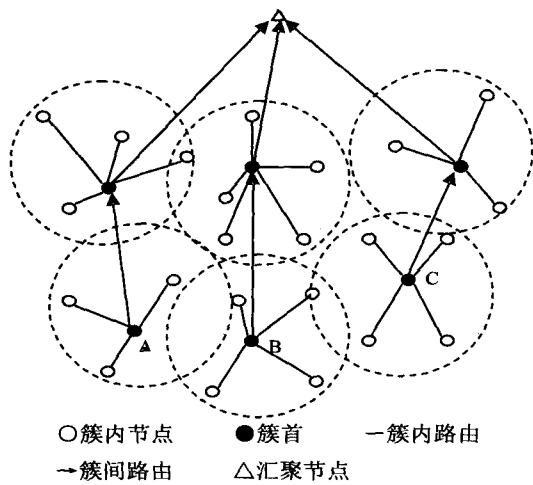


图 2 新算法路由示意图

3 仿真结果及性能分析

仿真实验使用 Matlab 对改进算法进行性能分析与评估,并与经典的 LEACH 算法进行比较。实验参数见表 1。实验结果见图 3、图 4。

通过图 4 可以看出,改进后的 LEACH 算法延长了

表 1 实验模拟参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
网络区域	100m * 100m	控制包长度	100bits
基站位置	(50,175)	$E_{elec}$	50nJ/bit
节点数 N	100	$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
初始能量	0.5J	$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>
数据包长度	4000bits	$E_{DA}$	5nJ/bit/signal

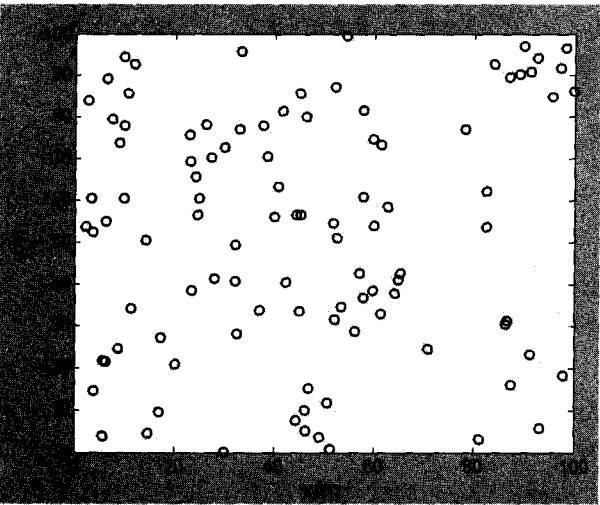


图 3 100 个节点的网络图

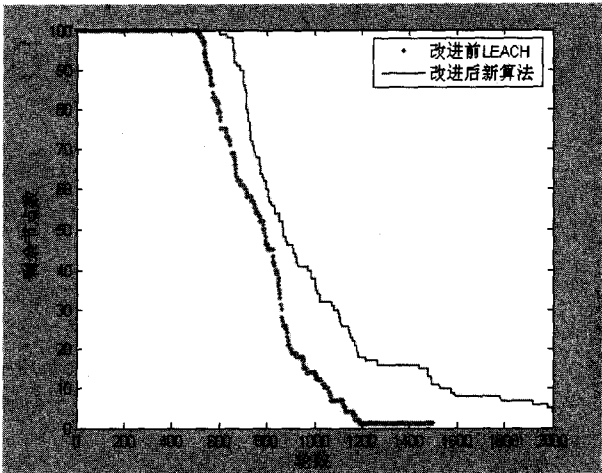


图 4 LEACH 算法改进前后生命周期比较

网络的生命周期,文中分别选择第一个节点死亡和一半节点死亡的轮数来衡量网络的性能,因为当网络中超过一半以上节点死亡时,网络的性能已经发生了改变。仿真结果见表 2。

表 2 第一个和一半节点死亡轮数数据

轮数	第一个节点死亡	一半节点死亡
改进前 LEACH 算法	521	823
改进后新算法	672	871

通过仿真数据可以看出,网络的生命周期提高了约 28%。由此可见,考虑了节点剩余能量的新算法有较好的性能。网络剩余平均能量见图 5。

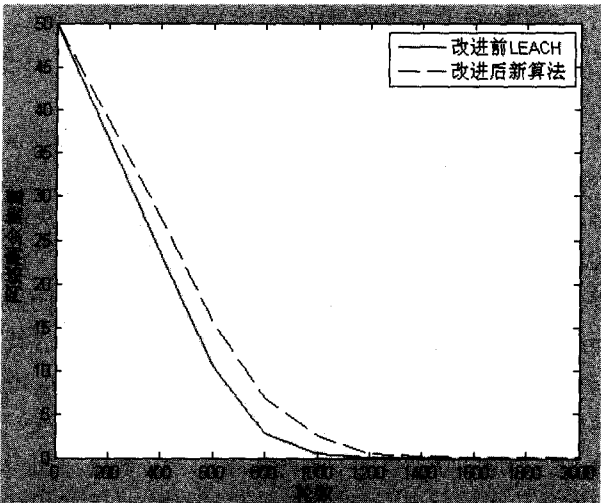


图 5 网络剩余平均能量

通过图 5 可以看出,改进后的新算法在相同轮数时消耗的网络平均能量比 LEACH 少,这是因为在簇首与 Sink 通信时考虑了簇首到节点的距离和簇首剩余能量等因素,有利于节点能耗均衡。

4 结束语

在对 LEACH 算法研究的基础上,提出了对簇首选  
(下转第 20 页)

变数据对象与角色的绑定关系之外没有改动其它代码。

上述案例利用 Qi4j 实现了一个基于 DCI 架构的简单应用。在本案例中运用 DCI 架构中的角色、数据对象、上下文场景及交互等概念实现了一个高可读性、高可维护性、易于改变的系統。

#### 4 结束语

DCI 是一种新的面向对象建模方法,通过 DCI 方法能在代码与用户的心智模型之间建立一种更强的映射,使程序能够符合用户的心智模型成为人类头脑的延伸。实现 DCI 架构需要程序设计语言的支持,但现有主流语言对于 DCI 架构的支持有限,基于 Java 的 Qi4j 是目前为数不多的支持 DCI 架构的框架,文中利用 Qi4j 按照 DCI 架构思想实现一个简单的案例,案例中的代码更加符合用户的心智模型,比传统的面向对象代码更容易扩展和更改。由此可见 DCI 架构能够更好地反映用户的心智模型,同时利用 Qi4j 可以实现 DCI 架构。但用 Qi4j 实现 DCI 架构代码量大,开发效率低。下一步将研究如何高效实现 DCI 架构及 DCI 建模方法与传统面向对象建模方法的融合。

#### 参考文献:

- [1] Kay A. A Personal Computer for Children of All Ages[J/OL]. 1972. <http://www.mprove.de/diplom/gui/Kay72a>.

(上接第 15 页)

择和簇首与 Sink 通信的新算法。新算法考虑了节点的剩余能量及簇首与 Sink 之间的距离,降低了节点能量过低仍被选为簇首的可能性和簇首因距离 Sink 较远仍单跳传输数据而消耗过多能量的可能性。通过 Matlab 仿真看到新算法取得了较好的效果,从而验证了该算法可以有效延长网络的生命周期,降低网络平均能耗,提高网络的性能。

#### 参考文献:

- [1] 张吉赞. WSN 中节点覆盖分层下的多路径路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(8): 87-91.
- [2] 洪利, 杨淑玲. 一种全局能量均衡的路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(2): 86-89.
- [3] Ian F, Akyildiz, Weilian S, et al. Asurvey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 40(8): 102-114.
- [4] 张源. 一种基于 LEACH 协议的节能型分簇路由算法[J]. 计算机与现代化, 2009, 172(12): 133-136.

pdf.

- [2] 李舟军, 王兵山. Smalltalk-80 的指称语义研究[J]. 软件学报, 1995(7): 385-390.
- [3] Reenskaug T, Coplien J O. DCI 架构: 面向对象编程的新构想(上)[J]. 程序员, 2009(6): 99-103.
- [4] Reenskaug T. The Model-View-Controller (MVC)[J/OL]. 2003-08. [http://heim.ifi.uio.no/~trygver/2003/javazone-jao0/MVC\\_pattern.pdf](http://heim.ifi.uio.no/~trygver/2003/javazone-jao0/MVC_pattern.pdf).
- [5] Reenskaug T, Coplien J O. The DCI Architecture: A New Vision of Object-Oriented Programming[J/OL]. 2009. [http://www.artima.com/articles/dci\\_vision.html](http://www.artima.com/articles/dci_vision.html).
- [6] Reenskaug T, Coplien J O. DCI 架构: 面向对象编程的新构想(下)[J]. 程序员, 2009(7): 82-86.
- [7] 朱海滨. 论面向对象与逻辑系统的结合[J]. 软件学报, 1992(4): 45-50.
- [8] Reenskaug T, Wold P, Lehne O. Working with Objects: The Ooram Software Engineering Method[M]. Greenwich: Manning Publications, 1996.
- [9] Öberg R, Hedhman N. Qi4j Framework [EB/OL]. 2010. <http://www.qi4j.org>.
- [10] Evans E. Domain-Driven Design-Tackling Complexity in the Heart of Software[M]. 赵俐, 盛海艳, 刘霞, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [11] 薛振伟, 吴志杰. 模型驱动的软件开发模式研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2): 24-26.
- [12] 唐祖锴, 彭智勇, 任毅, 等. 一种动态角色模型及其实现机制[J]. 软件学报, 2010(11): 2-16.

- [5] Fan Yiming, Yu Jianjun. The Communication Protocol for Wireless Sensor Network about LEACH[C]//Proceedings of 2007 International Conference on Computation Intelligence and Security Workshops. Mexico: [s. n.], 2001: 550-553.
- [6] 胡彧, 李微. 无线传感器网络分层路由协议能量有效性研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(35): 91-93.
- [7] 杨永雷, 朱军. 无线传感器网络中异步成簇算法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 145-147.
- [8] 张华忠, 刘志杰, 于鹏程. WSN 中负载均衡的 LEACH 通信协议研究[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(18): 4403-4406.
- [9] Wang Q H, Hossam H, Takahara G. Stochastic modeling of distributed, dynamic, randomized clustering protocols for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 2004 International Conference on Parallel Processing Workshops. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 456-463.
- [10] 张倩王, 邓成国, 陈庆春. 能量有效的无线传感器网络层次型路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(6): 92-95.