

引用格式:潘华,陈佳品,丁凯,等.一种基于多跳与按数据量-距离分发的LEACH协议优化[J].电光与控制,2018,25(11):89-92. PAN H, CHEN J P, DING K, et al. Optimization of LEACH protocol using multi-hop data distribution based on quantity and distance[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(11):89-92.

一种基于多跳与按数据量-距离分发的LEACH协议优化

潘华¹, 陈佳品¹, 丁凯², 林凤德¹

(1. 上海交通大学微纳电子学系, 上海 200240; 2. 近地面感知与探测重点实验室, 江苏 无锡 214000)

摘要: 军用领域的WSN系统由于部署环境特殊,其节点能量是决定整个系统寿命的关键,低能量自适应聚类路由协议(LEACH)是一种专为无线传感器网络设计的节能分层路由协议,具有延长传感器网络生命周期的作用。通过对簇头节点的选取进行研究,提出在簇头节点和普通节点之间进行双向选取,同时,针对节点数据分发过程,提出了一种综合考虑数据量和节点间距离的多跳数据分发方式,并从数学关系上证明此种分发方式更节能。最后,对整个协议进行Matlab仿真,从实践上证明了改进后的LEACH协议在节能方面有较大提高。

关键词: 无线传感器网络; 能量; 路由协议; LEACH; 数据分发

中图分类号: TN925 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.11.017

Optimization of LEACH Protocol Using Multi-hop Data Distribution Based on Quantity and Distance

PAN Hua¹, CHEN Jia-pin¹, DING Kai², LIN Feng-de¹

(1. Department of Micro/Nano Electronics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Science and Technology on Near-Surface Detection Laboratory, Wuxi 214000, China)

Abstract: Because of the special deployment environment of the WSN system in military field, the node energy is the key factor determining the life of the whole system. Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol is a specially designed energy saving hierarchical routing protocol for wireless sensor network, which can prolong the lifetime of the sensor network. By analyzing the selection of cluster head nodes, we proposed to select between the cluster head nodes and ordinary nodes. In view of the node data distribution process, we proposed a multi-hop data distribution mode with comprehensive consideration of the distance between nodes and the quantity of data, and proved mathematically that this distribution mode is more energy-efficient. Finally, Matlab simulation was made to the whole protocol, which proved practically that the improved LEACH protocol is more efficient on energy saving.

Key words: WSN; energy; routing protocol; LEACH; data distribution

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)^[1]是由多个节点组成的自组织网络。在军事、航天等领域有极为广泛的应用,本文的背景是基于一个智能雷场项目的雷场节点寿命研究。智能雷场是通过在一片雷场区域内的地雷上安装传感器节点,达到实时收集战场态势信息以及使地雷之间能够相互通信,最终

能够产生一种选择性智能爆炸的效果。而雷场节点指的就是安装了具有无线通信功能的传感器节点的地雷。由于在军事领域,传感器节点一般都是一次性部署而不进行维护,其寿命通常由电池能量决定,然而,WSN自身的特点决定了一旦某个节点由于能量耗尽而死亡,将会导致网络拓扑结构的变化,甚至可能导致通信中断等不可靠行为发生。如何最大限度地降低雷场节点的能量消耗,对延长整个雷场网络的寿命至关重要。在这种情况下,国外研究者提出了低能量自适应聚类路由(LEACH)协议^[2-3]——一种最早的分簇路由协议。本文在深入理解LEACH协议的基础上,结合以上几点因素,对LEACH协议进行改进,目的是得到一种更加节能的路由协议。

收稿日期:2017-12-14 修回日期:2017-12-28

基金项目:国家自然科学基金(51275285)

作者简介:潘华(1991—),男,湖北黄冈人,硕士生,研究方向为系统控制与信息处理。

1 LEACH 协议描述

LEACH 协议定义了“轮”的概念^[4],协议以轮为周期执行,每一轮的过程包括分簇和稳定两个阶段。在分簇阶段,WSN 各个节点随机生成一个 0~1 之间的数字,然后将该数字与一个设定的阈值公式得出的值进行比较,若该随机数小于阈值,并且该节点在前 $1/p$ (p 为当前轮中节点成为簇头的比例)轮内未当选为簇头节点,则该节点被选为本轮的簇头节点。其中,阈值的算式为^[5]

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

式中: p 为成为簇头的期望百分比; r 为当前轮数; mod 为取模符号; G 为在最后 $1/p$ 轮中还未成为簇头的节点集合。

当簇头选取完毕后,簇头向周围节点广播自身的簇头状态、ID 等信息,节点根据接收到的消息强度决定加入哪个簇,并告知相应的簇头,完成簇头的建立过程。然后,簇头节点采用 TDMA 的方式^[6],为簇内成员分配传送数据的时隙。

在稳定阶段,传感器节点价格采集的数据传送到簇头节点。簇头节点对采集的数据进行数据融合后再将信息以单跳方式传送到汇聚节点,按照不同的 CDMA 代码直接发送给基站。

但是,LEACH 协议存在以下问题^[7]:

1) LEACH 协议算法中,簇头的选取是随机的,而没有考虑到节点当前的能量,有可能剩余能量很小的节点仍然被选为簇头,导致该节点过早死亡,引发再组网等一系列问题,降低网络生存周期;

2) 簇头与基站之间直接单跳通信,当距离较远时,能量消耗成指数增长,造成簇头节点过早死亡,进而降低网络生命周期;

3) 簇头的选取无法保证节点在空间上均匀分布,在某些可能的情况下,形成的簇头节点可能聚集在某一个小范围内,导致某些节点无法加入任何簇。

2 改进后的 LEACH 协议

改进后的 LEACH 协议 (IMP-LEACH) 与 LEACH 算法有如下相同的网络模型^[8]。

1) 传感器节点随机分布在某一片方形区域,基站唯一;

2) 部署之后所有节点(包括基站)的位置不变;

3) 各个传感器节点的初始能量相同,且已知节点任何时刻的剩余能量,基站能量不受限。

在上面的模型中,文献[9]给出了几个定义:邻居节点、前邻节点、前簇头节点。

针对 LEACH 协议的诸多缺点,本文根据协议的几个过程,对每一个过程提出以下改进,整体算法步骤如下所述。

1) 在判断是否为簇头的过程中,加入节点当前能量这个考量因素,提出

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times r \times \text{mod}(1/p)} \left(\frac{E_{i\text{current}}}{E_{\text{avg}}} \right)^{1/\alpha} & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $E_{i\text{current}}$ 为节点 i 当前能量; E_{avg} 为系统节点当前平均能量; α 定义为能量距离因子,取值为 2 或 4,取决于节点间距离 d 。

2) 在簇头选取的过程中,不同簇头节点能量的不同会导致其通信距离的不同,同时,不同能量的簇头节点,其所能容纳的节点数也不同,在节点选择加入簇头的过程中,综合考虑以上两点,给出如下定义。

对于一个特定的节点 i ,其所能加入的簇头节点集合 C_H 需满足以下两个条件。

条件 1 满足

$$N(C_H) = \{C_H | C_H \in V, d(i, C_H) < R\} \quad (3)$$

式中, $d(i, C_H) < R$ 表示簇头 C_H 到节点 i 的距离在节点的通信半径之内; V 表示所有簇头节点的集合。

条件 2 在满足条件 1 的情况下,进行如下运算

$$E(i, n) = \frac{E_{C_{H_i}} - E_{\text{min}}}{n} \quad (4)$$

式中: $\{C_{H_i} | C_{H_i} \in C_H\}$; E_{min} 为使节点存活所需要的最小能量; $E_{C_{H_i}}$ 为簇头节点 i 当前剩余能量; n 为当前加入簇头节点 i 的节点个数; $E(i, n)$ 为当有 n 个节点加入簇头节点 i 时,每个节点所能分配的能量。通过计算可以得到一系列的 $E(i, n)$ 值,则当 $E(i, n)$ 取最大值时节点选择加入,至此,节点 i 的簇头选取过程结束。

3) 在数据传输阶段,有如下能量消耗模型^[10]:传感器节点能耗模型主要包括:感知消费、通信消费和数据处理消费,其中,通信能耗占主要部分,也是研究的对象。根据已知文献资料,簇头节点 i 发送 l 比特数据到距离 d 处的基站所需要消耗的能量为^[11]

$$E_{Tx}(l, d) = l \cdot E_{\text{elec}} + l \cdot \varepsilon_{\text{amp}} \cdot d^\alpha \quad (5)$$

式中: E_{elec} 为发射和接收电路的单位能量消耗; ε_{amp} 为传输放大电路的能量消耗; α 为多路径损失指数,当传输距离小于某一个阈值时,使用自由空间模型的功率放大损耗, α 取值为 2;当传输距离大于或等于阈值时,其值为 4,使用多径衰减模型进行功率放大损耗。

显然,当传输距离大于某一个阈值时,会导致能量消耗成指数增长,因此,本文在数据传输阶段的突破点

即为此,参考文献[9],并在其基础上进一步优化了数据分发规则,其基本思想是:利用簇头节点的邻接信息表,选择一个 C_H 作为另一个 C_H 的中继节点来传输数据。根据上面的能量公式,很容易证明采用转发中继模型能够取得更优的能量耗散效果,如文献[9]所采用的模型,基本思想为找到簇头 C_{H_0} 的前邻簇头节点,将数据按照下式进行转发

$$E_{Tx_0i} = \frac{d_i}{d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_m} \cdot l \cdot (E_{elec} + \varepsilon_{amp} \cdot d_i^2) \quad (6)$$

在此,本文认为:距离簇头节点越远的节点承担越少的数据转发任务是一种更加优化的选择。证明如下:首先,通过基站存储的节点位置信息,对 $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_m$ 进行排序,并假设距离由小到大排序结果为: $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_m$,在此条件下,提出改进后的数据分发公式为

$$E'_{Tx_0i} = \frac{d_i}{d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_m} \cdot l \cdot (E_{elec} + \varepsilon_{amp} \cdot d_{m+1-i}^2) \quad (7)$$

容易证明 m 的取值不会影响最终的结果,为简化证明,仅以 $m=3$ 来代表证明,过程如下。

当 $m=3$ 时

$$\sum_{i=1}^3 E'_{Tx_0i} = l \cdot E_{elec} + \frac{d_1 \cdot d_3^2 + d_2^3 + d_3 \cdot d_1^2}{d_1 + d_2 + d_3} \cdot l \cdot \varepsilon_{amp} \quad (8)$$

而

$$\sum_{i=1}^3 E_{Tx_0i} = l \cdot E_{elec} + \frac{d_1^3 + d_2^3 + d_3^3}{d_1 + d_2 + d_3} \cdot l \cdot \varepsilon_{amp} \quad (9)$$

两式相减,即

$$\sum_{i=1}^3 E'_{Tx_0i} - \sum_{i=1}^3 E_{Tx_0i} = \frac{d_1 \cdot d_3^2 + d_3 \cdot d_1^2 - d_1^3 - d_3^3}{d_1 + d_2 + d_3} \cdot l \cdot \varepsilon_{amp} \quad (10)$$

将 $d_1 \cdot d_3^2 + d_3 \cdot d_1^2 - d_1^3 - d_3^3$ 整理得: $-(d_1 + d_3) \cdot (d_1 - d_3)^2$,显然结果小于 0,即从数学上证明了采用改进后的数据分发方式消耗的能量一定会比改进前消耗的能量少。当然,该算法对基站的依赖较高,需要基站对节点位置信息进行处理,此种数据分发方式依赖于基站端特定的硬件条件及算法,本文在此不做深入探讨。

总结整个算法过程的要点有:

- 1) 考虑节点能量和距离因素,重新定义阈值公式;
- 2) 通过新阈值公式初步查找符合条件的簇头节点;
- 3) 簇头节点和普通节点之间双向选择过程,综合考虑节点通信范围和簇头节点当前能量;
- 4) 根据新的数据分发思想进行多跳数据传输。

3 仿真与分析

实验采用 Matlab 模拟运行改进后的算法,同时将仿真结果与经典 LEACH 算法进行比较。实验中用到

的参数如表 1 所示。

表 1 模型相关初始参数

Table 1 Initial parameters of the model

参数	参数值
网络空间大小/ $m \times m$	100 × 100
初始能量/J	0.5
电子能 $E_{elec}/(nJ \cdot bit^{-1})$	50
初始节点个数	400
自由空间模型 $\varepsilon_{fs}/(pJ \cdot bit^{-1} \cdot m^{-2})$	10
多路径模型 $\varepsilon_{amp}/(pJ \cdot bit^{-1} \cdot m^{-4})$	0.0013
单位长度数据量 l/bit	4000
循环次数	2000

存活节点个数比较与死亡节点比例比较分别如图 1、图 2 所示。

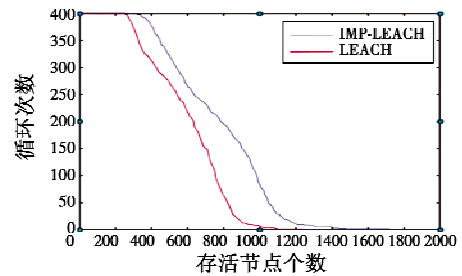


图 1 存活节点个数与循环次数关系

Fig. 1 Number of alive node vs number of cycles

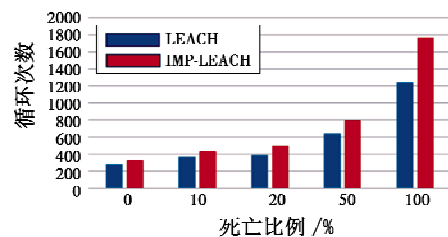


图 2 死亡节点比例与循环次数关系图

Fig. 2 Proportion of dead nodes vs number of cycles

从仿真结果可以得知,改进后的 LEACH 协议(IMP-LEACH)在相同循环次数下存活节点个数明显比改进之前的多,并且从横轴可以得知,原 LEACH 协议在大约 1239 次循环之后就再无存活节点了,而改进后这一数值提高到了 1768,说明改进后的协议能极大地延缓节点死亡时间;通过仿真结果导出的数据所制作的节点死亡比例与循环次数的关系图同样可以看出,改进后的协议在延长节点寿命方面有重大提升,尤其是进入传感器网络运行后期阶段,这种差异更加明显。

4 总结

本文在已有的相关 LEACH 协议基础上做了深入改进,在簇头选取的过程中增加考虑簇头节点当前能量及其簇内节点个数,综合考虑簇头与节点之间的选择,在数据传输阶段,采用新的多跳数据传输方式,并

从数学角度证明了新的数据传输方式更加节能。最后,通过对协议算法的仿真研究,得出了与预期一致的实验观点,证明了改进后的协议在延长 WSN 网络寿命方面确实有重大提升。

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] RAMANATHAN N, YARVIS M, CHHABRA J, et al. A stream-oriented power management protocol for low duty cycle sensor network applications[C]//IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors, Sydney;IEEE Press,2005;53-62.
- [3] AKKAYA K, YOUNIS M. Energy-aware delay-constrained routing in wireless sensor networks[J]. International Journal of Communication Systems,2004,17(6):663-687.
- [4] 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.
- [5] 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):145-147,151.
- [6] 周萌,陈跃东,陈孟元. 能耗最优的 LEACH 协议改进[J]. 计算机工程与应用,2014,50(23):82-86.
- [7] 牛小娇,吕程林. 一种基于 LEACH 协议的分簇路由算法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(7):13-15,20.
- [8] FAROOQ M O, DOCAR A B, SHAH C A, et al. MR-LEACH:multi-hop routing with low energy adaptive clustering hierarchy[C]//International Conference on Sensor Technologies and Applications,2010:262-268.
- [9] MAO L, ZHANG Y. An energy-efficient LEACH algorithm for wireless sensor networks[C]//Proceeding of the 36th Chinese Control Conference,2017;9005-9009.
- [10] MEHTA R, PANDEY A, KAPADIA P, et al. Reforming clusters using C-LEACH in wireless sensor networks[C]//International Conference on Computer Communication and Informatics,2012;1-4.
- [11] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2002,1(4):660-670.



内 容 简 介:

《光学和激光扫描技术手册(Handbook of Optical and Laser Scanning)》一书是以 Gerald F. Marshall 和 Glenn E. Stutz 先生为主编,汇集了该领域内英国、日本和美国 26 位国际专家,在《激光束扫描技术》(Laser Beam Scanning,1985)和《光学扫描技术》(Optical Scanning,1991)两本书基础上修订完成,首次完整而充分地反映了光学和激光扫描技术的现状和最新进展。

本书具有以下显著特点:第一,内容丰富,不仅有详尽的光学和激光扫描技术理论,而且给出许多扫描实例;第二,覆盖范围广,既介绍了常规的扫描技术(如单反射镜、转鼓),又阐述了一些利用诸如微纳米光学(微光机电系统)和全息光学的先进技术研发的光学和激光扫描装置;第三,充分反映光学和激光扫描技术领域的国际先进水平。

该书由四部分十六章、489 幅插图和 55 个表格,共 552 页组成。

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 第一章 激光束特性: M^2 模型 | 第八章 检流计(或振镜)扫描器和共振扫描器 |
| 第二章 激光扫描光学系统 | 第九章 摆动扫描器的挠性铰链 |
| 第三章 数字扫描成像系统的像质 | 第十章 全息条形码扫描器:应用、性能和设计 |
| 第四章 多面体反射镜扫描器:组件、性能和设计 | 第十一章 声光扫描器和调制器 |
| 第五章 高性能多面体反射镜扫描器的电动机和控制器(驱动器) | 第十二章 电光扫描器 |
| 第六章 旋转扫描器的轴承系统 | 第十三章 压电扫描器 |
| 第七章 物镜前多面体反射镜扫描技术 | 第十四章 光盘扫描技术 |
| | 第十五章 计算机制版(CTP)扫描系统 |
| | 第十六章 水下成像同步激光扫描器 |

本书可供光电子学领域、空间传感器及系统、遥感、热成像、军事成像、光通信领域从事光学和激光扫描器设计和制造、光电子仪器总体设计、光学系统和光机结构设计的工程师/设计师阅读,也可用作大专院校相关专业本科生、研究生和教师的参考书。本书由周海究、程云芳翻译,在此表示感谢!