

An Energy Efficient Algorithm Based on LEACH*

YANG Weiwei, LIU Runjie*, SHEN Jinyuan

(Information Engineering Institute of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: For energy constraints in wireless sensor networks, an energy efficient algorithm LEACH-EDM based on the LEACH was presented, in which nodes' residual energy and distance are considered at the same time for choosing cluster heads and an optimal multi-hops path from the cluster heads to the base node is found by hopfield algorithm. The simulation results show that the proposed algorithm can extend the survival time of the network about 50% compared with the LEACH and shorten the time lag between the death of the first and the last node in the 30 rounds. Therefore, the new algorithm has a better balanced load and utilization of energy.

Key words: wireless sensor networks; LEACH; residual energy; distance; multi-hops

EEACC: 7230

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2010.08.022

一种基于 LEACH 的高效节能协议*

杨伟伟, 刘润杰*, 申金媛

(郑州大学信息工程学院, 郑州 450001)

摘要: 针对无线传感器网络能量的限制, 提出了一种基于 LEACH 的高效节能算法 LEACH-EDM。新协议中簇首的选择同时考虑节点的剩余能量和簇首间距, 簇首与基站之间的路由采用 hopfield 算法寻找一个多跳最优路径。仿真实验结果表明: 与 LEACH 相比, 该算法能有效延长网络的生存时间约 50%, 并且使第一个节点与最后一个节点的死亡时间差缩短在 30 轮内; 因此该算法使负载更均衡, 提高了能量的利用率。

关键词: 无线传感器网络; LEACH; 剩余能量; 距离; 多跳

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)08-1153-05

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 是由廉价的、低功耗的且具备感应、无线通信以及信息处理能力的传感器节点共同组成的, 通过节点间的相互协作、将其监测和感应的多种信息传送到基站进行处理^[1]。无线传感器网络的随机部署、自组织、环境适应等特点使其在军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐和危险远程控制等许多领域都有重要的科研和实用价值。因此, 被认为是对 21 世纪产生巨大影响的技术之一^[2]。

传感器节点通常使用容量有限、不可更换的电源, 节点的计算、通信、存储能力也非常有限, 这就要求 WSN 路由协议必须以节约能源为主要目标, 最大限度地延长网络生存时间。

无线传感器网络的路由协议可以分成平面路由

协议和分簇路由协议两种。由于平面路由协议需要维持较大的路由表, 占据较多的存储空间, 因而并不适合在大规模网络中采用。分簇路由算法可以在一定程度上解决这个问题。文献[3] 比较了当前典型的分簇路由算法的特点和适用情况, 其中 LEACH^[4] 算法是比较成熟且常用的分簇路由算法。LEACH 算法通过周期性的随机选举簇头, 来均衡网络中的能耗, 但它没有充分考虑节点的剩余能量, 有节点传输能耗大、网络生存时间短、负载平衡程度低等缺陷; HEED^[5] 选举簇头时考虑了剩余能量, 但以主从关系引入了多个约束条件作用于簇头的选举过程, 提高了协议的复杂度; PEGASIS^[6] 根据节点的地理位置形成一条相邻节点之间距离最短的链, 并随机选择一个簇头与基站进行通信, 减少了数据通信量, 但它需要节点具备定位功能获取位置信息, 实际实现成本很高。

项目来源: 河南省创新人才培养对象资助

收稿日期: 2010-01-22

修改日期: 2010-03-12

LEACH-EE^[7]提出了基于LEACH的多跳路由协议,提高了节点能量的利用率。文献[8]提出了能够根据网络中剩余节点个数来确定最优簇数的分簇协议,协议能保证簇数目始终保持最优状态。尽管人们提出了多种较好的路由算法^[9-12],但随着无线传感器网络将进入人们生活的发展趋势,设计高效实用安全的路由算法已迫在眉睫。

本文在研究LEACH算法的基础上,针对LEACH算法中簇头分布不均和簇头负载过重的问题,提出了一种同时考虑节点剩余能量和簇头间距来选择簇首并且采用簇首多跳的算法进行簇首和基站间的通信, MATLAB仿真表明,该算法能明显提高负载均衡程度和网络生存时间。

1 LEACH 算法

LEACH算法使用自适应成簇技术和簇头节点的轮换技术,其操作是分轮进行的,每一轮包含簇建立和稳定运行两个阶段。

在簇建立阶段,将所有节点划分为若干簇,每个簇随机选举一个簇头。随机性有望使簇头节点与基站之间数据传输的高能耗成本比较均匀地分摊到所有的传感器节点。确定的簇首广播告知网络中其他所有节点,然后传感器节点向信号强度最大的簇首发送成为其成员的数据包,完成簇的建立。簇首收到成员节点的响应后,产生一个TDMA时隙表为每个成员节点分配向其传送数据的时间片。

簇形成后进入稳定运行阶段,簇头节点开始接收簇内各节点采集的数据并进行信息融合,最后将融合后的数据传输到基站。

在LEACH的路由算法中,能量模型采用第一顺序无线电能量模型(First Order Radio Model)。该模型对无线传感器网络做了如下的假设:

(1) 基站(Base Station)位置固定并且离网络中的传感器节点较远。

(2) 网络中所有传感器节点完全相同,并且能量有限。

(3) 无线电信号在各个方向上消耗的能量相同。

传感器节点发送1-bit所需能量:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} l(E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^2) & d < d_0 \\ l(E_{elec} + \varepsilon_{mp}d^4) & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

传感器节点接受1-bit字节所消耗的能量为:

$$E_{px}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

式中, l 是传送的数据包的大小, d 是传送的距离,

E_{elec} 为发送或接收电路功耗; $\varepsilon_{fs}d^2$ 和 $\varepsilon_{mp}d^4$ 为放大器功耗。 d_0 为距离门限,当传输距离小于该门限时采用自由空间信道模型,反之,采用多径衰落信道模型。

LEACH算法利用分簇能得到更佳的资源分配,有助于改进功率控制,是一个最优化能量使用效率的协议体,与平面路由算法相比,在寻找路由和数据传递过程中,消耗的能量少,建立路径的时间短,可以将网络整体生存时间延长15%。但LEACH也存在以下缺点:

(1) 簇首数目不确定 簇首的选取采用阈值判定的方法。对于一个节点 n 来说,为 n 随机选取一个0到1之间的随机数,如果随机数小于某一个阈值,那么这个节点就成为本轮的簇首。显然这样一个随机过程无法保证每轮有确定的簇首数目。

(2) 簇首分布不合理 LEACH算法让网络中的节点自组织地形成簇,并随机产生簇头,因此无法保证簇首的合理分布。当簇首位置比较集中时,簇的覆盖区域将部分重叠,网络拓扑结构不够优化;当簇头分布在边缘区域时,部分簇内节点到簇头的距离大,使得簇的载荷也相应变大。

(3) 能量损耗不平衡 由LEACH所采用的能量模型可知,不同的通信距离导致节点能量损耗不同,但LEACH算法忽略了被选簇头在网络内的分布状态以及节点间不同的通信距离,因此导致的节点能量损耗的不平衡。继续运行随机簇头选择策略,低能量级的节点可能被选为簇头,那么该节点可能由于过重的载荷而加速其能量的消耗,从而降低了网络的生存时间。

(4) 单跳路由选择 LEACH协议采用单跳路径选择模式,如果簇首离基站很远就会使簇头能量消耗很大而导致簇头节点过早的死亡。

显然,以上四个缺点都将导致节点负载不均衡,能量利用效率低,因而造成网络生存时间短。为了避免或减小以上缺点我们提出一种新的高效节能协议——LEACH-EDM(LEACH-Energy Distance Multi-hops)算法。

2 LEACH-EDM 算法及分析

新算法的提出主要是为了解决由簇首随机选择和单跳路径选择模式所带来的簇首节点过早死亡以致降低了网络生存时间的问题。我们分别针对上面提到的四个缺点进行研究改进。首先,LEACH-EDM采用固定簇首数目选择概率 $p = 5\%$,以保证每轮簇首的数目确定;其次,LEACH-EDM不仅考虑节点的剩余能量,同时考虑所选簇首之间的距离,以保证簇

首间距都在合理的范围内,避免簇首过于集中造成的不合理分布。再次,只有剩余能量大于平均能量的节点才有资格成为 LEACH-EDM 算法的簇首,可减少低剩余能量节点载荷。最后 LEACH-EDM 采用多跳路由选择,利用 Hopfield 算法在簇首间形成一条最佳路径通向基站,以保证簇首的能量消耗在最小的范围内。显然这些措施可以提高簇首选择和分布的合理性以及节点能量损耗的均衡性,因此可以提高节点能量的利用率和网络的生存时间。

改进的算法也是按轮进行运作,每轮依然由簇的建立和稳定传输两个阶段组成。

2.1 簇的建立

由于节点的初始能量都相等,所以第一轮簇首由基站根据节点位置直接指定。从第二轮开始,节点要把各自的剩余能量传递给基站,基站计算出平均能量。

(1) 高于平均能量的节点放入集合 A ,对 A 由大到小进行排序,即 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$;

(2) 能量最大的节点 A_1 是第一个簇首,存放在集合 B ;

(3) 建立集合 D , D 是簇可以均匀分配的簇首间距最佳范围。计算 A_2 与 A_1 的距离,并与集合 D 进行比较,若在集合 D 内,则 A_2 为簇首,存放到集合 B 。否则,为普通节点,计算下一个候选接点,继续判断,直到产生第二个簇首;

(4) 同理,在选择第 m ($m > 2$) 时,必须保证它与前 $m - 1$ 个簇首的距离都在 D 内;

(5) 选择的簇首个数达到规定数 k 时终止本轮的簇首选择过程。

通过以上算法,节点 $\{B_1, B_2, \dots, B_k\}$ 被选择作为簇首,基站向网内节点广播一个包含簇首 ID 组的消息。节点接收到消息后将自身 ID 与消息中的 ID 进行比较,如果相同,则该节点成为簇首。然后簇首发布通告消息,网络中的非簇首节点根据接收信息的信号强度决定其从属的簇,并通知相应的簇首,完成簇的建立。后簇首为每个簇内节点分配 TDMA 时间表。

2.2 稳定数据传输阶段

记录簇首和基站的坐标,放入矩阵 H_x 和 H_y 中,用 Hopfield 模型找到簇首和基站之间最佳的多跳路由路径。

程序流程

(1) 初始化:簇首和基站的总个数、簇首和基站坐标、网络参数;

(2) 用随机数初始化换位阵及状态阵;

(3) 对状态阵及换位阵,进行 1000 步同步更

新,得最终换位阵的解 V ;

(4) 判断所得 V 的合法性,若为合法解,给出访问次序,旅行路线图及路线总长度,程序结束;否则,转到第 2 步。

稳定阶段持续一段时间后,网络重新进入簇的建立阶段,进行下一轮的簇重构,不断循环。

3 仿真结果与分析

利用 MATLAB 进行仿真,实验中采用的参数值见表 1。当节点能量小于 E_{th} 时,即认为该节点死亡。定义第一个节点死亡时间为网络生存时间。表 2 是不同簇首比例下网络生存时间的对比,从表中可以看到在簇首比例为 5% 时,网络生存时间最大,故以下仿真中的簇首比例均为 5%。

表 1 仿真中使用的参数

Parameter	Value
Network size	(100 m × 100 m)
Sink position	(50 m, 175 m)
Node number	100
E_{init}	0.5 J
E_{elec}	50 nJ / bit
ϵ_{fs}	10 pJ / bit · m ⁻²
ϵ_{mp}	0.0013 pJ / bit · m ⁻⁴
E_{da}	5 nJ / bit · signal ⁻¹
Data packet size	4000 bit
m_{opt}	5
E_{th}	0.0001 J

表 2 不同簇首比例下网络的生存时间

簇首比例	3%	4%	5%	6%	7%
网络生存时间	571	937	1136	1017	743

簇首到基站传输采用单跳方式时,仿真结果如图 1 所示。图中 LEACH-D 表示簇首选择时只考虑距离因素,LEACH-E 表示簇首选择时只考虑剩余能量因素,LEACH-ED 则是同时考虑了剩余能量和距离因素。从图中可以看出,只考虑单个因素的情况下,网络的生存时间都有所延长,但是网络的负载平衡还不是很理想,主要是因为:只考虑距离时,能量小的节点可能被选择为簇首,因此导致一些节点过早死亡;而只考虑剩余能量的情况下,存在簇首分布不均的问题,当簇头节点位置比较集中时,簇的覆盖区域将出现部分重叠的现象,网络拓扑结构不够优化,当簇头分布在边缘区域时,簇内节点到簇头的距离将变大,使得簇的载荷也相应变大。因此,在簇首选择时我们考虑了剩余能量和距离

两个因素,从图 1 中可以看出,LEACH-ED 的确可以减小单独考虑一个因素时所带来的影响,有更好的负载平衡,延长了网络生存周期。

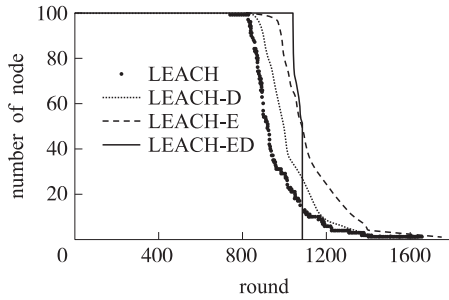


图 1 单跳路由时节点生存时间

图 2 表示簇首到基站采用多跳路由和单跳路由的比较结果。簇首的选择同时考虑了剩余能量和距离两个因素。在数据传输阶段,LEACH-EDM 在簇首间形成一个多跳的最佳路径通往基站,这样可以尽量保证簇首的每一跳都是最短距离,因而可采用自由空间信道模型,减少传输时的能耗,达到延长网络生存周期的目的。从图 2 中我们也可以看到 LEACH-EDM 的网络生存周期比 LEACH-ED 延长了大约 10%。

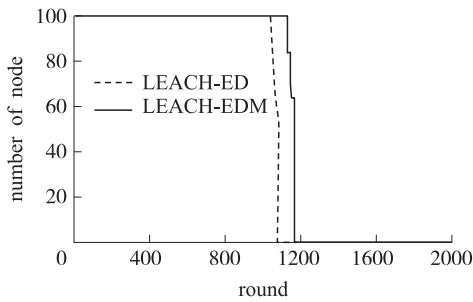


图 2 单跳与多跳的比较

图 3 表示多跳路由生存时间对比。LEACH-M 在数据传输过程中采用了多跳的机制。从图中可以看到本文所提协议比 LEACH 的生存周期提高了 50% 左右,比 LEACH-M 提高了 23% 左右,第一个节点与最后一个节点的死亡时间相差很小,在 30 轮内。

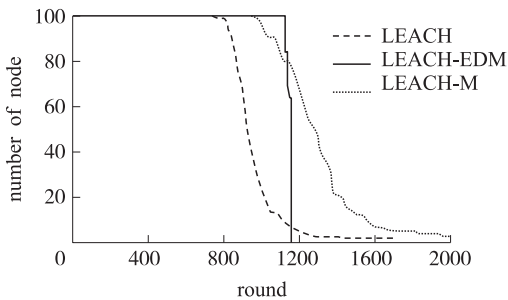


图 3 多跳路由生存时间对比

图 4 是第 500 轮各节点剩余能量与平均能量的差方的比较。从图 4 中可以看到 LEACH-EDM 各节

点的剩余能量与平均能量的差方变化相对很小,说明此协议通过相同轮次各节点的能量消耗相差较小,表明 LEACH-EDM 可以使网络的负载更加均衡,以到达节点几乎同时死亡的目的。

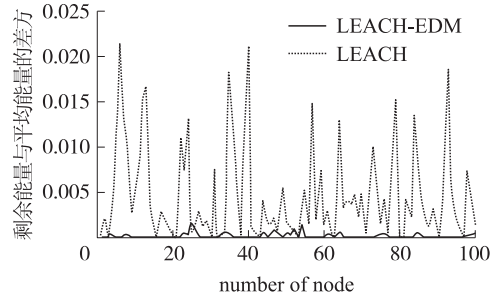


图 4 第 500 轮时各节点剩余能量与平均能量差方的比较

由能量消耗模型的公式(1)(2)可知,当传输距离小于该门限时消耗能量较小,所提算法 LEACH-EDM 在簇首的选择和簇首与基站间路由的选择都使得进行数据传输的节点间间距比较小。选择簇首时不仅考虑节点的剩余能量,而且同时考虑簇首之间的间距,这样不仅避免了簇族覆盖区重叠,而且使得簇内节点到簇首的间距不是很大,因此簇内节点和簇首间信息传输基本上采用能量损耗较小的自由空间信道模型。同样在簇首和基站数据传输过程中,多跳最佳路由的选择可以保证有信息传输的两个簇首间的距离 d 的取值较小,因而保证簇首节点间传输数据时采用自由空间信道模型,耗能低,可以有效的节省能量。

由于这两个选择方法使得有信息传输的节点间的距离差别相对比较小,而且在簇首的选择时考虑了剩余能量,所以剩余能量小的节点不会在后面的轮中被选为簇首,和簇首相比损耗的能量比较小,这样若干轮后,各节点的能量损耗比较均衡,因此可以达到平衡网络负载的目的。

平衡的网络负载和每轮小的节点能量损耗使得节点的生存时间变长且基本相同,这样可以使基站在较长的时间都能收集到较多的位置数据,因此可以使基站的分析更加准确有效。

4 结语

本文提出了基于 LEACH 协议的高效节能路由算法,由于同时考虑了剩余能量和簇间间距,使得簇分布更均匀,且使得能量消耗均衡的分布在各节点上,对簇首到基站的数据传输采用多跳算法,不仅节省了能量,同样使能量消耗更加均衡,因此所有节点的死亡时间非常接近,弥补了 LEACH 算法单跳的不足,延长了网络的寿命。

本文的算法中没有深入研究簇头最优个数的选

择,以及如何减低簇头的维护开销。这两个方面对网络的负载平衡也有很大的影响,需要今后展开更深一步的研究。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [2] 崔莉,鞠海玲,李天璞,等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展,2005,42(1):163-174.
- [3] 沈波,张世永,钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议. 软件学报,2006,17(7):1588-1600.
- [4] Heinzelman Wendi B, Chandrakasan Anant ha P, Balakrishnan Hari. An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Trans. Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.
- [5] Younis O, Fahmy S. A Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad2Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [6] Stephanie Lindsey, Cauligi Raghavendra, Sivalingam Krishna M. Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics[J]. IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, Sep. 2002, 13(9): 924-935.
- [7] 李岩,张曦煌,李彦中. LEACH-EE—基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法[J]. 计算机应用,2007,27(5):1103-1106.
- [8] 何国圆,陈涤. 一种新的基于动态最优簇数目的 WSN 分簇协议[J]. 计算机应用,2008,28(11):2778-2780.
- [9] 杜玉红,张晓敏,蔡成闻. 无线传感器网络能量均衡自适应分簇算法[J]. 传感技术学报,2007,20(7):1616-1619.
- [10] 马玉刚,周群彪. 基于 LEACH 的无线传感器网络节能算法[J]. 计算机应用,2009,29(6):1514-1516.
- [11] 王国芳,李腊元,李春林,等. 无线传感器网络中基于能量约束的簇首多跳算法[J]. 传感技术学报,2009,22(7):997-1001.
- [12] 顾相平,孙彦景,钱建生. 一种改进的无线传感器网络 LEACH-ED 算法[J]. 传感技术学报,2008,21(10):1770-1774.



杨伟伟(1983-),女,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络, yangweiwei830305@163.com;



刘润杰(1969-),男,博士,主要研究方向为下一代网络及流量工程,无线传感器网络。