

无线传感器网络路由协议 LEACH 的研究与改进^①

Improvement of LEACH Protocol in Wireless Sensor Network

余静涛 胡同森 (浙江工业大学 信息工程学院 浙江 杭州 310032)

钟明霞 (浙江商业职业技术学院 浙江 杭州 310053)

摘要: LEACH 是针对无线传感器网络设计的低功耗自适应分簇聚类路由算法,作为一种 WSN 路由协议,因为其优秀的节能效果和其简单的规程得到了广泛的认可。但是 LEACH 簇首算法存在簇首开销大、簇首没有确定的数量和位置等不足,而在成簇后的稳定阶段,节点通过一跳通信将数据传送给簇首,簇首也通过一跳通信将聚合后的数据传送给基站,这样会造成簇首节点负载过重,针对 LEACH 算法的不足,本文在 LEACH 协议的基础上提出了改进,NS2 模拟实验表明改进后的算法减少了簇首节点能量的消耗,延长了传感器网络的寿命。

关键词: WSN 路由算法 LEACH NS2

1 引言

无线传感器网络 (WSN) 是有一组传感器节点自组织而成的一个多跳无线网络,不需要固定网络支持,具有快速展开、抗毁性强等优势,同时还具有自组织、多跳、动态拓扑和能量资源受限等特点。它能够在人们无法接近的恶劣或特殊环境中工作,如地震与气候监控、外层空间以及战场环境监控和信息采集系统建设等,是信息感知和采集的一场革命,逐渐受到越来越多的重视,目前已经成为信息技术领域的研究热点^[1]。而路由技术是 WSN 核心技术之一。从路由角度看,WSN 既不同于传统的 Internet 网络和蜂窝移动网,又不同于移动自组网 (MANET, Mobile Ad Hoc Network)。它有自己的特点:如节点能量不可补充,网络中存在大量的数据冗余等,而能量约束问题是 WSN 网络中必须考虑的核心问题。

无线传感器网络的路由协议按照网络的拓扑结构可以分成平面路由协议和分层路由协议两种。LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy) 算法是比较成熟常用的分簇路由算法,许多分簇路由算法如 TEEN (threshold sensitive energy efficient sensor network protocol)、PEGASIS (power

efficient gathering in sensor information systems) 等大部分都在它的基础上发展而来的,所以选择 LEACH 协议来研究改进是很有实际意义的。

2 LEACH 算法介绍

LEACH 协议是 MIT 学者 Heinzelman 等人为无线传感器网络设计的低功耗自适应聚类路由算法,是最早提出的分层路由算法,出发点主要是考虑一簇节点内的能量消耗问题,目的是为了延长节点的工作时间,并且实现节点的能耗平衡。LEACH 算法的基本思想是网络周期性的随机选择簇首节点,其他的非簇首节点以就近原则加入相应的簇首,形成虚拟簇。簇内节点将感知的数据直接发送给簇首,由簇首转发给 Sink 节点,簇首节点可以将本簇内的数据进行融合处理以减少网络传输的数据量。使用 LEACH 后,形成一个两级的星型网络,如图 1 所示。

LEACH 协议的假设如下:

① 假定通信信道是对称的,即在一定的信噪比要求下,从 A 节点到 B 节点传输一个信息与从节点 B 到 A 节点的传输消耗相同的能量。

② 传感器节点持续监测周围的物理现象,并以恒

^① 基金项目:浙江省自然科学基金(Y107553)

收稿时间:2008-08-27

定速率发送监测数据。

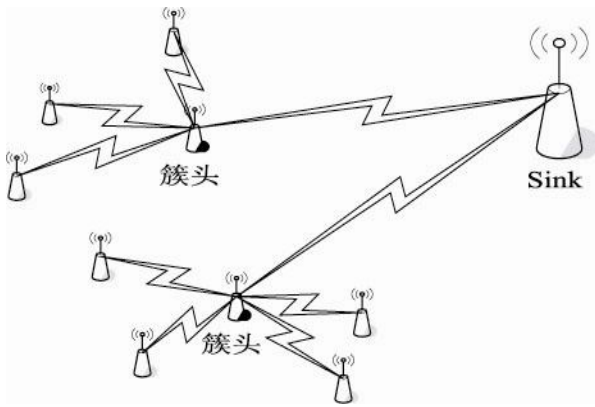


图 1 LEACH 协议网络结构图

③ 基站固定不动且远离传感器节点。

④ 传感器网络中使用相同的能量受限的传感器节点且每个节点均可以与基站直接通信。

LEACH 定义了“轮”(Round)的概念,每一轮存在初始化阶段和稳定阶段 2 个阶段。初始化阶段和稳定阶段所持续的时间总和称为一轮。初始化阶段就是选择簇首的阶段,选择依据网络中所需的簇首节点数和迄今为止每个节点已称为簇首的次数来决定。具体的选择办法是:每个传感器节点选择(0, 1)之间的一个随机数,如果选定的值小于某一个阈值 $T(n)$,那么这个节点成为簇首节点, $T(n)$ 的计算如下:

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

式中, P 是簇首在所有节点中所占的百分比, r 是选举轮数, G 是这一轮循环中未当选过簇首的节点集合。稳定传输阶段的持续时间要大于簇建立所需要的时间。选定簇首以后,簇首节点通过广播告知整个网络自己称为簇首的事实,网络中的非簇首节点根据接收信号的强度决定从属的簇,并通知相关的簇首,最后簇首节点采用 TDMA 方式为簇中每个节点分配传输数据的时隙。经过一段时间后,进入下一轮。多轮循环可以达到能量消耗均匀分配,节点生命周期同步的目的^[3]。

3 LEACH算法的不足

尽管与其他路由算法相比,LEACH 协议有较秀的表现,但是它仍存在很多的不足,例如:

① 簇首的轮循只由时间确定,而与节点剩余能量和位置无关;频繁的簇首选择导致大量的广播消息,耗费了能量。

② 每次形成簇,所有非簇首节点都要参与,这无疑增加了成簇的复杂性。

③ 簇首节点与 Sink 节点采用直接通信的方式,这就可能造成远离 Sink 节点的传感器节点耗费较多的能量。

随后 MIT 学者 Heinzelman 等人在 LEACH 算法的基础上又提出了 LEACH-C 算法,解决了 LEACH 算法中“节点根据随机数决定是否当选为簇首”以及“每轮产生的簇首没有确定的数量和位置”等方面的问题,大大提高了簇的生成质量。另该算法由基站作出簇首选择决定,健壮性较好,但由于每个节点都须向基站周期性地报告它们的能量和位置等信息,成簇开销较大,网络流量、时间延迟以及信号干扰的概率都会增加。

4 LEACH-M的算法

综合以上 LEACH 算法的不足,主要从成簇的方法,簇首的选择,成簇后的通信方式三个方面对 LEACH 进行改进。改进后的算法称为 LEACH-M 算法,也分为初始化阶段和稳定阶段两个阶段。

4.1 初始化阶段

为了使簇首比较均匀的分布在网络中,并且防止能量少的节点成为簇首,LEACH-M 算法采用遗传模拟退火算法来提高簇的生成质量。因为遗传算法的局部搜索能力较差,但把握搜索过程总体的能力较强;而模拟退火算法具有较强的局部搜索能力,并能使搜索过程避免陷入局部最优解,但模拟退火算法却对整个搜索空间的状况了解不多,不便于使搜索过程进入最有希望的搜索区域,从而使得模拟退火算法的运行效率不高。所以将两者结合,取长补短。具体的簇首选举算法如下:

每个节点把自身地理位置和当前能量报告给基站。基站根据所有节点的报告计算平均能量,当前能量低

于平均能量的节点不能成为候选簇首。从剩余候选节点中选出合适数量和最优地理位置的簇首集合是一个 NP 问题。基站根据所有成员节点到簇首的距离平方和最小的原则,采用遗传模拟退火算法解决该 NP 问题。

遗传模拟退火算法的步骤如下:

- ①进化代数计数器初始化: $t=0$ 。
- ②随机产生初始群体 $P(t)$ 。
- ③评价群体 $P(t)$ 的适应度。
- ④个体交叉操作: $P'(t) \text{ --- Crossover}[P(t)]$ 。
- ⑤个体变异操作: $P''(t) \text{ --- Mutation}[P'(t)]$ 。
- ⑥个体模拟退火操作:
 $P'''(t) \text{ --- SimulatedAnnealing}[P''(t)]$ 。
- ⑦评价群体 $P'''(t)$ 的适应度。
- ⑧个体选择、复制操作:
 $P(t+1) \text{ --- Reproduction}[P(t) \cup P'''(t)]$ 。

⑨终止条件判断,若不满足终止条件,则: $t=t+1$,转到第④步,继续进化过程;若满足终止条件,则输出当前最优个体,算法结束。

基站将遗传模拟退火算法得出的最优个体,即簇头集合以及簇的结构广播出去,初始化阶段结束。

4.2 稳定阶段

节点在接收到广播消息后,组成簇,在簇内与 LEACH 协议一样,使用一跳通信的方式。簇首到基站间采用多跳与单跳结合的方式来通信。为了平衡全网络的能耗 LEACH-M 算法借鉴 MTE(Minimum Transmission Energy)多跳路由协议。

LEACH-M 协议采用一种简单的传输能量模型,如图 2 所示,该模型考虑了发射机的发射能量,功率放大器消耗的能量,以及接收机接受信号的能量。

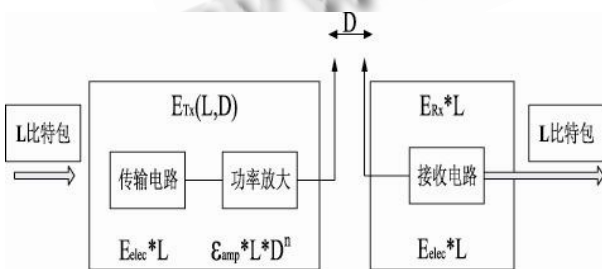


图 2 传输能量模型

当传输距离为 D , 数据量为 L 比特时,发射机消

耗的能量为

$$E_{Tx}(L, D) = E_{Tx-elec}(L) + E_{Tx-amp}(L, D)$$

$$E_{Tx}(L, D) = \begin{cases} L * E_{elec} + L * \epsilon_{friss-amp} * D^2 & (D < D_{crossover}) \\ L * E_{elec} + L * \epsilon_{two-ray-amp} * D^4 & (D \geq D_{crossover}) \end{cases}$$

$$D_{crossover} = \frac{4\pi \sqrt{L} h_r h_t}{\lambda}$$

式中 L 是跟传播无关的系统损耗, h_r 是接收天线的高度, h_t 是发送天线的高度, λ 是载波信号的波长。

接收机消耗的能量为

$$E_{Rx}(L) = E_{Rx-elec}(L)$$

$$E_{rx}(L) = L * E_{elec}$$

式中: E_{elec} 为每比特数据在发送或接收过程中所消耗的能量; $\epsilon_{friss-amp}$ 和 $\epsilon_{two-ray-amp}$ 与这里使用的传输放大模型有关; D 为发送机与接收机间的距离; $D_{crossover}$ 为一个距离常数。

分析上述公式后,可以得出距离大于 $D_{crossover}$ 时,能量损耗较大,因此通常要求直接传输距离小于 $D_{crossover}$,距离远的节点则需要通过中间节点来转发,以减小能量的损耗。MTE 路由算法的思想就是考虑到传输能量远大于中间节点接受时所消耗的能量,所以往往可以忽略接受时所消耗的能量,这种情况下,只要保证 $L * \epsilon_{friss-amp} * D^2$ 最小化就可以减小传输的能量损耗。所以 LEACH-M 稳定阶段簇首到基站的路由算法描述如下:

每个簇首需要找到下一跳的邻居来转发数据,簇首选择在基站方向离自己最近的簇首。如图 3,假设网络中有四个簇,簇首分别为 A, B, C, D, 以 C 簇首为例,如果簇首 B 满足距离 $D_{B-E} < D_{C-E}$ 且在以 C 为圆心, D_{C-E} 为半径的圆中簇首 B 离簇首 C 最近,则簇首 C 就将 B 作为下一跳的邻居。式中点 E 是簇首 C 到基站 BS 距离的中点, D_{B-E} 是簇首 B 到点 E 的距离, D_{C-E} 是簇首 C 到点 E 的距离。采用这个方法就可以确保 $D_{B-C}^2 + D_{B-BS}^2 < D_{C-BS}^2$,即减小了传输的能量损耗。因为:

$$\cos \angle \phi = \frac{D_{B-C}^2 + D_{B-BS}^2 - D_{C-BS}^2}{2 D_{B-C} * D_{B-BS}}$$

$$D_{B-E} < D_{C-E} \implies \cos \angle \Phi < 0 \implies D_{B-C}^2 + D_{B-BS}^2 < D_{C-BS}^2$$

簇首如果没有找到下一跳的邻居则采用与基站直接通信的方式。

经过一段时间后，网络再一次进入初始化阶段。稳定阶段节点不需要周期性的报告它们的能量和位置信息，只在初始化阶段时候才发送地理位置和能量的相关信息，这样就可以增大网络流量，减少延迟和数据包的冲突。

5 仿真与性能分析

本文选用 UC Berkley 大学研发的事件驱动的和面向对象的网络仿真工具 NS2^[5]作为仿真平台，通过仿真实验比较改进后的算法 LEACH-M, LEACH 算法和 LEACH-C 算法。在仿真环境中，使用 101 个节点，

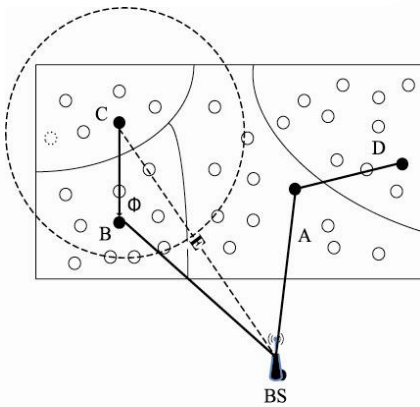


图 3 簇首路由算法示意图

其中包括 100 个无线传感器节点和 1 个固定位置的 BS 节点，无线传感器节点随机分布在单位平面区域，BS 节点远离感知区域，传感器节点的坐标分布如图 4。每个无线传感器节点的初始能源为 2 J，数据包大小为 500 Bytes。根据无线传感器之间和无线传感器与 BS 节点之间接收、发送器距离的不同，会使用自由空间传播和多路衰减模型。这个临界值就是 $D_{crossover}$ ，根据 NS2 中无线扩展模块的设定和业界对无线传感器网络频率的建议，在本文中，传输 1 bit 消息时，无线电能消耗为： $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ ，采用全向天线，无线电频率 914 MHz，其他参数值为： $G_t = G_r = 1$ ， $h_t = h_r = 1.5 \text{ m}$ ， $L = 1$ (系统无损耗)，其中 G_t 表示发送方天线增益； G_r 表示接收方天线增益^[3]。

系统中存活节点数目随时间的变化如图 5 所示。从图 5 中可以看出，在相同的时间内采用 LEACH-M

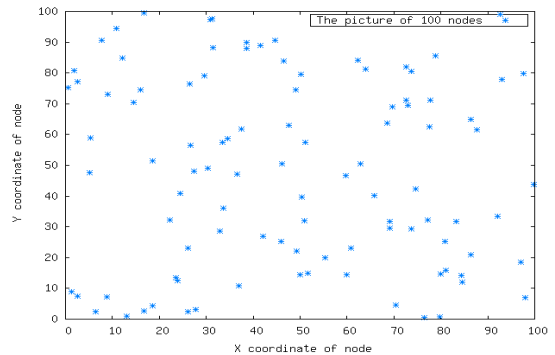


图 4 传感器节点坐标分布图

算法的网络系统存活的节点数目多于采用 LEACH 算法和 LEACH-C 算法的网络系统。这是因为改进后的算法在选择簇首的时候考虑了节点的剩余能量，节点的地理位置，使簇首比较均匀的分布在网络中，更好地平衡了网络负载，同时稳定阶段的簇首与基站的多跳单跳结合的通信方式延长了节点的寿命。

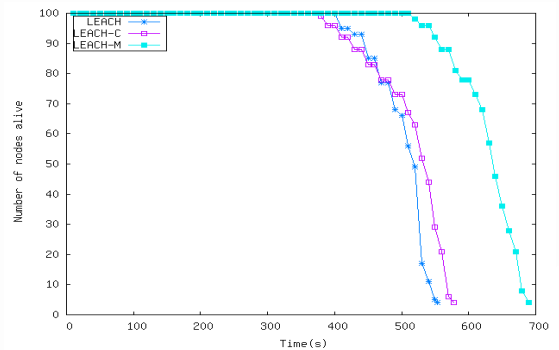


图 5 节点存活的数目

基站接收到的数据量随时间变化如图 6 所示。可以看出基站接收到的数据随时间的变化而增加，采用 LEACH-M 算法网络中的基站接收到的数据量远远大于采用 LEACH 算法和 LEACH-C 算法网络中的基站接收到的数据量。这是因为改进后的算 LEACH-M 采用了集中控制的算法，大大节省了 LEACH 算法中重复成簇所带来的开销，有效地节省了能耗，使更多的能量被用来传递数据。

系统总能量消耗随时间的变化如图 7 所示，可以看出采用 LEACH-M 算法，网络中的总能量消耗速度要慢于采用 LEACH 算法和 LEACH-C 算法的能量消耗。

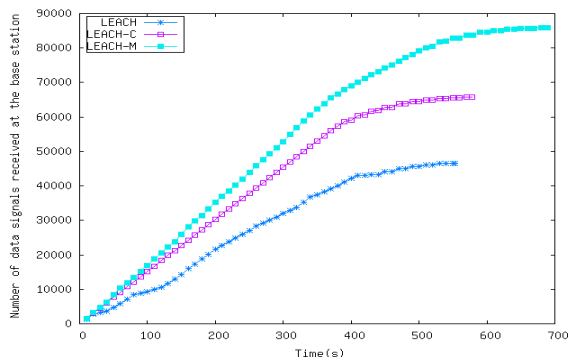


图 6 基站接收到的数据量

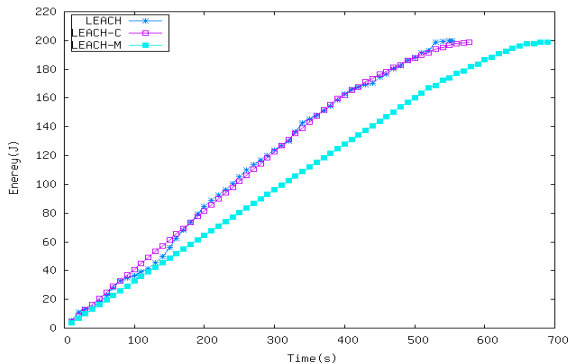


图 7 总能量消耗

5 结束语

通过对 LEACH 算法的分析,并借鉴前人的某些思想,从 LEACH 算法的不足入手提出了改进算法。仿

实验证明,改进后的算法 LEACH-M 能更好地平衡网络负载、节约能量消耗且具有更高的能量使用效率,从多个方面实现了优化。

参考文献

- 1 孙利民,李建中,陈渝,朱红松. 无线传感网络. 北京:清华大学出版社,2005.
- 2 Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proc. of the Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. San Francisco: IEEE Computer Society, 2000. 3005 – 3014.
- 3 Heinzelman W. Application-Specific protocol architectures for wireless networks[Ph.D.Thesis]. Boston: Massachusetts Institute of Technology,2000. http://mtlweb.mit.edu/researchgroups/icsystems/pubs/theses/wendi_phd_2000.pdf.
- 4 HEINZELMAN WR, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2002,1(4): 660 – 670.

5 徐雷,鸣鹿博,赵耀.NS 与网络模拟.北京:人民邮电出