

无线传感网中多跳路由算法的研究

李玲娟¹, 丁亮²

(1. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003;

2. 中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要:以提高路由协议效率、延长无线传感器网络的生存期为目标,基于 LEACH 协议,设计了一种新的多跳路由算法。该算法的每一轮都包括簇头选举、簇形成、建立贪心增长二叉树和数据传送四个阶段。该算法通过合理地选择簇头和形成簇,并由中间转发簇头进行数据融合处理,减少了网络中传送的数据量,可有效地降低能耗。在仿真实验中用 C++ 进行了算法实现,比较了新算法与 LEACH 的运行结果,分析了算法的能耗。仿真结果证明了新算法在节能方面的有效性。

关键词:无线传感网;低能量自适应分簇层次协议;路由

中图分类号:TN914.53

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)06-0055-04

Research on Multi-Hop Routing Algorithm of Wireless Sensor Network

LI Ling-juan¹, DING Liang²

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. ZTE Corporation, Nanjing 210003, China)

Abstract: To improve the efficiency of routing protocols and extend the survival period of wireless sensor networks, design a new multi-hop routing algorithm based on LEACH. The algorithm includes four phases: cluster heads election, clusters forming, greedy binary tree establishment and data transmission. The algorithm can reduce the amount of data transmitted in networks and energy consumption by electing proper cluster heads, forming cluster reasonably and fusing data in middle cluster heads. In the simulation experiment, the algorithm is implemented with C++; The running results of new algorithm and the LEACH are compared, and the energy consumption of the algorithm is analyzed. The effectiveness of the algorithm in saving energy has been verified by the simulation results.

Key words: WSN; LEACH; route

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,发送给观察者^[1]。WSN在军事及公共安全、环境监测和交通管理等领域有着广泛的应用前景^[2]。

由于 WSN 具有与传统网络不同的特点,因此需要与之相适应的路由协议。首先,其能量、处理能力、存储能力和通信能力都十分有限,这使得为之设计的

路由协议应简单且节能^[3];其次,由于 WSN 是以数据为中心的,因此路由协议应支持数据融合和缓存,减少数据的冗余性,以降低通信流量和能耗;再次,网络规模、拓扑结构的变动性要求路由协议具有可扩展性和健壮性,能够适应节点规模的变化和节点失效等情况。

基于簇的路由协议是一类能源有效的层次路由协议。它通过一定的规则,将传感器网络相关联的节点集合构成簇(Cluster),每个簇选举一个簇头(Cluster Head)来管理簇内其它节点。簇的成员节点将感知数据发给簇头,簇头执行与应用相关的数据融合,将结果转发至汇聚节点(即 sink 节点),以减少网络流量。低能耗自适应分簇层次协议 LEACH^[4]是一种支持数据融合的分簇自适应协议,很有代表性,但它只考虑了单跳模型。文中以适应大规模网络和进一步节省能耗为目标,对之加以改进,从而设计了一种新的多跳路由算法。

收稿日期:2009-10-13;修回日期:2010-01-19

基金项目:国家自然科学基金(60905040);江苏省自然科学基金(08KJB620002);南京邮电大学校科研基金(NY207051)

作者简介:李玲娟(1963-),女,辽宁辽阳人,教授,研究方向为网络安全、对等计算、无线传感网等。

1 LEACH 协议

LEACH 的路由算法中使用了“轮”的概念,每一轮由初始化和稳定工作两个阶段组成^[5]。在初始化阶段,每个同构的传感器节点产生一个(0~1)之间的随机数,如果随机数小于阈值,那么该节点就成为簇头,簇头向所有节点广播此消息,其它节点根据接收信号的强弱加入就近的簇;在稳定阶段,簇头将接收到的由成员节点感知的数据进行融合并发送给 sink,到本“轮”结束^[6]。在这种应用中,不需要每个节点和 sink 作远距离通信,从而可大大节省开销。

1.1 系统模型

基于分簇的路由协议假设:

- ①在距离监测区域很远的地方有一个基站(BS),并且所有的传感器节点和基站在部署完后就静止不动。
- ②所有节点是同构的,并且具有一个独一无二的编号和它属于哪个簇头的编号。
- ③节点没有配备 GPS 设备,不知道自己确切的地理位置信息。
- ④节点可根据接收者距离调整发射功率^[7,8]。

1.2 信道模型

传感器节点发送 1bit 消息 d 距离时消耗的能量 $E_{TX}(l, d)$ 是:

$$E_{TX}(l, d) = E_{TXelec}(l) + E_{TXamp}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{amp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

接收 1bit 消息消耗的能量 $E_{RX}(l)$ 是:

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

在式(1)中,当接收、发送节点之间的距离小于临界值 d_0 时,使用自由空间模型;否则使用多路径模型^[9,10]。 E_{elec} 是发射电路和接收电路消耗的能量, ϵ_{fs} 和 ϵ_{amp} 都是发射放大器所消耗的能量。

2 新的多跳路由算法

新的多跳路由算法在 LEACH 算法的基础上,通过改进使每一轮都包括:簇头选举、簇形成、建立贪心增长二叉树和数据传送四个阶段。

2.1 簇头选举改进算法

簇头当选概率计算方法与 LEACH 的相似:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod (N/k))}, & n \in G \\ 0 & \end{cases} \quad (3)$$

其中, k 是簇头个数, N 是传感器节点总数, r 是选举轮数, G 是前 N/k 轮中未当选过簇头的节点的集

合。

与 LEACH 不同的是:当 G 集合中未当选过簇头的节点产生的(0~1)的随机数小于 $T(n)$ 时,还要测试它的剩余能量是否大于某个阈值 E_{min} ,如果是,这样的节点就在本轮被选为簇头,即:

```

If(rand(0,1) < T(n))
{
  If(node(n).energy > E_min)
  {
    node(n).isHead = 1;
  }
}

```

考虑到簇头要负责完成数据的收集、融合、发送等任务(不包括中间节点的数据转发),阈值 E_{min} 可以根据下面的公式计算:

$$E_{min} = cycle * (member_count * k * E_{elec} + E_{da} + k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2) \quad (4)$$

其中, $cycle$ 是每轮数据收集次数, k 是簇内每个成员节点采集的数据长度, $member_count$ 是簇内成员节点个数,且 $member_count = 1/CH_{ratio} - 1$,其中 CH_{ratio} 是簇头节点占总节点的比例, E_{da} 是融合数据消耗的能量, $member_count * k$ bit 的数据被融合成 k bit 的数据发送出去。

对上式求期望值:

$$E[E_{min}] = cycle * ((1/CH_{ratio} - 1) * k * E_{elec} + E_{da} + k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2) \quad (5)$$

2.2 簇形成算法

一旦簇头节点形成后,簇头以覆盖半径为 Rc 的发射功率发送其成为簇头节点的信息,利用载波监听多路访问(MAC)协议广播 ADV(advertisement)数据包,该数据包包含簇头节点 ID 号和标识字段^[11,12]。网络中非簇头节点接收到簇头节点的 ADV 数据包后,通过信号的强弱来判断与簇头节点的距离,并计算通信消耗的能量,选择具有最小通信能耗的簇头作为自己的簇头。每个传感器节点均在选择了自己的簇头后,向其簇头发送成为其成员的 Join-REQ 数据包,该数据包只包含节点 ID 和簇头 ID。

为了保证簇的覆盖范围包含所有的监测区域,簇半径 Rc 可由下面的公式确定:

$$Rc \geq \sqrt{\frac{M^2}{\pi * k}} \quad (6)$$

其中, M 是该正方形监测区域的边长, k 是分簇个数。

2.3 建立贪心增长二叉树

对簇头和汇聚节点 sink 建立贪心增长二叉树。首先 sink 发送广播,收到广播的簇头节点发出回应,

sink 节点根据收到的能量大小确定一个最短距离的簇头,并通知它,此簇头收到确认消息后,它自己成为新的树根,发送半径为 $2R_c$ 的广播,再从剩下的簇头中选择至多两个簇头作为其左右孩子;然后其左右孩子又成为新的树根,再从剩下的簇头中选出距离贪心增长二叉树最近的簇头连接到树上,直到所有的簇头都连接到树上,如图 1 所示。

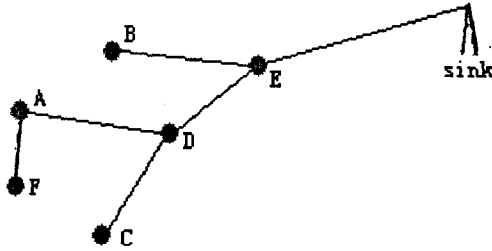


图 1 贪心增长二叉树

表 1 展示了对应于图 1 的贪心二叉树中簇头发送、接收、融合数据包的统计。叶子簇头 B、C、F 将自己的数据发给父节点,它们没有收到其它簇头的数据包,也无需融合。中间节点 A、D、E 接收孩子的数据包,并和自己的数据进行融合,再转发出去。其中根节点 E 将数据发送给 sink。

表 1 簇头收、发、融合统计

簇头	发送次数	接收次数	融合节点数
A	1	1	2
B	1	0	0
C	1	0	0
D	1	2	3
E	1	2	3
F	1	0	0
总计	簇头数	簇头数 - 1	2 簇头数 - 叶子数 - 1

2.4 数据传送

在数据传送阶段,簇内各成员节点将感知的数据以一跳距离发送给簇头,簇头对收集到的数据进行融合处理,再把处理过的数据通过贪心增长二叉树反向传送给 sink,其中每个中间转发簇头还要进行数据融合处理,以降低网络的数据量。

2.5 算法能量分析

为了延长整个传感器网络的生存周期,应尽量减少节点之间的通信量。下面对本改进算法中数据传送阶段的能量消耗进行分析,从而找出最佳的分簇个数 k 。

簇内成员节点发送感知数据消耗的能量为:

$$E_{\text{non-CH-TDATA}} = \left(\frac{N}{k} - 1\right)(lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{toCH}}^2) \quad (7)$$

簇头接收感知数据消耗的能量为:

$$E_{\text{CH-RDATA}} = \left(\frac{N}{k} - 1\right)lE_{\text{elec}} \quad (8)$$

簇头数据融合处理消耗的能量为:

$$E_{\text{CH-DA}} = \frac{N}{k}lE_{\text{DA}} \quad (9)$$

k 个簇头经过贪心增长二叉树向汇聚结点汇报所消耗的能量为:

$$E_{\text{CH-BS}} = (k - 1)(lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{CH-CH}}^2) + (lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{amp}}d_{\text{toBS}}^4) + (k - 1)lE_{\text{elec}} + (2k - 1 - k_0)lE_{\text{DA}} \quad (10)$$

N 表示网络中传感器节点数, k 表示簇头个数, l 表示收集数据包长度(单位为 bit), E_{DA} 表示融合 l bit 数据所需能量, d_{toCH} 表示簇内节点到本簇头的距离, $d_{\text{CH-CH}}$ 表示簇头之间的距离, d_{toBS} 表示贪心增长二叉树树根到 sink 的距离。

每一轮发送数据消耗的总能量是:

$$E_{\text{Total}} = k(E_{\text{non-CH-TDATA}} + E_{\text{CH-RDATA}} + E_{\text{CH-DA}}) + E_{\text{CH-BS}} = k\left[\left(\frac{N}{k} - 1\right)(2lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{toCH}}^2) + \frac{N}{k}lE_{\text{DA}}\right] + (k - 1)(2lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{fs}}d_{\text{CH-CH}}^2) + (lE_{\text{elec}} + l\epsilon_{\text{amp}}d_{\text{toBS}}^4) + (2k - 1 - k_0)lE_{\text{DA}} \quad (11)$$

根据文献[4]有: $E[d_{\text{toCH}}^2] = \frac{M^2}{2\pi k}$

由公式(6)得: $E[d_{\text{CH-CH}}] = 2R_c = \frac{2M}{\sqrt{\pi k}}$

在完全二叉树中节点总数等于度为 0、1、2 的节点数总和: $k = k_0 + k_1 + k_2$; 根据文献[4]有: $k_2 = k_0 - 1$; 且 k_1 的取值只能是 0 或 1, 即:

$$k = \begin{cases} 2k_0 - 1, k_1 = 0 \\ 2k_0, k_1 = 1 \end{cases} \quad k_0 \approx \frac{k}{2}$$

$$\text{令 } \frac{N}{k} - 1 \approx \frac{N}{k}, \text{ 则}$$

$$E_{\text{Total}} \approx$$

$$l\left[N(2E_{\text{elec}} + \epsilon_{\text{fs}}\frac{M^2}{2\pi k} + E_{\text{DA}}) + (2k - 1)E_{\text{elec}} + (k - 1)\epsilon_{\text{fs}}\frac{4M^2}{\pi k} + \epsilon_{\text{amp}}d_{\text{toBS}}^4 + \left(\frac{3}{2}k - 1\right)E_{\text{DA}}\right] + l\left[(2N - 1)E_{\text{elec}} + (N - 1)E_{\text{DA}} + (N - 8)\frac{\epsilon_{\text{fs}}M^2}{2\pi k} + \epsilon_{\text{amp}}d_{\text{toBS}}^4 + \frac{4\epsilon_{\text{fs}}M^2}{\pi} + 2kE_{\text{elec}} + \frac{3}{2}kE_{\text{DA}}\right]$$

为了求 k 的最优值 k_{opt} , 对 E_{total} 求 k 的一阶导数, 并令其等于零:

$$(N - 8)\frac{\epsilon_{\text{fs}}M^2}{2\pi}\left(-\frac{1}{k^2}\right) + 2E_{\text{elec}} + \frac{3}{2}E_{\text{DA}} = 0$$

则:

$$k_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{(N - 8)\epsilon_{\text{fs}}M^2}{\pi(4E_{\text{elec}} + 3E_{\text{DA}})}} \quad (12)$$

3 仿真与结果分析

文中用 C++ 实现了 LEACH 和文中提出的改进路由算法,并设计了表 2 所示的仿真参数。

表 2 仿真参数表

参数名	值
网络范围	(0,0)到(300,300)
sink 位置	(150,200)
节点总数 N	400
节点初始能量	3J
E_{DA}	5nJ/bit/signal
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_b	10pJ/bit/m ²
ϵ_{amp}	0.0013nJ/bit/m ⁴

由式(12),得簇的数目最优值 $k_{opt} = 23$; 由于 LEACH 算法簇数目占节点数的 5%, 故 $k_{leach} = 20$ 。

图 2 给出了运行 LEACH 和改进算法的结果,可以看出,在第 325 轮时,LEACH 算法已几乎没有存活的节点,而改进算法还有大约 90 个活节点,可见改进而来的新算法比 LEACH 算法进一步延长了无线传感器网络的生存期。

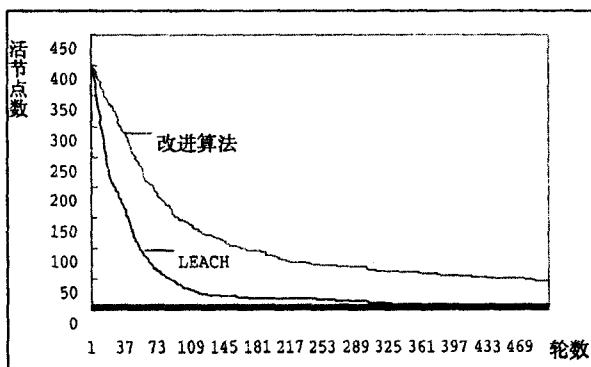


图 2 仿真结果

4 结束语

论文以节省能耗、延长网络寿命为目标,对无线传感网的路由算法进行了研究。基于 LEACH 的思想,

通过改进,设计了一种新的多跳路由算法,描述了算法,分析了算法的能耗,用 C++ 进行了算法实现,比较了新算法与 LEACH 的运行结果,证明了算法在节能方面的作用。文中在延长无线传感网的生存期方面做了有益的研究工作。

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,2005:3-4.
- [2] Shah R C, Rabaey J M. Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks[C]//Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway, USA: [s. n.], 2002:17-21.
- [3] 毕俊蕾,任新会,郭拯危. 无线传感器网络路由协议分类研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(5):131-134.
- [4] 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.
- [5] Guo Shujie, Zheng Jie, Qu Yugui, et al. Clustering and multi-hop routing with power control in wireless sensor networks [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2007,14(1):49-57.
- [6] 杨冕,秦前清. 基于无线传感器网络的路由协议[J]. 计算机工程与应用,2004(32):130-132.
- [7] 汪泉弟,李彬,刘青松. 无线传感器网络能量多路径路由研究[J]. 信息与控制,2006,35(2):130-132.
- [8] Bandyopadhyay S, Coyle E J. Minimizing communication costs in hierarchically clustered networks of wireless sensors [J]. Wireless Communications and Networking, 2003(2):1274-1279.
- [9] 熊昊翔,李峰,李平. 基于节能的无线传感器网络 LEACH 协议改进[J]. 计算机技术与发展,2007,17(11):237-240.
- [10] 张怡,李云,刘占军,等. 无线传感器网络中基于能量的簇首选择改进算法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2007,19(5):613-616.
- [11] 刘芳,徐家品. 一种基于簇的无线传感器网络能力有效路由协议[J]. 传感器与微系统,2008,27(3):34-36.
- [12] 敬海霞,胡向东. 无线传感器网络的路由协议研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(10):150-154.

(上接第 54 页)

ternational Conference on Management of Data. Dallas, Texas, USA:[s. n.],2000:201-212.

- [7] Yang C, Lin K I. An Index Structure for Efficient Reverse Nearest Neighbor Queries[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Data Engineering. Washington:

IEEE Computer Society, 2001:485-492.

- [8] Katayama N, Satoh S. The SR-tree: An Index Structure for High Dimensional Nearest Neighbor Queries[C]//Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data. [s. l.]:[s. n.], 1997:703-717.