

一种基于时间延迟机制的分布式成簇算法研究

尚风军

(重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065)

摘 要: 无线传感器网络能够在恶劣的环境下获取大量详实而可靠的信息, 可以广泛应用于国防军事、工业控制、环境监测、交通管理、医疗保健、智能家居等各个领域. 但是, 传感器节点一般只靠电池供电, 有效的利用传感器节点的能量是传感网络通信协议设计的重要目标. 提出了一种基于定时器策略的具有能量效率的分布式成簇算法, 称为 LEACH-T 算法. 该算法主要包括两部分内容: 一是簇头选择时引入定时器策略, 使得能量较大的节点具有更高的概率成为簇头; 二是引入竞争机制, 使得簇头均匀分布, 进而能有效平衡簇头节点的能量使用情况; 三是构造了基于能量和距离的花费函数以平衡节点的能量效率. 理论和仿真结果均说明该算法优于 LEACH, 生命周期比 LEACH 延长达到 40%.

关键词: 花费函数; 无线传感器网络; LEACH; 簇头选择

中图分类号: T393.07

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)08-0053-04

A Distributed Delay-Based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks

SHANG Feng-jun

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts
and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In the paper, we consider a network of energy constrained sensors deployed over a region. Each sensor node in such a network is systematically gathering and transmission sensed data to a base station (via clusterhead) for further processing. This paper focuses on reducing the power consumption of wireless microsensor networks. The core has three points. Firstly, we extend LEACH's stochastic clusterhead selecting algorithm by a factor timer-based deterministic component to reduce energy consumption (called LEACH-T). Secondly, a competing mechanism is introduced to make the distribution of the clusterhead be even. Lastly, a cost function is proposed so that it balances energy consumption of nodes. Simulation results show that our modified scheme can extend the network life around up to 40% for First Node Dies(FND). Through both theoretical analysis and numerical results, it is shown that the proposed algorithm achieves better performance than the existing representative methods.

Key words: cost function; wireless microsensor networks; LEACH; clusterhead selection

1 引言

作为一种新的信息获取方式和处理模式, 无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)目前已成为国内外备受关注的研究热点. 在 WSN 体系结构中, 网络层的路由技术对 WSN 的性能好坏有着

重要影响. 随着国内外 WSN 的研究发展, 许多路由协议被提了出来. 由于传感器节点的本身资源的限制, 针对 ad hoc 网络的分簇算法不能被直接利用, 特别是 WSN 节点能量更为有限, 因此必须研究新的分簇算法.

LEACH 是最早提出的单跳分簇算法^[1], 其基

本思想是通过等概率地随机循环选择簇头,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、延长网络生命周期的目的。

LEACH-C 算法^[2]要求基站根据节点的剩余能量和距离等因素来决定该节点是否成为簇头,但该算法需要知道节点的位置信息。然而在无线移动网络中位置信息必须依靠 GPS 或者位置传感器才能获得,以致该算法仍然需要节点和基站的额外通信。DCHS^[3]引入了能量阈值 $E_{n_current}/E_{n_max}$,延长了网络的生存周期,但该算法未考虑网络的距离因素。HEED 算法^[4]以簇内平均可达能量作为衡量簇内通信成本的标准,该算法也通过竞争机制选择簇头,成簇速度有一定改进,特别是考虑到成簇后簇内的通信开销,把节点剩余能量作为一个参量引入算法,使得选出的簇头更适合担当数据转发任务,全网能量消耗更均匀。但是 HEED 算法,在每轮的簇头选择过程中,所有的节点都处于工作状态(发送或侦听),无形中增加了整个网络的能量消耗。

2 LEACH-T 成簇算法

本文引入定时器机制来选择簇头^[5],使高能节点优先选择为簇头,基于此提出了基于定时器方法的簇头选举算法。簇头选举好后,对于加入簇的节点来说加入哪个簇是平衡全网能量的关键因素,本文提出了基于距离和能量因子的花费函数,有效的延长了网络的生命周期。

2.1 簇头产生

在簇头产生阶段,节点 i 首先处于“等待”模式,设置变量为区间 $[0,1]$ 上的随机数,显然, x_i 是在区间 $[0,1]$ 上均匀分布的随机变量。按照负指数分布设置一个定时器 t_i ,即

$$x_i = e^{-\lambda t_i} \quad (1)$$

式中, $\lambda_i = \frac{E(i)_{residual}}{E(r)}$, $E(i)_{residual}$, 表示第 i 个节点的剩余能量, $E(r)$ 表示第 r 轮网络平均剩余能量。当某个节点 v 的定时到达时,它首先竞争信道,如果成功,则选举自己成为簇首并广播 ADV_CH 消息通知其邻居。根据节点的剩余能量自适应地调整参数,希望具有较多剩余能量的节点较早地结束等待,成为簇首。

由式(1)得到以 λ_i 为自变量关于的 t_i 函数 $x_i = e^{-\lambda t_i}$

$$t_i(\lambda) = -\frac{\ln x_i}{\lambda_i}$$

该函数的一阶导数为

$$\frac{dt_i}{d\lambda_i} = \frac{\ln x_i}{\lambda_i^2} \quad (2)$$

显然有 $\frac{dt_i}{d\lambda_i} \leq 0$, 即函数 $t_i(\lambda)$ 在区间 $[0, +\infty]$

上单调减少。根据式(1), λ_i 是节点剩余能量 $E(i)_{residual}$ 的单调函数,剩余能量多的节点有较短等待时间,有更高的概率称为簇头,从而保证了整个系统的负载均衡。

2.2 平衡簇头区节点能量

在网络建立阶段,基站 BS 需要用给定的发送功率向网络内广播一个信号。每个传感器节点在接收到此信号后,根据接收信号的强度计算它到基站的近似距离。我们的成簇算法是使远离基站的节点尽量少成为簇头以减少能量消耗,在每一个簇头覆盖范围内尽量选取能量高的作为簇头。簇头选择好后,节点如何加入簇头是非常关键的,这直接关系到平衡当前簇头地区的能量消耗,必须由花费函数决定。我们定义的花费函数 $f(i,j)$ 为

$$f(i,j) = \frac{c(n_i, CH_j)}{E_{CH_j}} \quad (3)$$

节点 i 加入簇头 CH_j 的条件就是使花费函数 $f(i,j)$ 最小。其中, E_{CH_j} 表示簇头 j 的当前能量。其中

$$c(n_i, CH_j) = \frac{d^2(n_i, CH_j)}{d_{n_CH}^2} \quad (4)$$

式中, $d(n_i, CH_j)$ 表示节点 i 到簇头 j 的距离, $d_{n_CH} = \max\{d(n_i, CH_j)\}$ 。

提出的花费函数 f 既引入了距离因素又引入了能量因素,直观上更能有效平衡当前簇头区的能量消耗。下面简单说明:

我们选择簇成员的标准是使花费函数 $f(i,j)$ 最小,则有

$$\begin{aligned} \min\{f(i,j)\} &= \min\left\{\frac{c(n_i, CH_j)}{E_{CH_j}}\right\} \\ &= \min\left\{\frac{d^2(n_i, CH_j)}{d_{n_CH}^2 \times E_{CH_j}}\right\} \end{aligned}$$

为分析方便将常数合并,则有

$$\min\left\{a \times \frac{d^2(n_i, CH_j)}{E_{CH_j}}\right\}$$

$$\text{其中 } a = \frac{1}{d_{n_CH}^2}$$

由于每轮中簇成员节点都要与簇头通信,簇头都要与基站 BS 通信,因此有

$$\min\{a \times \sum \frac{\epsilon_{fs} d^2(n_i, CH_j)}{\epsilon_{fs} E_{CH_j}}\}$$

式中, $\epsilon_{fs} d^2(n_i, CH_j)$ 是簇成员消耗能量的关键。直观上说明, 只要花费函数最小, 簇成员和簇头消耗能量均最低, 继而全网消耗能量最低, 因此可以有效延长网络的生命周期。反之, 如果簇成员和簇头消耗能量均最低, 那么花费函数 $f(i, j)$ 必定最小。

2.3 算法分析

LEACH-T 是一个分布式动态算法, 其消息复杂度为 $O(N)$ 。LEACH-T 算法的消息开销比较小, 进而算法具有较好的能量效率。HEED 的簇生成算法需要在簇半径内进行多次消息迭代, 由此带来的通信开销比较显著, 一般其消息交换次数的上界为 $N_{iter} \times N$, N_{iter} 是消息迭代的次数。因为 LEACH-T 算法避免了消息迭代, 因此消息开销低于 HEED。对于 LEACH-C 算法来说消息复杂度也为 $O(N)$, 与我们的算法相同, 但由于 LEACH-C 算法在选择簇头时未考虑簇头到基站 BS 的距离, 因此未能有效的平衡簇头能量的消耗。

3 仿真和分析

为了说明我们的算法效果, 我们使用 MATLAB 对算法进行了仿真测试, 仿真场景参数如表 1 所示。

表 1 仿真场景 1 参数

参数	取值
网络覆盖区域	(0,0)~(100,100)
基站 BS 位置	(50,50)
N	100
传感器节点初始能量	0.5J
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_{fs}	10pJ/(bit·m ²)
ϵ_{mp}	0.001 3pJ/(bit·m ⁴)
d_o	87m
E_{DA}	5nJ/(bit·signal)
数据包大小	4 000 bits

我们使用表 1 参数仿真 1 100 轮验证 LEACH-T 算法, 场景中节点均匀分布。图 1 是活的节点数目与轮数的关系, LEACH-T 算法第一个死亡节点出现在 1 058 轮, LEACH 算法第一个死亡节点出现在 770 轮, DCHS 算法第一个死亡节点出现在 967 轮, LEACH-C 算法第一个死亡节点出现在 898 轮。仿真

结果显示 LEACH-T 算法与 LEACH 算法相比, 可以延长网络生命周期 40%。理论和仿真结果证明 LEACH-T 算法比其他三种算法具有更好的性能。

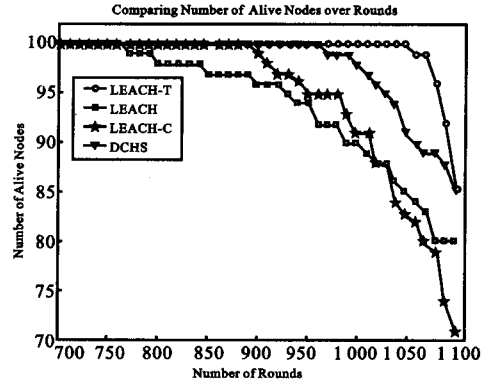


图 1 生存节点数量随轮数变化

图 2 显示网络所有节点剩余能量随轮数变化曲线, 从图中可以清楚看出 LEACH-T 算法每轮总的剩余能量都是最多的, 说明该算法能量效率最高, 其次是 LEACH, 最差的是 DCHS 算法。在约 1 050 轮时, LEACH-T 算法中的网络总的剩余能量为 295J, LEACH 算法中的网络总的剩余能量为 290J, LEACH-C 算法中的网络总的剩余能量为 285J, 从中可以知道 LEACH-T 算法能量效率最高, 以致剩余能量最多。

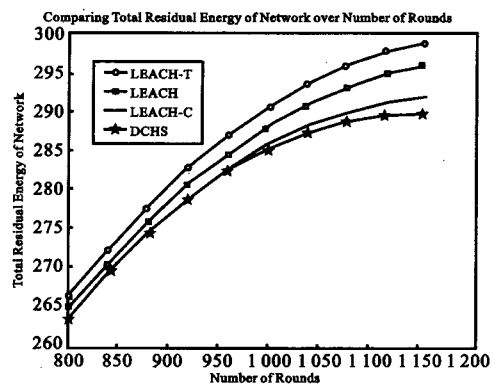


图 2 网络剩余能量随轮数变化

从以上图中, 我们可以知道 LEACH-T 算法在以上四种算法中具有最好的性能。

4 结束语

本文提出了基于距离因子的单跳路由算法, 该算法主要包括三部分内容: 一是选择簇头时通过引入定时器策略, 使得能量较大的节点具有更高的概率称为簇头; 二是引入竞争机制, 使得簇头均匀分布, 进而能有效平衡簇头节点的能量使用情况; 三是构造了基于能量和距离的花费函数以平衡节点的能

量效率. 理论和仿真结果均说明该算法性能优于 LEACH. 该算法具有如下优点: (1) 能量效率高, 由于花费函数的引入, 既在一定程度上平衡了簇头的能量消耗, 又提高了簇成员节点的能量效率; (2) 显著延长了网络的生命周期, 生命周期比 LEACH 延长达到 40%.

参考文献:

- [1] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy - efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00). Hawaii, 2000: 3005 - 3014.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application - specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transaction on Wireless

Networking, 2002, 1(4): 660 - 670.

- [3] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster - head selection[C]// Proc. of the 4th IEEE Conf. on Mobile and Wireless Communications Networks. Stockholm: IEEE Communications Society, 2002: 368 - 372.
- [4] Younis O, Fahmy S. Heed: a hybrid, energy - efficient, distributed clustering approach for ad - hoc sensor networks [J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660 - 669.
- [5] 曹涌涛, 何晨, 蒋铃鸽. 无线传感器网络中基于自适应定时器策略的分簇算法[J]. 电子学报, 2007, 35(9): 1719 - 1723.

作者简介:

尚凤军 男, (1972 -), 博士, 副教授. 研究方向为无线传感器网络、网络流量测量、WiMAX 等.

(上接第 52 页)

参考文献:

- [1] 胡定磊, 陈书明, 刘春林. 分簇结构超长指令字 DSP 编译器的设计与实现[J]. 小型微型计算机, 2006, 27(2): 45 - 50.
- [2] Ellis J. Bulldog: a compiler for VLIW architectures[D]. Massachusetts: CS department of MIT, 1982.
- [3] Lowney P G, Freudenberger S M. The MultiFlow trace scheduling compiler[J]. The Journal of supercomputing, 1995(7): 51 - 147.
- [4] Giuseppe Desoli. Instruction assignment for clustered VLIW DSP compilers: a new approach[J]. HPLab tech - report, 1998(5): 32 - 87.
- [5] Monica Lam. Software pipelining: an effective scheduling technique for VLIW [C]// proceedings of PLDI. New

York, USA, ACM, 1988: 318 - 328.

- [6] Trimaran research group. Trimaran manul[EB/OL]. [2010 - 01 - 10]. <http://trimaran.org>.
- [7] Michael L Chu. Cooperative data and computation partitioning for decentralized architectures PhD - thesis [D]. Michigan, CS department of Michigan university, 2007.

作者简介:

郑启龙 男, (1969 -), 副教授. 研究方向为并行编程环境与技术.

汪 胜 男, (1983 -), 硕士研究生. 研究方向为编译器后端优化.

夏 霏 男, 博士研究生. 研究方向为嵌入式 CPU 体系结构与编译器.