

基于 LEACH 的线性预测能耗均衡路由协议

朱海明, 单志龙

(华南师范大学 计算机学院, 广东 广州 510631)

摘要: LEACH 协议是无线传感器网络中层次型路由协议的典型代表, 网络中节点自动成簇, 簇内成员通过簇首与基站通信, 网络定时选举簇首以均衡节点能量。但节点在空间上分布不均以及在每轮稳定阶段担当簇首的节点能耗不均都会使得网络平均性能下降。提出了基于 LEACH 的线性预测能量消耗均衡路由协议, 能够通过预测下一轮的能量消耗速率来动态调整下一轮的簇首切换的时长。仿真结果显示该协议在能量消耗、实际单位比特所耗能量和网络生命周期等方面性能更好, 能均衡网络能量消耗, 延长网络生命周期。

关键词: LEACH; 线性预测; 能量均衡

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)12-0146-04

LEACH Protocol on Linear Predictive Energy - Balanced

ZHU Hai-ming, SHAN Zhi-long

(School of Computer, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: LEACH protocol is a classical hierarchy route protocol in wireless sensor networks. It elects some nodes to communicate with base-station, and balances the consumption of node energy by selecting cluster's head at certain times. But the nodes are random in area, and the energy consumption isn't well-distributed in every steady-state phase, so that the average performance of networks declines. Gives a linear predictive of average energy dissipated, which predicts the next dissipated speed of average energy, and dynamically adjust the interval of changing cluster's head. Take the energy consumption, average energy consumption per bit and networks' lifecycle as standard to measure the networks' performance, and the result shows that our improved, compared with LEACH protocol, is better than LEACH in balancing the networks' energy consumption and prolonging its lifecycle.

Key words: LEACH; liner predictive; energy - balanced

0 引言

移动通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展,促进了无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)^[1-5]的诞生。由于其在军事国防、环境监测、生物医疗以及商业应用等领域具有广阔的应用前景, WSNs 引起了人们的密切关注。

WSNs 由大量具有传感、嵌入式计算、分布式数据处理和短距离无线通信能力的微型传感器组成。这类传感器网络的传感器节点具有低功率、小体积、低价格等特点。它通过自身对周围环境的感知,对数据进行简单的计算处理,与临近节点进行无线通信,以相互协

作的方式进行实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或者被监测对象等终端用户感兴趣的信息,从而获得大量所需要的可靠数据信息。

由于无线传感器网络是由资源受限(功率低、传输距离有限等)的传感器节点组成,同时各节点还担负起信息收集、数据处理、信息传输等任务,因此节点的设计相当重要。同时,为了保证整个无线传感器网络的高效,生存周期长,充分发挥每个节点的作用,网络路由的节能性能的设计显得至关重要,文献[5]给出了各种无线传感器中节省能量的一般方法及框架。

无线传感器网络的路由算法可分为平面型路由和层次型路由,比较典型的平面路由有 Flooding、SPIN^[6]、DD^[7]等,而 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)^[8]算法则是一种较为典型的层次型路由算法,该算法是针对无线传感器网络设计的一种低功耗自适应分簇聚类路由算法,与一般的平面路由算法相比,可以将网络生命周期延长 15%。

文中分析了 LEACH 协议,基于其基本思想改进

收稿日期:2010-03-24;修回日期:2010-06-02

基金项目:国家自然科学基金(10771080);广东省博士启动基金(06300907)

作者简介:朱海明(1980-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;单志龙,硕士生导师,教授,研究方向为计算机与通信网、自组织网络、移动通信等。

了其能量消耗在不同时间段的不合理分布,提出了一种基于 LEACH 的预测能量消耗均衡路由协议,该算法采用能量消耗速度来变换定时器时长轮换簇首的方式,有效地解决了因定时器时间间隔设置过长带来的部分簇首节点过早死亡及因定时器时间间隔设置过短造成的簇首频繁选举消耗的额外能量。

1 LEACH 协议分析

1.1 算法概述

LEACH 协议是由 MIT 的 Chandrakasan 等学者为无线传感器网络设计的一种低功耗自适应聚簇路由算法。

该协议假设:

- 1) 各节点均能与 sink 节点进行通信。
- 2) 各节点初始能量值相同。
- 3) 节点各方向上的能耗值相同。
- 4) 各节点采用统一时间间隔定时竞选簇首。

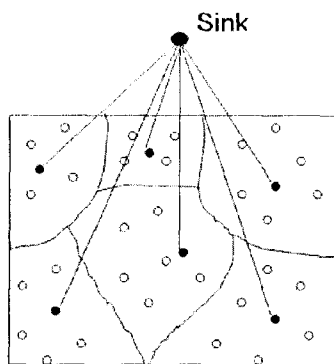


图 1 LEACH 聚簇示意图

LEACH 协议采用一种分布式算法,如图 1 所示,该协议将分布于网络某区域的节点自动成簇,每一簇确定一个节点作为簇首,数量约为网络节点的 5%^[8,9],簇内节点只与簇首通信,簇首将数据进行简单融合后与 sink 节点直接通信。簇内成员只需要知道本簇内簇首即可,且与簇首传输数据只需要消耗少量能量,簇首也只需要维护簇内较少节点信息即可。为了避免簇首节点能量消耗过快,LEACH 协议当中约定一定时间后便重新选举簇首,由不同节点轮流担任簇首,以此实现能量的均匀消耗。LEACH 算法分为簇形成阶段(setup phase)和簇稳定(steady-state phase)阶段,这两个阶段合起来称为一轮(round)。其中簇稳定阶段远远长于簇形成阶段,以免簇形成阶段内能量消耗过多。在簇形成阶段,每个传感器节点生成一个 0 与 1 之间的随机数值,如果该随机数小于阈值 $T(n)$,那么这个节点就被选为簇首。阈值 $T(n)$ 的大小由公式(1)来确定:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod (\frac{N}{k}))} & n \in G \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中 k 为一轮网络中的簇首节点数, N 为网络中传感器节点的数量, k/N 是网络中簇首数量所占的百分比; r 是簇首选举的轮次; G 是最近 N/k 轮中没有成为簇首的节点。成为簇首的节点随后向全网发送广播信息,节点根据接收到信息的强度来决定自身加入哪个聚簇,并告知相应的簇首。簇首根据周边节点回馈的相应信息,基于 TDMA 来为簇内成员分配时隙。具体流程如图 2 所示。

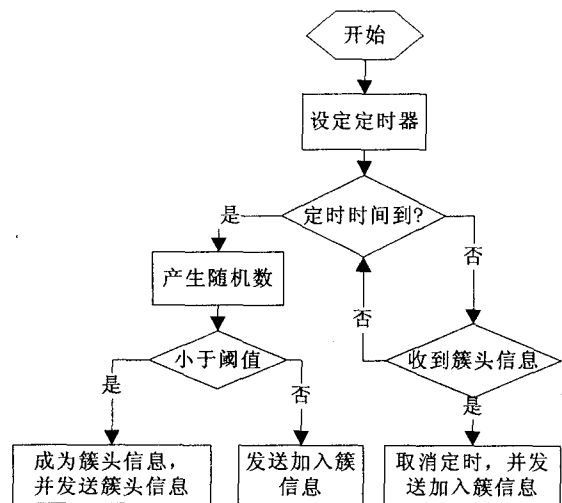


图 2 LEACH 协议簇建立阶段节点流程

在簇稳定阶段,簇内成员持续采集所监测的数据。在簇首为之分配的时隙内传到簇首,簇首进行数据融合后再将数据传送到 sink 节点。经过指定的时间后,进入下一轮再次选举出簇首。为减少各簇间信息干扰,在各簇内采用不同的 CDMA 编码。

1.2 算法不足

算法不足方面如下:

(1) 区域划分的不均: LEACH 算法中簇首的产生具有极大的随机性,无法保证获得最优化的簇区域划分方案,文献[10,11]给出了节点数与成簇区域之间的优化关系。另一方面较远的簇首与 sink 节点进行通信,也会消耗过多的能量,造成网络部分较远节点能量消耗加速^[12]。同时在簇内可能会出现部分簇首相距过近或部分区域的节点离簇首太远的情况,大大增加了节点的传输能耗。

(2) 网络每经过一段时间后,全部簇首即开始重新选举簇首,并向全网广播簇首信息,簇首选举一方面使得在簇首选举的过程当中消耗额外能量,另一方面又使得各节点的负载均衡,进一步实现节点能量消耗均衡。若选定的时间间隔过长,那么在每一轮的稳定阶

段,簇内簇首节点数据传输量大,容易造成该节点能量消耗过快,造成部分节点能量消耗不均,容易导致部分节点过早消亡。若选定时间间隔过短,则频繁选举会造成额外能量消耗过大。

事实上,随着时间往后推移,各存活节点平均能量值减少,仍然采用固定时间间隔竞选簇首,会导致部分担当簇首的节点能量过度消耗,加速死亡。所以应该根据其能量消耗速度来调整其定时器间隔值,以便尽快让能量较多的节点负担起责任,以使网络生命周期延长。

2 基于 LEACH 的线性预测能耗均衡路由协议

2.1 算法的提出

针对以上情况,基于固定定时机制造成的部分节点能量消耗不均对网络造成的影响,我们提出一种基于 LEACH 能量均衡的线性预测路由协议——LEACH-LPEB 路由协议(LEACH Protocol on Linear Predictive Energy-Balanced)。

其基本思想如下:

(1) LEACH-LPEB 在成簇方法上与 LEACH 协议相同,同样分为簇建立阶段和簇稳定阶段,在簇稳定阶段传输数据信息。在保证簇稳定阶段远远长于簇建立阶段的基础上,动态调整下一轮簇头选举启动时间长。

(2) LEACH-LPEB 在基站收集各节点能量信息,累积记录历史各轮次当中节点能量消耗平均速度 $\bar{V} = \Delta E / \Delta T$,考虑到能量消耗的连续性,为避免下一轮能量消耗过大,根据历史能量消耗速度预测下一轮当中节点能量消耗的速度,当前轮中若网络节点平均能量消耗加大,则说明负担簇首的节点能量消耗过快,在下一轮时则缩短时长,从而减少该轮通信量,进而得以平衡该轮簇首节点能量消耗。若当前轮消耗较上次较慢,则说明簇首节点能量消耗速度减缓,可适当延长下轮簇首切换的时长,减少因簇首切换过快带来的额外能量消耗。为了反映速率变化的时效性,只考虑相邻最近的两次变化速率情况。

记 T_{k-1} 、 T_k 各时刻所有节点消耗的总能量分别为 AE_{k-1} 、 AE_k ; 各时刻存活的节点数分别为 N_{k-1} 、 N_k 。接下来的 T_{k+1} 时刻节点能量消耗总值和存活节点数分别为 AE_{k+1} 、 N_{k+1} 。

则上一轮当中存活节点能量消耗平均速度为

$$V_{k-1} = \frac{AE_k - AE_{k-1}}{N_{k-1}(T_k - T_{k-1})}, \text{ 本轮存活节点能量消耗平}$$

均速度为 $V_k = \frac{AE_{k+1} - AE_k}{N_k(T_{k+1} - T_k)}$ 。设定下一次时间间隔 ΔT 由式(2)得出。

$$\Delta T = (T_{k+1} - T_k) * \frac{V_{k-1}}{V_k} \quad (2)$$

式(2)当中,若 $V_{k-1} < V_k$ 表明能量消耗速度加快,此时缩短了下一轮簇首切换的时间间隔 ΔT ; 若 $V_{k-1} > V_k$ 表明能量消耗速度趋缓,此时延长了下一轮簇首切换的时间间隔 ΔT 。

2.2 仿真分析

通过 NS2^[13] 环境仿真实验环境下,参照 Heinzelman 提出的仿真模型,100 个无线传感器节点随机分布在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的方形区域内,BS 节点坐标为(50, 175),每个节点的初始能量为 2J,数据包长度为 500B,发送和接收数据的能量消耗为 50nJ/bit,放大电路功耗为 100pJ/(bit · m⁻²),文中仿真采用 LEACH 与 LEACH-LPEB 协议的初始定时器时间间隔均为 20 秒。将从节点能量消耗平均值、存活节点个数以及单位比特所消耗的能量值这三个方面来比较仿真结果。

首先,图 3 给出了节点能量消耗平均值随时间的变化情况。其中 LEACH-LPEB 的能量消耗值一般要较 LEACH 低,且曲线更加平滑,节点能量消耗平均值表现更好。这说明本算法的能量均衡办法是有效的。值得注意的是,LEACH 后期节点较少,且前期部分节点能量消耗相对较低,才导致曲线尾部节点平均能量消耗值减少,但节点过少增加了与 sink 节点通信的开销,加速节点的死亡,网络整体能量消耗不均衡。

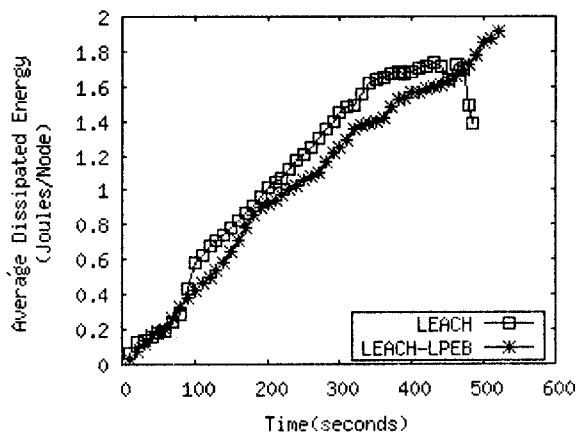


图 3 网络节点的平均能量消耗值

以网络中节点数的节点死亡数量随时间变换关系如图 4 所示。图 4 表明了文中方法均衡了簇首节点在短时间内的负载,从而具有更长的网络生命周期。

单位比特所消耗的实际能量越低,说明能量消耗的有效性能更佳。全网能量消耗与有效传输的数据量(sink 接收到的有效数据总量)之比关系如图 5 所示。图中关系表明文中方法较 LEACH 协议有更低的单位

比特能耗值,能量消耗的方式更为合理有效。

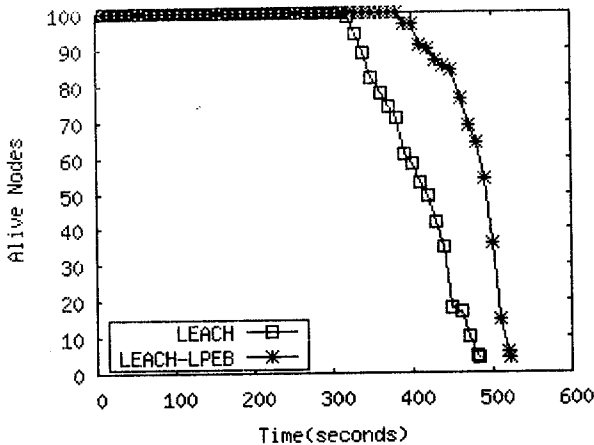


图 4 存活节点数与时间关系图

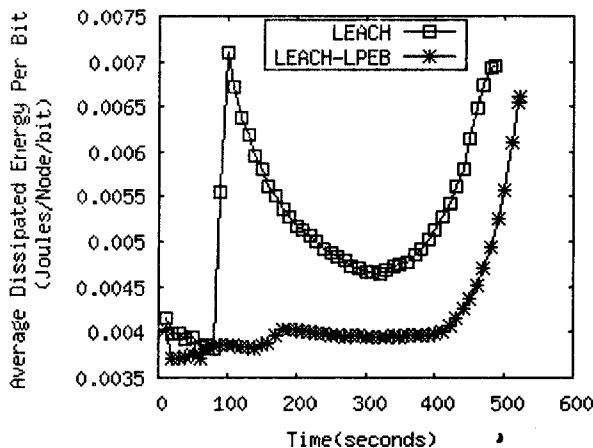


图 5 平均的单位比特能量消耗关系图

3 结束语

在基于 LEACH 算法的基础之上,采用线性预测能量消耗的办法动态调整簇首节点的切换时长,均衡了部分担当簇首的节点消耗速度,实现了网络负载均衡,延长了网络生命周期。仿真实验结果也说明,本算法与 LEACH 算法相比,提高了单位能量有效数据率,延长了网络生命周期。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [2] 崔莉,鞠海玲,苗勇,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] 唐勇,周明天,张欣.无线传感器网络路由协议研究进展[J].软件学报,2006,17(3):410-421.
- [4] 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.
- [5] Anastasi G, Conti M, Di Francesco M, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey[J]. Ad Hoc Networks, 2009(7):537-568.
- [6] Kulik J, Heinzelman W R, Balakrishnan Hari. Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks[J]. Wireless Networks, 2002, 8(2-3):169-185.
- [7] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking [J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2003, 11(1):2-16.
- [8] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//In: Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [9] 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.
- [10] 杜胜永,柴乔林.基于最大连通度的生成簇优化算法[J].计算机应用,2006,26(6):186-189.
- [11] 肖伟茂,王力.一种基于 LEACH 的无线传感器网络路由算法[D].西安:西安电子科技大学,2006.
- [12] 张华忠,刘志杰,于鹏程.WSN 中负载均衡的 LEACH 通信协议研究[J].计算机工程与设计,2007,28(18):4403-4406.
- [13] 徐雷鸣,庞博,赵耀.NS 与网络模拟[M].北京:人民邮电出版社,2003.

(上接第 60 页)

- Reference, (Literature Number: SPRU565B) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [8] Texas Instruments. TMS320C6000 CPU and Instruction Set Reference Guide (Literature Number: SPRU189F) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [9] Texas Instruments. TMS320C6000 Assembly Language Tools User's Guide, (Literature Number: SPRU186N) [M]. [s. l.]: [s. n.], 2004.

- [10] 彭启琮,管庆. DSP 集成开发环境——CCS 及 DSP/BIOS 的原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 陈明,梁兴东,吴一戎.基于 H.264 的嵌入式无线视频监控[J].微计算机信息,2008,32(5):10-12.
- [12] 魏本杰,刘明业,章晓莉.二维 DCT 算法及其优化的 VLSI 设计[J].计算机工程,2006,32(2):16-18.