

基于 NS-2 的 LEACH 协议改进

彭艾¹, 黄岚¹, 王忠义¹, 王成²

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 针对无线传感器网络能量有限的问题, 从稳定性的角度出发, 提出 LEACH 协议的低功耗改进方案。借助 NS-2 仿真对比改进前后协议的运行结果, 讨论传感器能耗对协议低功耗改进的影响。仿真结果表明, 协议改进后网络生存期和传输数据量分别增加了 45.87% 和 35.16%, 变异系数(CV 值)得到改善, 但当传感器耗能占节点总能量的 60% 时, 协议的改进没有效果。

关键词: LEACH 协议; NS-2 仿真; 低功耗; 传感器耗能

Improvement of LEACH Protocol Based on NS-2

PENG Ai¹, HUANG Lan¹, WANG Zhong-yi¹, WANG Cheng²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083;

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097)

【Abstract】 Aiming at the problem of limited energy of Wireless Sensor Networks(WSN), this paper proposes an approach of energy-saving improving for LEACH protocol in aspect of stability. Using a simulation software NS-2 simulation, this paper compares performances of the improved version of LEACH protocol with the original one and discussed the influence of the energy dissipation of sensing module on the protocol improvement. Simulation results show that the modified protocol improves 45.87% longer lifetime and 35.16% more data than the original one as well as the value of CV. But it is found that when the energy dissipation of sensing module is more than 60% of the total energy, the improvement of the protocol is invalid.

【Key words】 LEACH protocol; NS-2 simulation; low energy consumption; energy dissipation of sensor

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)^[1]是由能量及资源有限的大量节点构成具有数据采集、检测、控制的强有力的自组织网络形式, 应用于军事、医学和工农业等众多领域。在有限的能量约束下, 降低无线传感器能量消耗, 延长网络生存期和网络传输的可靠性、稳定性是研究和应用无线传感器网络的热点。

LEACH 协议^[2-3](Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol, LEACH protocol)是一种动态分簇协议, 它采用节点轮流随机担任簇首的方式均衡节点能量消耗, 与 MAC 协议构成跨层设计, 并结合数据融合及睡眠唤醒机制的合理应用, 能为网络节省能量, 将网络的生存期较之前的平面多跳路由协议和静态分簇算法延长 15%^[2]。但该协议在稳定性等方面有待进一步改进, 且以往无线传感器网络低功耗协议研究中常忽略传感器的能耗, LEACH 原协议和众多的改进版本研究中均未涉及传感耗能对协议运行的影响。

本文分析 LEACH 协议的运行机制、优势及存在问题, 针对问题进行低功耗改进, 保证协议运行的稳定性, 借助 NS2 仿真软件对改进前后的协议进行仿真对比, 并分析传感器耗能对协议改进产生的影响。

2 LEACH 协议分析

LEACH 协议将网络的工作划分成“轮”, 每轮分为组簇阶段和稳定数据传输阶段。在组簇阶段, 每个节点产生一个 0~1 之间的随机数并计算阈值, 根据随机数与阈值比较的结果决定是否成为簇首, 簇首广播簇首信息, 节点选择簇首并发送入簇申请, 簇首根据收到申请的情况生成数据传输列表

并广播。在稳定数据传输阶段, 节点按数据传输列表传输数据给簇首, 簇首接收成员的数据, 接收完毕, 簇首将融合后的数据发送给基站。LEACH 协议采用节点轮流担任簇首的方式, 将簇首的高能量消耗分摊到每个节点, 保障网内节点能量的均匀消耗。组簇 簇内数据传输 数据融合 簇外数据传输的数据采集方式减少了需要进行长距离通信的节点数量和通信量, 从而降低了系统的能量消耗。

关于簇首产生中阈值的计算, 可参考文献[2-3], 但这种计算方法仅考虑节点担任簇首的概率, 没有考虑节点的剩余能量, 会导致产生不合适的簇首, 目前一些文献中提到关于阈值计算方式的改进, 即在簇首的选举中加入了节点的能量(剩余能量、平均能量、消耗能量等), 但随着网络工作的进行, 网络状况会发生一些改变, 因此, 阈值的计算应体现动态变化, 本文就该方面的改进进行研究。

近年来, 研究人员采用各种方法改进 LEACH 协议^[4], 并积累了不少研究成果, 但 LEACH 协议还存在着一些不足的地方, 这些问题会使网络工作稳定性无法得到保证。本文针对 LEACH 协议及之后其他改进版本中簇首产生过于随机和意外情况(如节点没有收到任何簇首信息、簇首没有任何成员节点、节点申请入簇但没有分配到传输时隙或没有接收到数据传输列表等)出现时的节能处理问题, 对协议进行改进。

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2008AA10Z201); “十一五”国家科技支撑计划基金资助项目(2006BAD11A10-004)

作者简介: 彭艾(1983-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 嵌入式系统及应用; 黄岚、王忠义, 副教授; 王成, 副研究员

收稿日期: 2009-03-04 **E-mail:** biomed_hl@263.net

3 LEACH 协议低功耗改进

3.1 簇首的产生

改进簇首产生方式，改进算法如下：

定义 $S=\{head, havebeenhead, candidate\}$ ：节点状态标志集合。分别标记节点是否为簇首、在一段时间内是否担任过簇首及是否为候选簇首。

输入 节点状态标志集合 S ；

节点产生的随机数 $randnum$ ；

节点计算的阈值 T_{node}

输出 节点状态标志集合 S

标记 N ：网络节点总数(不包括基站)；

k ：最佳分簇数；

r ：工作轮数；

$head_time$ ：节点当选簇首的次数；

$node_times$ ：节点连续成为非簇首节点的次数；

$during$ ：节点 2 次当选簇首的间隔轮数

If $r=N/k$

$during=0$;

$r=r+1$;

If $during>0$

$havebeenhead=1, during=during-1$;

If $havebeenhead=1$

Goto Step12;

If $candidate=1$

Goto Step13;

If $randnum<T_{node}$

$candidate=1, Goto Step13$;

$head=0, candidate=0, Return S$;

Select cluster head from candidate

If $head=1$

$candidate=0, head_time=head_time+1$,

$during=N/(k-head_time)-node_times, node_times=0$,

Goto Step17;

$Candidate=0, node_times=node_times+1$;

Return S.

其中，候选簇首的产生由 2 个部分组成：(1)上一轮簇首选择剩余能量最多的成员节点作为下一轮的候选簇首(网络的第 1 轮工作没有提前指定的候选簇首)；(2)根据随机数和阈值决定是否成为候选簇首。成为候选簇首的节点广播候选簇首信息，再根据各个候选簇首的剩余能量和产生候选簇首个数选出簇首。

确定候选簇首时，改进的阈值计算如式(1)所示：

$$T_{node} = \begin{cases} \frac{k}{N} \times \frac{E_{n_current}(r)}{E_{n_average}(r-1) - E_{n_dissipate}(r-1)} & \text{if } node \in G \cap E_{n_average}(r-1) > E_{half_energy} \\ \frac{k}{N} \times \frac{E_{n_current}(r)}{E_{half_energy}} & \text{if } node \in G \cap E_{n_average}(r-1) < E_{half_energy} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中， G 为在 $1/p$ 轮之内还没有任过簇首的节点的集合； $node$ 为在 $1/p$ 轮之内还没担任过簇首的节点； $E_{n_current}(r)$ 为节点在 r 轮开始时的剩余能量； $E_{n_average}(r-1)$ 为节点在 $r-1$ 轮加入的簇的簇内节点平均能量； $E_{n_dissipate}(r-1)$ 为节点在 $r-1$ 轮计算完平均能量后到新一轮工作开始之前的能量消耗； E_{half_energy} 为节点初始能量的一半。

由于组成一个簇的节点，理论上应相隔不远且具有一定的统计特性，因此可用局部的平均能量估计全局平均能量，代替网络剩余节点数量及网络总剩余能量。用可动态获得的

信息作为阈值计算公式的参数，同时结合节点 $head_time$, $node_times$ 和 $during$ 的值决定节点是否有机会成为簇首。由此，节点是否成为簇首不再仅决定于阈值的计算和产生的随机数，使得产生的簇首更加合适，每轮产生的簇首数也更加均衡，同时最佳分簇数不是一成不变的，会随着网络剩余节点数的减少而变小。本文在研究对阈值计算公式的改进时，考虑了这一问题，采用分阶段计算阈值的方式，通过减小阈值的方法降低节点成为簇首的概率。

3.2 组簇过程中发生意外事件的处理

在组簇阶段，信号干扰、冲突、不同步等原因会导致意外情况的产生，如非簇首节点没有接收到簇首的信息、节点向簇首发送了入簇申请而没有收到数据传输列表或收到了数据传输列表却没有被分配传输时隙、簇首没有接收到节点的入簇申请等，这些都会造成组簇失败，而 LEACH 协议没有对这些情况采取节能的处理措施。

图 1 描述了本研究对这些意外情况的处理过程。

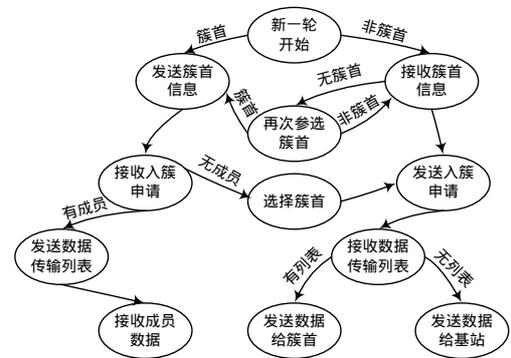


图 1 意外情况处理过程

当簇首发现自己没有成员时选择其他的簇首作为自己的簇首；当节点没有收到簇首信息时，再次进行簇首选举。除了上述的处理外，还为发送入簇申请的节点设置一个判断标识，用来判断一段时间后是否收到了数据传输列表，避免节点空等。另外，鉴于 LEACH 协议涉及网络层协议与 MAC 协议的跨层设计，所采用的 MAC 协议混合了 CSMA, TDMA 和 CDMA 技术，其中，CSMA 技术应用于整个网络通信过程；TDMA 技术主要用于稳定数据传输阶段簇内数据的传输；CDMA 技术用于节点选定簇首后信息及数据的通信^[2-3]，避免临近节点通信的互相干扰和通信冲突。可通过调整节点发送信息的时刻和改进簇首选择 CDMA 码的方式等方法来尽量避免节点没有收到传输列表或没有被分配传输时隙等情况的发生。

4 仿真结果与讨论

4.1 实验方案

本文实验采用协议仿真工具 NS-2(Network Simulator Version 2)，版本为 2.28。NS-2 是一款源代码开放且免费的网络模拟软件^[5]，是用于教学、网络研究与分析等方面的网络模拟工具，它内含离散事件模拟引擎，构件库丰富，可以构建并仿真分析整个协议栈的运行情况，进行有线或无线网络多种协议的模拟，也可使用自带的 nam 动画演示程序来观察网络的运行效果，同时该工具采用分裂对象模型即用 C++ 和 Otcl 2 种语言实现构件，兼顾协议运行的高效性及网络环境参数设置灵活性，便于研究者使用 NS-2 及扩展 NS-2 的功能，但由于在使用过程中需要对 2 套代码进行维护，就增大

了 NS-2 使用难度。

目前 LEACH 原协议仿真代码包 mit.tar.gz 可以从互联网上获得, 脚本文件中对网络的一些设置参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

参数名称	符号	参数值	参数名称	符号	参数值
网络节点数 (不包括基站)	N	100	初始能量/J	$init_energy$	2
监测区域边长/m	M	100	基站相对位置	bs_x, bs_y	50, 175

LEACH 协议中假设节点不知其地理位置, 且节点随机部署, 为保证采集数据的精确性, 选择从网络开始运行到第 1 个死亡节点出现的时间为网络的生存期(FND)。分别采用原有参数和多种参数组合仿真改进前后的 LEACH 协议。鉴于仿真结果存在随机性, 为减少这种随机的影响, 保障结果的稳定性, 协议运行的结果均为 30 次仿真的平均值。采用变异系数 CV(Coefficient of Variance)来考察仿真结果的变异性(或称为离散程度), 以便评价改进效果, 如式(2)所示, 其中, σ 为标准差, μ 为均值。

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

4.2 仿真实验结果

4.2.1 使用原有参数的仿真结果

(1)生存期对比: 图 2 是 LEACH 协议改进前后生存期的对比结果。改进前 LEACH 协议的 CV 值为 34.6%, 改进后该协议运行较稳定, CV 值仅为 1.7%。网络平均生存期比改进前提高了 45.87%。

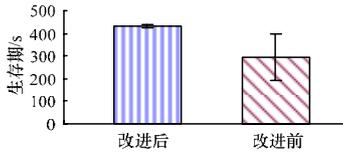


图 2 生存期对比

(2)分簇情况对比: 图 3 为 LEACH 协议改进前后分簇情况的对比, 改进前协议每轮产生的簇首数很不均衡, CV 值很大, 为 55.7%。与之相比, 改进后协议每轮产生的簇首数浮动较小且都在最佳值(仿真中为 5 个)左右, CV 值减小到了 2.6%。前文分析指出网络运行后期最佳簇首数会变小, 本研究采用减小阈值的方式降低网络运行后期节点成为簇首的机会, 因此, 改进后网络产生簇首数的平均值会略低于 5。

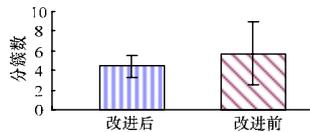


图 3 分簇数对比

(3)数据量对比: 数据量的统计通过基站节点计数的方式实现, 每 1 个单位数据量代表节点传输了一个数据包, 该数据包包含 25 Byte 的数据包头和 500 Byte 的数据包载荷, 总共 525 Byte 即 4 200 bit 数据。图 4 为网络生存期结束时数据量比较, 数据量是基站的计数统计值, 改进后数据量较改进前增多 35.16%。改进前的 CV 值为 35.6%, 而改进后的 CV 值减小到了 2.3%。

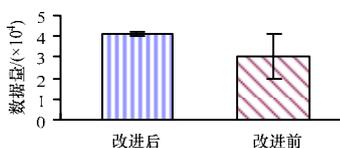


图 4 数据量对比

(4)能量消耗对比: 在不考虑处理器、传感器耗能的情况下, 网络的能量消耗与数据通信紧密相关, 图 5 所示的是改进前后 LEACH 协议在生命期结束时的能量消耗, 改进后协议的 CV 值为 2.0%。可见, 改进后的能量消耗与生存期和数据量一样都是稳定的, 而且生存期和数据量都有所增加且增加幅度大于能量的增加。协议改进后, 网络消耗比改进前略多的能量维持更长的生存期并采集更多的数据。

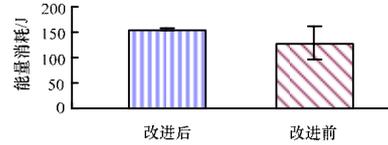


图 5 能量消耗对比

通过图 2~图 5 可以发现, 改进前后协议生存期、分簇数、生存期结束时的数据量和能量消耗这 4 个值的 CV 值都得到了较大改善。

4.2.2 改变参数后的仿真结果

更改相应的仿真参数, 比较协议改进前后网络的生存期, 如表 2 所示。其中, 第 1 组~第 3 组分别为改变节点总数与监测区域范围、改变节点初始能量和改变基站相对位置的对比数据。改变某一参数时, 其他参数不变。

表 2 更改仿真参数仿真结果对比

	N	M	$init_energy$	bs_x, bs_y	原协议	改进协议	增长幅度 /(%)
					FND	FND	
第 1 组	100	200	2	50, 175	196	348	77.55
	200	100	2	50, 175	698	834	19.48
	200	200	2	50, 175	278	830	198.56
	50	100	2	50, 175	152	224	47.37
第 2 组	50	200	2	50, 175	108	162	50.00
	100	100	1	50, 175	184	210	14.13
	100	100	3	50, 175	434	640	47.46
第 3 组	100	100	4	50, 175	666	848	27.33
	100	100	2	50, 50	340	434	27.65
	100	100	2	100, 100	400	434	8.50
	100	100	2	100, 0	308	430	39.61
	100	100	2	150, 150	292	400	36.99
	100	100	2	200, 200	38	140	268.42

第 1 组数据显示, 改变仿真场景设置, 扩大检测区域, 改进后网络的生存期均有所提高, 说明协议改进后网络更能适应检测区域的改变。初始能量对改进前后协议生存期的有一定影响。第 3 组数据显示, 当 $bs_x=200, bs_y=200$ 时, 改进后网络的生存期比改进前提高了 268.42%, 说明当基站远离检测区域时改进后 LEACH 协议表现出更好的性能。而且第 3 组对比的前 4 个对比结果表明, 当基站的位置与检测区域相距不远时, 其位置的变化对使用改进后 LEACH 协议的网络生存期影响不大。

研究表明在某些限定的应用场合传感器的能量消耗与通信相比很小^[6], 但在一些实际应用中, 网络采集数据所用的传感器功耗较大。基于此, 在研究网络功耗时这部分能耗不仅不能被忽略有时还应该被重点考虑。令节点的初始能量为 2 J, 假设节点总能量的一部分专门为传感器供电, 考察传感器耗能对改进前后协议运行的影响如图 3 所示, 考察指标为网络的生存期, 其中 0 代表不考虑传感器耗能的情况。

图 6 显示当传感器耗能小于 0.9 J(占总能量 45%)时, 协议的改进使网络生存期增加明显, 0.9 J~1.2 J(占总能量 60%)之间时生存期增加不多, 而当传感器耗能增加为总能量的

60%以及更多时,协议的改进对网络生存期的增加已经没有效果。这说明单纯从通信协议的角度为网络节能是在传感器耗能在一定范围时才起作用的,因此,在实际应用中降低网络的功耗必须要结合所采用的传感器的耗能情况来设计节能措施,同时当软件节能对降低网络功耗所起的作用不大时,硬件的节能设计就显得特别重要。

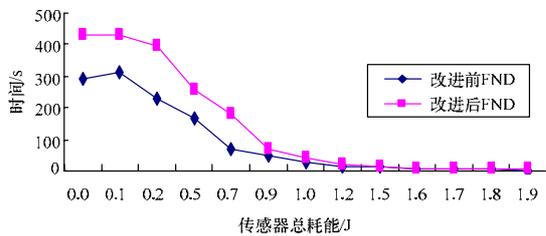


图6 传感模块耗能对网络生存期的影响

作为协议应用的一个特例,设施农业中节点的通信耗能和传感耗能都很大,且局部数据具有相似性,较适宜采用LEACH协议这种能量高效簇收集数据的通信协议,而且要结合应用的具体情况对LEACH协议进行低功耗改进。具体应用时可综合设施农业中节点可以人为均匀地部署且应用中数据采集在时间和空间上分布的特殊性等特点,并结合节点工作的合理调度进行协议改进,甚至当通信协议对降低网络功耗起的作用不大时,可考虑设计更加节能的传感器来为网络节能。

5 结束语

本文在分析LEACH协议运行机制的基础上,针对协议

簇首的产生、运行过程中出现的意外情况设计了低功耗改进方案。仿真结果表明,在所有条件设定一致的情况下,改进后的LEACH协议无论采用哪组参数的仿真结果都优于改进前的协议,网络生存期比改进前平均增加了45.87%,且稳定性提高明显。由于节点间还是采用单跳通信,因此,协议不适合用于网络规模过大的场合,而且改进后的协议在意外事件的处理方面还不够完善,今后的研究方向是对此做出改进,并考虑其他改进协议中传感器的耗能问题。

参考文献

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//Proc. of HICSS'00. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Press, 2000.
- [3] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An Application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.
- [4] 乐世成, 王培康. 无线传感器网络中的节能路由算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 113-117.
- [5] Varadhan F K. The NS Manual[Z]. (2007-04-03). <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation>.
- [6] Estrin D. Wireless Sensor Networks Tutorial Part IV: Sensor Network Protocol[M]. Atlanta, Georgia, USA: Mobicom, 2002.

编辑 金胡考

(上接第96页)

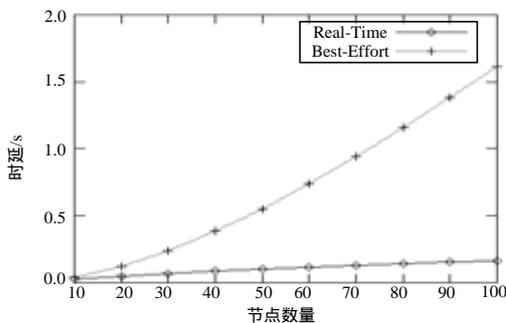


图4 RT流和BF流的饱和状态下的时延

图5是RT流和BF流在MAC层的分组丢弃概率分析,由于减少了RT流MAC层重传次数,因此RT分组的丢弃概率明显大于BF分组。可通过前向纠错技术或接收方的差错隐藏技术来减小由于分组丢失对接收方造成的影响。

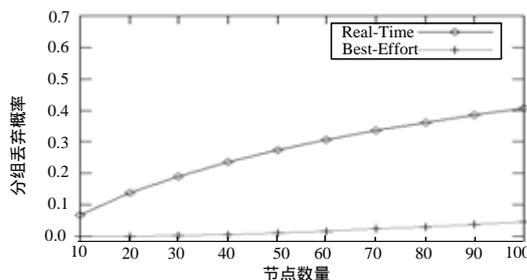


图5 RT流和BF流的分组丢弃概率

5 结束语

本文提出一种基于区分服务的802.11媒体接入控制机制,该机制通过减少高优先级数据流MAC重传次数,使发送高优先级数据流(实时数据流)的节点更容易连接信道,从而确保了高优先级数据业务的服务质量。数学分析表明,该机制能使高优先级数据流占用更多的带宽。

参考文献

- [1] He Jianhua, Zheng Lin. Analytical Model for Service Differentiation Schemes for IEEE 802.11 Wireless LAN[J]. IEICE Transactions on Communications, 2004, 87(6): 1724-1729.
- [2] Li Bo, Li Jiandong. Supporting Service Differentiation with Enhancements of the IEEE 802.11 MAC Protocol: Model and Analysis[J]. Science in China Series F: Information Sciences, 2007, 50(5): 732-746.
- [3] 杨宗凯, 许昌春. 基于分组到达率的IEEE802.11无线局域网区分服务方法[J]. 电子学报, 2006, 10(34): 1864-1867.
- [4] 王朝阳, 孙丹丹. 带区分服务扩展的802.11MAC协议及其性能分析[J]. 通信学报, 2007, 28(3): 1-7.
- [5] Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [6] Yang Xiao. Saturation Performance Metrics of the IEEE 802.11 MAC[C]//Proceedings of VTC'03. Orlando, Florida, USA: IEEE Press, 2003.

编辑 金胡考