

基于自适应睡眠机制的 WSN 能量高效协议

梁 芳¹ 沈济南²

(湖北民族学院理学院 恩施 445000)¹ (华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)²

摘 要 由于无线传感器网络节点能量受限,高效的能量节省策略成为无线传感器研究的热点技术之一。通过分析无线传感器网络各层的能量高效解决方案,给出一种基于自适应睡眠机制的无线传感器能量高效协议。该方案根据剩余能量存储、地理位置信息以及邻近结点负载程度,采用可变睡眠持续时间机制来选择转发分组方式。与基于地理位置随机传播方案相比,提出的方案可以大幅节省网络结点能量,有效均衡网络能量消耗。因此,该方案能够显著延长整体网络寿命。

关键词 无线传感器网络,能量高效,自适应睡眠机制,基于地理位置随机转发

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.4.011

Energy Efficiency Protocol Based on Adaptive Sleeping in Wireless Sensor Network

LIANG Fang¹ SHEN Ji-nan²

(School of Science, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China)¹

(School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)²

Abstract Due to the energy limitation of wireless sensor network nodes, the efficiency strategy of energy saved becomes one of the most hot technologies. An energy efficiency protocol based on adaptive sleeping was proposed after analyzing the solution schemes of energy efficiency in all layers of wireless sensor network. According to the residual energy reserves, geographical location and the traffic load of nearby nodes, the data packets are forwarded with the adaptive sleeping mechanism. Comparing with geographical random forwarding protocol, this scheme can significantly reduce and balance energy consumption of the network, and then apparently prolong the network's lifetime.

Keywords Wireless sensor network, Energy efficiency, Adaptive sleeping mechanism, Geographical random forwarding

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是微电子技术和计算机技术和无线通信技术等快速发展结合的产物^[1]。通过在监测区域内随机部署大量的廉价微型传感器节点,然后采用无线通信技术组成一个基于多跳路由的自组织网络系统。其主要作用是利用传感器节点协作感知,采集和处理网络覆盖范围内的所监测对象信息,被广泛应用于军事、医疗、交通和环境监测等领域。无线传感器网络节点具有体积小、价格低廉等优点,可以通过飞机播撒或者大炮抛撒等作业方式分布在环境恶劣等不适宜人探索的区域。然而,无线传感器网络同时存在节点电源能量有限、通信能力有限、计算存储能力有限等缺点。其中,传感器节点能量消耗过快以及网络能量消耗不均衡成为制约无线传感器网络寿命的主要因素,也是影响无线传感器网络发展的一个重要瓶颈。因此,如何提高能量效率和节省能量消耗已经成为无线传感器网络研究的一个重点和热点。

要考虑在无线传感器网络的协议栈各层次分别采取相应的能量高效协议设计策略。目前由于无线传感器网络的应用系统不尽相同,因此出现了不同的体系结构模型。图 1 给出的是无线传感器网络的典型体系结构协议栈模型^[3]及各层能量优化策略。由于传感器节点的资源 and 计算存储能力有限,一般只考虑在物理层、数据链路层和网络层 3 个层次上的能量高效协议设计策略研究。

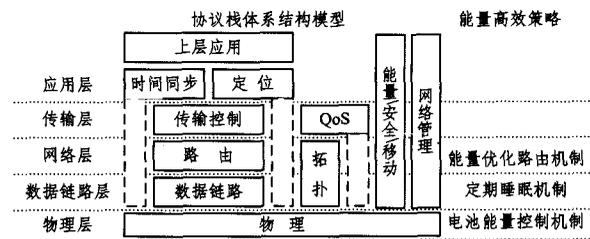


图 1 无线传感器网络协议栈及能量高效策略

1 WSN 体系结构中各层能量节省策略

由于无线传感器网络的生命周期依赖传感器节点的电池能量,而传感器节点的能量都是非常有限的,一旦电池消耗完,对节点进行充电或者更换电池一般是不现实的^[2],因此需

2 典型能量高效协议分析

为提高无线传感器网络能量利用效率,针对无线传感器网络协议栈各个层次提出了多种有效的能量高效协议。在物理层,文献[4]提出了一种基于能量消耗水平的多级转发方

到稿日期:2014-05-31 返修日期:2014-08-11 本文受国家自然科学基金项目(61272072)资助。

梁 芳(1979-),女,硕士,讲师,主要研究方向为云计算、数据安全、访问控制,E-mail:maple_liang@163.com;沈济南(1980-),男,讲师,博士生,主要研究方向为云计算、数据安全、访问控制,E-mail:shenjinan@163.com(通信作者)。

式,可以根据不同需求来消耗能量,减少了能量浪费,但是需要比较复杂的硬件支持。在数据链路层,文献[5]利用定期睡眠机制来控制传感器节点能量消耗,然而这样有可能会使得网络负载加重,造成其它网络节点的能量浪费;文献[6]则提出了一种 MAC 帧地址缩短的协议设计来减少发送数据的能量消耗,但这有可能会造成异构网络不兼容。在网络层,文献[7]给出了一种基于能量意识的路由协议,通过根据网络中节点的剩余存储能量进行路由选择,所选择的转发路由不一定是最佳路由,将有可能造成整体网络能量消耗增加;文献[8]通过建立多条备选路由,根据概率大小进行选择,可以避免网

络中某个区域能耗集中而形成能量“空洞”,但频繁选取簇头节点使得通信能耗开销增加。

另外,无线传感器网络与传统网络分层的区别是协议栈各层间要相互紧密协作与信息共享,所以不应该固守传统分层设计观念,要通过跨层设计来优化网络性能^[9]。目前,研究者已提出了多种有效的跨层次能量高效协议。例如文献[10]中 F. Bouabdallah. 等人提出了物理层、数据链路层和网络层联合能量优化协议来保证传输成功概率,但是需要考虑的细节较多,协议实现较为复杂。其中,表 1 给出了无线传感器网络各层次能量高效协议优缺点分析比较。

表 1 无线传感器网络协议栈层能量高效协议优缺点

协议栈层	典型能量高效协议	优点	缺点
网络层	基于能量意识路由协议 备选路由概率转发协议	根据节点剩余能量选择路由 根据概率选择路由,避免能量“空洞”	选择的不是最佳路由,增加整体网络能量消耗 频繁选取簇头节点增加了能耗
数据链路层	基于定期睡眠机制协议 MAC 帧地址缩短协议	节省传感器节点能量 减少发送数据能量消耗	网络负载加重,能量消耗不均衡 可能造成异构网络不兼容
物理层	多层次能量转发协议	根据不同转发需求消耗能量	需要复杂硬件支持
跨层优化	跨层能量优化协议	保证端到端传输成功概率	需要考虑协议细节较多,实现较为复杂

3 基于自适应睡眠机制能量高效协议

文献[11]中 Zorzi M. 等人提出的基于地理位置随机转发协议 (Geographical Random Forwarding Protocol, GeRaF 协议)可以根据地理位置信息逐跳选择最佳节点转发数据包,具有实现简单和对网络拓扑结构改变有较强鲁棒性等优点,但是没有考虑节点剩余能量问题。因为无线传感器网络中的资源受限,所以减少网络能量消耗和延长网络寿命是无线传感器的两个重要目标。因此,针对实现基于地理位置随机转发的协议中没有考虑网络每个节点剩余存储能量不均衡的情况,给出了一种基于自适应睡眠机制的能量高效协议 (Energy-efficiency Adaptive Sleeping Protocol, E2AS 协议)。通过根据节点能量和距离因素选择最佳转发路径,同时根据剩余存储能量和邻近结点负载情况设置合理的变长睡眠时间,可以实现降低结点能量消耗并均衡网络能量消耗,从而达到延长全网络寿命的目标。

无线传感器网络的拓扑结构将会随着节点进入睡眠状态而发生动态变化,使得网络路由选择与节点睡眠机制相互影响,但是这对于实现能量高效是必要的。因此有 3 个关键问题需要考虑:(1)什么节点可以进入睡眠状态;(2)节点在什么情况下睡眠;(3)怎样确定节点的睡眠持续时间。下面给出基于自适应睡眠机制能量高效协议设计描述。

假定所有节点都处在睡眠状态,并且拥有初始固定能量。节点睡眠时间是随机的,其中一部分节点同时激活进入监听状态,监听数据信道和忙音信道时间记为 T_i 。RTP 为请求转发分组,CTP 为响应请求分组。

1. 如果节点在 T_i 时间内接收到 RTP 分组,则节点进入接收状态,并根据式(1)确定节点的发送时隙;

1) 如果节点只需发送一个 CTP 响应分组时,则该节点将转发数据分组,不向其它节点转发分组;

2) 同一个时隙内需要发送多个 CTP 响应分组时,转发器将会发送碰撞报文,没有转发的分组将不允许转发,正在转发的分组等到碰撞结束后再继续转发;

3) 下一个时隙到来之前如果不需要发送 CTP 分组响应请求,则预计算时隙为当前时隙的其它处在接收状态的节点

都发送 CTP 响应分组,最终选择一个节点转发分组。

这里,节点在发送 CTP 分组时所获得的时隙大小是根据节点已消耗能量来计算的,已消耗能量越少的节点更容易得到转发时隙。节点 N_i 的已消耗能量 C_i 的计算公式为:

$$C_i = \frac{rD_i}{T_iE_i} \quad (1)$$

其中, r 为平衡因子, D_i 是到接收节点的距离, E_i 为节点 N_i 的剩余能量, T_i 是转发节点的工作时间。

2. 如果节点在 T_i 时间内没有接收到其它节点的 RTP 分组,则检查自身节点缓存空间是否有待转发数据分组;

1) 如果没有待转发分组,则该节点恢复到睡眠状态;

节点在睡眠状态下可以避免碰撞并节省能量,剩余能量越少的节点作为转发节点的概率越小。自适应睡眠机制下节点 N_i 的睡眠持续时间 TS_i 的计算公式为:

$$TS_i = \frac{\lambda}{E_i} \quad (2)$$

其中, r 为平衡因子, E_i 为节点 N_i 的剩余能量。

2) 如果有待转发分组,则节点监听数据信道和忙音信道是否空闲。若不空闲,则节点进入睡眠状态;若空闲,则节点进入转发状态,并发送 RTP 分组请求转发。

a) 如果节点只接收到一个 CTP 响应分组,则该节点将转发缓存中所有数据分组;

b) 如果节点没有接收到 CTP 响应分组,则节点将会继续监听 CTS 分组,若持续 n 个发送时隙仍然没有接收到 CTP 分组,节点则进入睡眠状态;

c) 如果同一个时隙内接收到多个 CTP 响应分组或噪音信号,则发送碰撞报文,然后继续监听 CTP 响应分组。

3. 如果节点获得数据信道并允许发送数据分组,则首先转发从上一跳路由接收到的所有数据分组,然后再转发自身产生的分组。这样可以增加数据分组到达接收节点的成功概率,并且可以避免上一跳路由节点能量浪费。

4 协议性能分析

本文给出了基于自适应睡眠机制的能量高效协议,同时考虑节点剩余能量和距离接收节点位置信息,实现数据分组

转发,可以在保证接收节点吞吐量的情况下,延长网络使用寿命。下面通过采用 OPNET10.0 仿真比较 GeRaF 协议和 E2AS 协议的能源效率和吞吐量大小。其中,参数设置为:网络覆盖区域为 5km×5km,节点数目为 60,每个节点的初始能量为 200J。

图 2 给出了在相同的密集程度和负载情况下,GeRaF 协议和 E2AS 协议的能源消耗比较分析。从图 2 可以看出,在 GeRaF 协议中簇头节点比叶子节点消耗更多的能源,而且更快地将能源消耗殆尽,使得网络需要重新选择下一轮簇头节点,而下一轮簇头节点能源也将很快消耗完,直到整个网络无法工作。在 E2AS 协议中簇头节点与叶子节点的消耗情况几乎相同,整体网络能源消耗较为均衡,从而可以延长网络寿命。

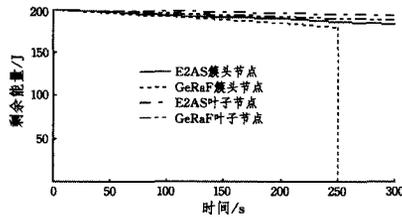


图 2 GeRaF 协议和 E2AS 协议的剩余能源比较

图 3 给出了在相同负载情况下,接收节点在 GeRaF 协议和 E2AS 协议下的吞吐量大小比较分析。从图 3 可以看出,在网络初始工作时,由于 GeRaF 协议只考虑节点的地理位置信息,所选路由是距离接收节点最近的节点,因此接收节点的吞吐量在这一阶段较大。但是随着每一轮簇头节点寿命终止,网络性能急剧下降,接收节点的吞吐量也急剧下降,直到整个网络无法维持正常工作。而 E2AS 协议同时考虑网络节点剩余存储能源和地理位置信息,在较长一段时间内接收节点的吞吐量变化不大,随着时间增加接收节点的吞吐量大小平缓下降。

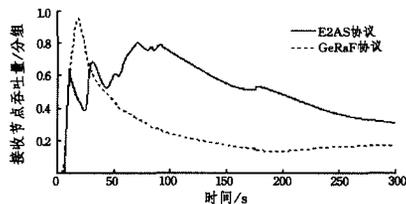


图 3 GeRaF 协议和 E2AS 协议下接收节点吞吐量大小

结束语 能源高效是无线传感器网络的首要设计目标和

所要面临的首要挑战。本文给出的基于自适应睡眠机制无线传感器网络能源高效协议结合了媒体接入控制协议和路由协议,是一种跨层无线传感器网络协议。通过设置节点可变睡眠持续时间以及选择最佳转发节点,可以有效减少传感器节点能源消耗,同时可以平衡网络能源消耗,从而达到延长网络使用寿命的目标。协议性能分析结果表明:E2AS 协议能够很好地应用于高网络负载的密集型无线传感器网络中,具有较好的理论研究价值和实际应用价值。

参考文献

- [1] 谢和平,周海鹰,左德承,等. 无线传感器网络能源优化与建模技术综述[J]. 计算机科学,2012,39(10):15-20
- [2] 乐俊,张维明,肖卫东,等. 一种能源高效和均衡的无线传感器网络分簇数据融合算法[J]. 国防科技大学学报,2012,34(6):66-71
- [3] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:4-7
- [4] 刘唐,汪小芬,杨进. 基于相对距离的多级能源异构传感器网络成簇算法[J]. 计算机科学,2012,39(8):119-125
- [5] Gao De-yun, Zhang Lin-juan, Wang Hwang-cheng. Energy saving with node sleep and power control mechanisms for wireless sensor networks [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2011, 18(1):49-59
- [6] Tang Hong-wei, Cao Jian-nong, Liu Xue-feng, et al. SR-MAC: A low latency MAC protocol for multi-packet transmissions in wireless sensor networks [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2013, 28(2):329-342
- [7] Lu Jun-ling, Wang Xiao-ming. Interference-aware probabilistic routing for wireless sensor networks[J]. Tsinghua Science and Technology, 2012, 17(5):575-585
- [8] 刘震,郭航. 基于同心环分簇网络模型的 WSN 能源空洞避免方法研究[J]. 计算机科学,2013,40(12):147-151
- [9] 卢桂艳,王玲芬,米守防. 无线传感器网络能源优化的研究综述[J]. 大连民族学院学报,2013,15(3):309-313
- [10] Bouabdallah F N, Boutaba R. Load-Balanced routing scheme for energy-efficient wireless sensor networks [C]// Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference. 2008:1-6
- [11] Zorzi M, Rao R R. Geographic random forwarding (GeRaF) for Ad Hoc and sensor networks; energy and latency performance [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2003, 2(4):349-365

(上接第 55 页)

- [11] Zeng L, Benatallah B, Dumas M, et al. QoS-Aware Middleware for Web Services Composition[J]. IEEE Trans. on Soft. Eng., 2004, 30(5):311-327
- [12] 康国胜,刘建勋,唐明董,等. QoS 全局最优动态 Web 服务选择算法[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(1):73-76
- [13] 胡建强,李涓子,廖桂平. 一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型[J]. 计算机学报,2010,33(3):526-534
- [14] Ardagna D, Pernici B. Global and Local QoS Guarantee in Web Service Selection [C] // Proc. Business Process Management Workshop (BPM'05). 2005:32-46
- [15] Zhu Xi-lu, Wang Bai. A Distributed Quality of Service Index Framework[C] // The IEEE Asia-Pacific Services Computing

Conference. 2010:23-130

- [16] Altifai M, Risse T. Combining global optimization with local selection for efficient QoS-aware service composition [C] // Proceeding of the 18th International Conference on World Wide Web (WWW 2009). 2009:881-890
- [17] Chen Hon-gan, Yu Tao, Lin K-J. QCWS: an implementation of QoS-capable multimedia Web services [C] // IEEE Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering. 2003: 165-187
- [18] 王广正,王喜凤,夏敏. 基于本体的 Web 服务可靠性动态评估方法[J]. 计算机科学,2012,39(11):98-102
- [19] 石琳. Web 服务中的 WSDL 文档结构分析[J]. 软件,2012, 33(10):142-144