

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201110002

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20120518.0839.001.html>

一种能量有效的无线传感器网络轮询接入控制协议

何敏¹, 赵东风¹, 保利勇¹, 左朝树²

(1. 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091; 2. 西南通信研究所 保密通信重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 周期性休眠的 PCF 机制虽然较好地解决了无线传感器网络的能耗问题, 但没有考虑节点的负载状态, 降低了系统性能, 也增加了系统的查询能耗. 以限定 ($K=1$) 服务为基础, 提出了一种改进的 PCF 轮询控制协议, 即具有混合服务策略的无线传感器网络轮询接入控制协议 PCF-SS. 该协议在保障公平性的前提下, 能够根据节点状态动态调整优先级并改变服务 K 值, 中心服务器 AP 则根据各节点的服务 K 值在每轮服务时对节点的下一轮服务时间进行预估计, 并采用统一的服务时间表唤醒节点, 达到节能的效果. 仿真实验表明系统的平均等待时间、平均排队队长等性能指标比周期性休眠的 PCF 机制要好, 能量的有效利用率更高, 具有更长的生命周期, 适合作为无线传感器网络的 MAC 控制协议.

关键词: 无线传感器网络; PCF; 能量有效; 轮询服务; 接入控制; 轮询接入控制

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2012)03-0265-06

An energy-efficiency polling access control protocol for wireless sensor networks

HE Min¹, ZHAO Dongfeng¹, BAO Liyong¹, ZUO Chaoshu²

(1. School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Science and Technology on Communication Security Laboratory, Southwest Institute of Communication, Chengdu 610041, China)

Abstract: Although the energy waste is well controlled on the medium access control (MAC) layer under the periodic sleeping point coordination function (PCF) scheme in wireless sensor networks (WSN), the system performance declined and the system query energy cost increased because the node loads were ignored. Based on the limited service ($K=1$), an improved PCF polling control protocol, which is known as the point coordination function by the site status (PCF-SS) for WSN, was proposed. The priority of a node was variable by its status and the service K was correspondingly changed using this protocol. Therefore, the service time of the next turn could be assigned dynamically according to its status when the AP server came to service a node. Also, the nodes were awakened by a uniform service time table which was used to save their power. The experimental results indicate that the performances, such as the mean value of queue length and message waiting time, are better than when using the periodic sleeping PCF scheme. The energy usage is more efficient and the lifecycle is longer, making it suitable for the MAC protocol of WSN.

Keywords: wireless sensor networks (WSN); point coordination function (PCF); energy efficiency; polling service; access control; polling access control

无线传感器网络 (wireless sensor networks, WSN) 综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术, 在军事、环境监测、

医疗、建筑物监测、智能家居和安全报警、反恐和公共安全、商业等领域都有重要的科研价值和广阔的应用前景. 由于传感器节点通常依靠电池供电, 能量有限, 不能直接应用在现有的无线通信协议中, 通常的解决办法是采用休眠机制, 减少节点在空闲时期的能耗. 随机竞争接入能为突发性数据提供灵活的

收稿日期: 2011-10-11. 网络出版日期: 2012-05-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61072079); 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (09y0042).

通信作者: 何敏. E-mail: heather_hee@163.com.

2) 轻载队列采用限定($K=1$)服务;忙队列采用可变($K \geq 1$)服务,即在限定($K=1$)的基础上,根据节点当前状态和上轮状态进行预判,调整优先级及下一轮的服务时间;繁忙队列采用门限服务规则.节点接受服务后,转入休眠状态.

3) 中心根据服务时间表中剩余节点和前驱节点的预计服务时间,估算各节点下一轮服务的开始时间,并在服务结束前通知该节点.

4) 由于节点接受服务后转入休眠状态,服务器不能感知其后续是否有分组到达,因此,轻载组内的节点被服务后,即使处于空闲状态,也被划分到轻负载组,直到下一轮服务时,仍然空闲才转入空闲组中,并将其从轮询列表中删除.

5) 优先级高的节点采用逐级向下调整的策略调整其优先级,而低优先级的节点则根据状态直接调整到相应的优先级组.

6) 空闲节点一直处于休眠状态,直到有分组到达,再申请接入网络接受服务.

7) 每次服务结束后,中心都将进行信道检测,如果有新节点加入,则将其安排到轮询列表的最后.

根据统计原理,参与预测的历史状态次数越多,预测值就越可靠,但运算也越复杂,额外开销越大,因此,系统选取节点最近2轮的状态进行预判.此时,中心存储的轮询列表结构可表示为(节点号,服务顺序号,上轮剩余分组数,本轮剩余分组数,预分配服务数),以1号站点为例,初始时刻表示为(1, 1, 0, 0, K).

1.3 服务时间表

中心采用统一的服务时间表来确定各节点的服务时间和唤醒时刻.当中心为某节点服务时,根据其状态预判下一轮的服务时间,决定该节点的唤醒时刻,更新服务时间表,当节点接受服务后,转入休眠状态并启动一个唤醒时钟.

采用服务时间表带来的一个问题是节点可能延迟苏醒(晚醒)或提前苏醒(早醒).前者是因为中心对剩余节点的服务规则可能是门限或可变($K \geq 1$)服务,而节点的分组到达数量是随机的,因此门限服务和可变($K \geq 1$)服务所耗费的时间是不确定的.为此设定了一个门限值 T_g 来确定门限服务时间,中心可能不需要 T_g 时间就能完成对某节点的门限服务,这对后续节点来说,相当于延迟苏醒;同理,对可变($K \geq 1$)服务也一样,当节点中的分组数少于 K 个时,也将引入延迟.后者正好相反,当中心对某节点的门限服务在 T_g 时间内不能完成时,将推迟后续节点的服务时间,但后续节点并不能感知,仍然按照时

间表上的时间唤醒,相当于节点早醒.上述2种情况是休眠策略不可避免的,晚醒将增加系统时延,早醒则会增加节点的能耗.此外,当前节点可能没有分组发送,但服务器并不能感知(服务规则4)),这对服务器来说增加了一个额外的查询时间,既加大了系统延时,又增加了系统能耗.因此,为了减少延迟或进一步降低能耗,需要更加精确地估计服务时间,这就要求保留站点更多的历史状态,以实时地根据门限服务时间 T_g 和可变 K 值进行调整.

2 系统仿真及分析

2.1 仿真条件

为了便于分析,在仿真过程中进行如下假设.

1) 每个节点在任一时隙内都以均值为 λ 的相互独立、同分布的概率分布向各自的存储器内送入信息分组.

2) 任一节点在接受服务时,由其存储器内向外发送一个信息分组所用的时间变量 β 服从一个相互独立、同分布的概率分布.

3) 不考虑节点位置对传输的影响,节点的转换时间 γ 为定值,信道为无差错状态.

4) 节点的缓存容量足够大,不会出现分组溢出现象.

每轮服务结束后,均形成一个新的服务时间表,结构为(节点号,唤醒时钟),在具体实现中,轮询服务表和服务时间表是结合在一起的.中心为某节点服务后,依据最近2次状态调整其优先级,根据轮询服务表中后续节点的服务时间,计算下一轮唤醒时刻,预测其分组到达数,更新轮询服务表中该节点的服务数.在仿真中,对忙组内的节点按照限定 $K=1+\sigma$ 服务,其中在仿真中, σ 采用了一个分段线性增长函数,直至最后逼近到门限值,即

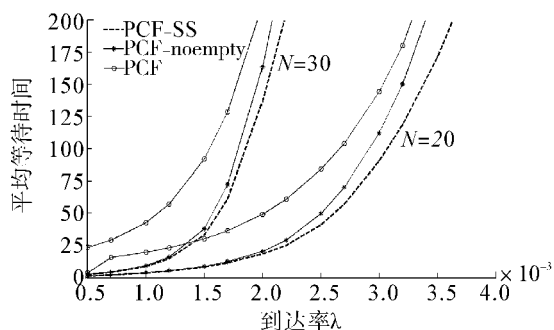
$$\sigma = \begin{cases} 1, & N_i > 1; \\ 2, & N_i > 3; \\ 3, & N_i > 5. \end{cases}$$

式中: N_i 为剩余分组数.

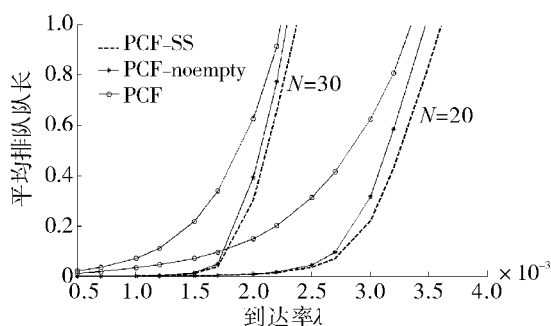
2.2 结果分析

在 Matlab 仿真环境下,分别对带休眠的纯 PCF 系统、不访问空闲节点的限定($K=1$)服务(设为 PCF-noempty 系统)和本文提出的 PCF-SS 3 个系统进行了仿真.在仿真中,以时隙为单位,假定单位服务时间 $\beta=10$ 时隙,中心对节点的查询转换时间 $\gamma=1$ 时隙,节点的分组到达率 λ 服从泊松分布.实验对节点数 $N=20$ 和 $N=30$ 2 种网络规模进行了仿真比较,主要收集和比较影响系统性能和能耗的平

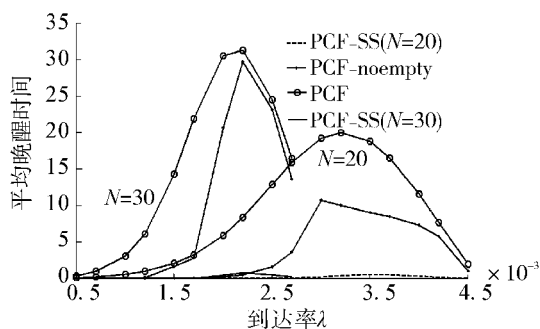
均等待时间、平均排队队长、节点平均晚醒时间量、节点平均早醒时间量、中心平均额外查询时间 5 个参数,并进行了归一化处理,结果如图 2 所示。



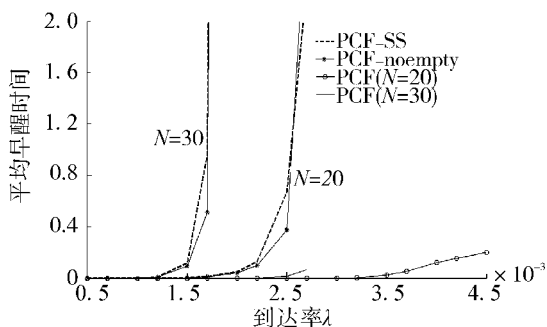
(a) 节点平均等待时间的比较($\beta=10, \gamma=1$)



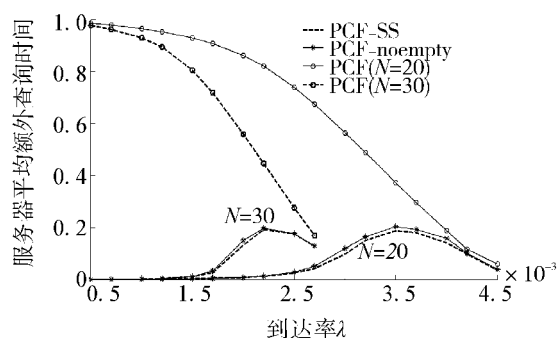
(b) 节点平均排队队长的比较($\beta=10, \gamma=1$)



(c) 节点平均晚醒时间的比较($\beta=10, \gamma=1$)



(d) 节点平均早醒时间的比较($\beta=10, \gamma=1$)



(e) 中心平均额外查询时间的比较($\beta=10, \gamma=1$)

图 2 系统性能比较

Fig. 2 Comparison of system performances

从图 2(a)、2(b)可以看出,由于避免了对空闲节点的访问,PCF-SS、PCF-noempty 系统的平均等待时间和平均排队队长与纯 PCF 系统比,性能显著提高.与 PCF-nonempty 系统相比,虽然 PCF-SS 采用了变 K 服务,但在轻负载下,多数节点依然按照限定($K=1$)规则接受服务,所以性能改善不明显;但随着负载的加重,PCF-SS 中负载重的节点能够接受可变($K \geq 1$)服务,从而使系统的整体性能得到了提高.

图 2(c)、2(d)对非空闲节点的平均晚醒时间和早醒时间进行了比较,在纯 PCF 系统中,不论节点是否空闲,中心均对其进行轮询,导致空闲节点浪费时间,而有业务的节点却只能休眠到其轮次到来时才能接受服务,相反,其早醒情况就几乎不会发生,所以早醒时间接近 0(如图 2(d)所示).而当负载变繁重后(如当 $N=30, \lambda > 0.002$,此时 $N\lambda \times (\beta + \gamma) > 0.66$),节点空闲率大大下降,纯 PCF 的空轮询也随之减少,节点的晚醒反而开始呈下降趋势.同理,在 PCF-noempty 系统中,虽然避免了对空闲节点的轮询,但由于采用限定($K=1$)服务,即各节点分配的服务时间是相同的,在负载较轻时,周期性休眠后部分节点处于空闲状态,但仍然需要被轮询 1 次后才能被确认为空闲节点(由休眠机制决定),相当于增加了非空闲节点的休眠时间(晚醒),相反,早醒时间就能得到较好控制;随着负载的加重,节点空闲率降低,晚醒也呈明显下降趋势,但上轮空闲的节点在下一轮服务时很可能不再空闲,而非空闲节点并不能感知,依然周期性地醒来,相当于早醒,因此早醒时间呈上升趋势.而在 PCF-SS 系统中,虽然也需要对空闲节点空轮询 1 次,但由于采用了服务时间预估计的可变($K \geq 1$)服务,非空闲节点的平均服务时间比 PCF-noempty 系统要长,空轮询 1 次的时间在总的服务时间中所占比例减小,等效于节点

晚醒时间比值减小,但也因为服务时间是预估的,节点的实际服务时间比估计时间可能还要长,而后续节点依然按照服务时间表上的唤醒时间唤醒,即等效于早醒;因此,在负载不太重时,PCF-SS系统的早醒时间比PCF-noempty系统有所增加,而随着负载加重,节点几乎都处于忙队列中,实际服务时间与估计服务时间趋于一致,早醒因素变得单一,这与PCF-noempty系统相同,因此两者早醒的走势一致。

图2(e)对中心(簇首)每轮次的平均额外查询时间进行了比较,平均额外查询时间即空闲节点的查询时间,可反映中心的能量浪费度。从图中可以看出,由于纯PCF系统对所有节点都依次轮询,因此能量浪费最大,但随着负载变大,空闲节点数减少,浪费量呈下降趋势。而在PCF-noempty和PCF-SS系统中,由于避免了对空闲节点的轮询,当轻负载时,空闲节点数多,额外查询时间比值很小,随着负载加大,节点在空闲与非空闲间切换,空轮询1次的概率增加,因此额外查询时间逐渐增加;但随着负载变得繁重,系统中几乎不存在空闲节点,空闲查询量又呈下降趋势。由于PCF-SS系统采用了服务时间预估计的可变($K \geq 1$)服务,服务相同量的信息,所用的服务轮次比PCF-noempty少,空闲查询导致的能量浪费量比PCF-noempty系统有所降低,因此PCF-SS系统对延长中心(簇首)寿命更加有利。

3 结束语

本文针对无线传感器网络的MAC层,提出了一种依据节点状态进行资源分配和服务的轮询协议PCF-SS,通过对节点服务时间的预估计,采用统一服务时间表的方式来实现休眠。仿真实验表明,PCF-SS与周期性休眠的PCF机制相比,具有更好的节能效果和时延性能,特别是中心(簇首)的能量浪费大大减少,缓解了中心能量消耗的瓶颈效应,有利于延长网络生命周期。下一步的工作将结合节点的分组到达率分布,对服务 K 值进行更精确的估计,以进一步提升服务性能,降低等待能耗。

参考文献:

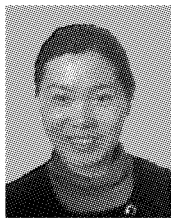
- [1] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]. New York, USA: IEEE-SA, 1999.
- [2] 杨志军,赵东风,丁洪伟,等. 两级优先级控制轮询系统研究[J]. 电子学报, 2009, 37(7): 1452-1456.
YANG Zhijun, ZHAO Dongfeng, DING Hongwei, et al. Research on two-class priority based polling system[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(7): 1452-1456.
- [3] 廖勇,杨士中,徐昌彪. 自适应IEEE802.11 PCF调度算法[J]. 计算机科学, 2007, 34(12): 46-47, 55.
LIAO Yong, YANG Shizhong, XU Changbiao. Adaptive scheme on IEEE 802.11 PCF[J]. Computer Science, 2007, 34(12): 46-47, 55.
- [4] 廖勇,杨士中,徐昌彪. 基于NS2的自适应差额IEEE802.11 PCF轮询机制[J]. 计算机科学, 2009, 36(11): 36-39, 96.
LIAO Yong, YANG Shizhong, XU Changbiao. Adaptive deficit IEEE 802.11 PCF polling scheme based on NS-2[J]. Computer Science, 2009, 36(11): 36-39, 96.
- [5] CROW B, WIDJAJA I, KIM J G, et al. IEEE 802.11 wireless local area networks[J]. IEEE Communication Magazine, 1997, 35(9): 116-126.
- [6] 李琰,朱光喜. 3-gated: WLAN中基于负载自适应的动态调度机制[J]. 计算机科学, 2008, 35(4): 28-32.
LI Yan, ZHU Guangxi. 3-gated: dynamic scheduling scheme based on load adaptation over WLAN[J]. Computer Science, 2008, 35(4): 28-32.
- [7] 黄建辉,钱德沛,王胜灵,等. 用于无线传感器网络的比例公平队列调度算法[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 129-132, 151.
HUANG Jianhui, QIAN Depei, WANG Shengling, et al. Proportional fairness scheduling algorithm used for wireless sensor network[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(2): 129-132, 151.
- [8] 石为人,冯会伟,唐云建. 一种无线传感器网络MAC层协议设计与实现[J]. 计算机科学, 2009, 36(7): 60-62, 67.
SHI Weiren, FENG Huiwei, TANG Yunjian. Design and implement of wireless sensor network medium access control protocol[J]. Computer Science, 2009, 36(7): 60-62, 67.
- [9] SHWE H Y, JIANG Xiaohong, HORIGUCHI S. Energy saving in wireless sensor networks[J]. Journal of Communication and Computer, 2009, 6(5): 20-27.
- [10] 李云,周娴,尤肖虎,等. IMECN:一种新的无线传感器网络拓扑控制算法[J]. 电子学报, 2010, 38(1): 48-53.
LI Yun, ZHOU Xian, YOU Xiaohu, et al. IMECN—a new topology control algorithm for wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 48-53.
- [11] 刘亮,秦小麟,戴华,等. 能量高效的无线传感器网络时空查询处理算法[J]. 电子学报, 2010, 38(1): 54-59.
LIU Liang, QIN Xiaolin, DAI Hua, et al. An energy efficient spatio-temporal query processing algorithm in wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 54-59.
- [12] 徐石玉,栾晓明. 基于分簇的无线传感器网络时间同步

方法[J]. 应用科技, 2010, 37(6): 27-30.

XU Shiyu, LUAN Xiaoming. Cluster-based time synchronization method for wireless sensor networks[J]. Applied Science and Technology, 2010, 37(6): 27-30.

- [13] EU Z A, TAN H P, SEACH W K G. Design and performance analysis of MAC schemes for wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting[J]. Ad Hoc Networks, 2011, 9(3): 300-323.

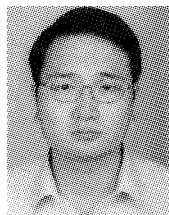
作者简介:



何敏,女,1975年生,副教授,博士,主要研究方向为计算机网络与通信、轮询系统理论、嵌入式应用等。



赵东风,男,1957年生,教授,博士生导师,中国电子学会高级会员,教育部电子电气基础课程教学指导委员会委员,云南省省级重点学科“信息工程与技术”学科带头人。主要研究方向为通信网络理论、传感器网络、电磁环境评估、网络系统仿真、机器人控制等。主持多项国家自然科学基金项目和国防军工项目,发表学术论文200余篇,被SCI、EI和ISTP检索40余篇。



保利勇,男,1975年生,副教授,博士,主要研究方向为计算机通信与网络、轮询系统理论。

The 15th International Conference on Human-Computer Interaction

第15届人机交互国际会议

The HCI International 2013 Conference Proceedings, will be published by Springer in a multi-volume set. Papers will appear in volumes of the Lecture Notes in Computer Science (LNCS) and Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) series. Extended Poster abstracts will be published in the Communications in Computer and Information Science (CCIS) series.

All volumes will be available on-line through the SpringerLink Digital Library, readily accessible by all subscribing libraries around the world, and will be indexed by a number of services including EI and ISI CPCI-S.

Important Dates

Papers:

Deadline for Abstract Receipt: 12 October 2012

Notification of Review Outcome: 30 November 2012

Deadline for Camera-ready Receipt: 1 February 2013

Posters:

Deadline for Abstract Receipt: 1 February 2013

Notification of Review Outcome: 22 February 2013

Deadline for Camera-ready Receipt: 22 March 2013

Tutorials:

Deadline for Abstract Receipt: 12 October 2012

Notification of Review Outcome: 9 November 2012

Deadline for Camera-ready Receipt: 10 May 2013

Website: <http://www.hcii2013.org/index.php>