

基于流量的自适应退避算法

褚好迎 苏胜君 孙亚容

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要: 通过对 SMAC 协议仿真分析,得到节点队列长度与网络流量以及占空比[3]之间的关系,并对此关系进行理论分析,在理论验证的基础上,针对 SMAC 协议固定竞争窗口的缺陷提出了一种基于流量的自适应退避算法,根据流量变化改变竞争窗口的大小,从而缓解网络流量高时激烈的信道竞争,减小网络流量低时空闲侦听时间,信道利用率显著提高。并通过 NS2.35[10]仿真平台进行验证分析,结果表明在网络延迟、能耗和吞吐量等方面优于采用随机退避机制的 SMAC 协议[5]。

关键词: 无线传感器网络 自适应 退避机制

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1020

Adaptive backoff algorithm based on traffic

Chu Haoying Su Shengjun Sun Yarong

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: This paper presents the design, analysis and performance evaluation of a algorithm, called Adaptive backoff mechanism. This algorithm is based on the relationship of length of queue and network traffic and the duty cycle. The basic idea of this algorithm is changing the size of the contention window according to the flow, thus relieving network traffic in high contention level and reducing the time of overhead in low contention level. Finally, analyzed through the NS2.35. The results showed that it is better than using a random backoff mechanism of SMAC protocol in the network delay, energy consumption and throughput.

Keywords: wireless sensor network; adaptation; duty cycle; backoff mechanism

1 引言

在 WSN 中,因为其传输的特点,传统的 CSMA 和 TDMA 类型的 MAC^[1]协议并不能满足 WSN 特性的需要,所以出现了很多以 CSMA 和 TDMA 为基础的改进性无线 MAC 协议,其中有较为复杂的 T-MAC、B-MAC、Z-MAC,也有原理比较简单的 SMAC;随着无线网络的普及,寻找一种算法简单功能强大的 WSN MAC 协议势在必行。本论文抛弃算法复杂的典型 WSN MAC 协议,通过实验研究无线传感器网络中各项性能指标之间的关系,针对经典 SMAC 协议进行优化,使其吞吐量和网络延时等性能在保证网络的稳定下得到提高。

2 自适应退避机制算法

本文以 SMAC 协议为基础提出了一种基于流量的自适应退避机制,根据流量调整节点的竞争窗口,从而缓解网络流量高时激烈的信道竞争,减小网络流量低时空闲侦听时间。算法描述如下:

根据节点队列长度评估网络流量,网络流量小,则设置为;网络流量一般,则设置为;网络流量大,则设置为。当竞争信道失败或成功后,则根据网络流量,采用不同的机制改变竞争窗口。初始化:

$$CW = \begin{cases} L_{cw}, & LOWER_TRAFFIC \\ M_{cw}, & MIDDLE_TRAFFIC \\ H_{cw}, & HIGHER_TRAFFIC \end{cases} \quad (1)$$

当竞争信道成功时:

$$CW = \begin{cases} \max(CW \times \alpha, CW_{minL}), & LOWER_TRAFFIC \\ \max(CW - \beta, CW_{minM}), & MIDDLE_TRAFFIC \\ H_{cw}, & HIGHER_TRAFFIC \end{cases} \quad (2)$$

当竞争信道失败时,

$$CW = \begin{cases} \min(CW + \delta, M_{cw}), & LOWER_TRAFFIC \\ \min(CW \times \lambda, H_{cw}), & MIDDLE_TRAFFIC \\ H_{cw}, & HIGHER_TRAFFIC \end{cases} \quad (3)$$

式中: L_{cw} , M_{cw} , H_{cw} , 分别为网络负载低、一般和高时的竞争窗口, 且 $L_{cw} \leq \text{data_L} < M_{cw} \leq \text{data_M} < H_{cw} \leq \text{data_H}$. $0.5 < \alpha < 1$, $1 < \lambda < 2$, α , β , δ 和 λ 均为大于 0 的常数, CW_{\min} 为网络负载低时的最小竞争窗口, $CW_{\min w}$ 为网络负载一般时的最小竞争窗口。

如果信道竞争成功, 当网络流量小时, 递减量为上一次竞争窗口的 $(1-\alpha)$ 倍, 其中, $0.5 < \alpha < 1$, 将递减量控制在一个范围内 $[CW_{\min L} \times (1-\alpha), L_{cw} \times (1-\alpha)]$, 避免过快地减小竞争窗口导致竞争激增, 最小的竞争窗口为 $CW_{\min L}$ 。网络负载一般时, 以固定步长 β 缓慢地减小竞争窗口, 由于此时网络流量一般, 要让递减量以一个固定且较小的递减量逐步减小竞争窗口而不是将其控制在一个范围内, 避免冲突激增, 最小的竞争窗口为 $CW_{\min L}$; 网络负载大时, 则设置为最大值。

如果竞争失败, 当网络流量小时, 以固定步长 δ 增大竞争窗口, 由于此时网络负载很小, 没必要倍增竞争窗口。网络流量一般时, 以上一次竞争窗口的 $(\lambda-1)$ 倍为增量增大竞争窗口, 其中, $1 < \lambda < 2$, 由于网络流量一般时的初始 CW 本身不小, 没必要倍增 CW , 控制增量范围为 $[CW_{\min L} \times (\lambda-1), H_{cw} \times (\lambda-1)]$; 网络流量大时, CW 设置为最大值。

3 自适应退避机制的参数确定

为避免过长的等待时间, 根据网络流量, 初始化竞争窗口, 其中数据时段的竞争窗口最大为 63。当网络流量大时, 设置竞争窗口为最大竞争窗口 63; 当网络流量一般时, 减半竞争窗口为 31; 当网络流量小时, 再减半竞争窗口为 15。

经过多次仿真, 得到, $\alpha=0.8$, $\beta=2$ 。如果分组发送成功, 则是减小竞争窗口, 但是最小不能超过其流量对应的最小竞争窗口, 网络流量大时, 不改变竞争窗口。经过分析与仿真, 可得式(2)中的 $\alpha=0.8$, $\beta=2$ 。

$$CW = \begin{cases} \max(CW \times 0.8, 7), & LOWER_TRAFFIC \\ \max(CW - 2, 17), & MIDDLE_TRAFFIC \\ 63, & HIGHER_TRAFFIC \end{cases} \quad (4)$$

当网络流量低时, 由于其初始时的竞争窗口比较小, 所以竞争窗口不能减小太多, 乘以一个大于 0.5 且小于 1 的系数将递减量在可控且合理的范围内。

表 1 竞争成功时 α 改变竞争窗口的递减量

CW	α				
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
8	4	3	2	2	1
9	4	4	3	2	1
10	5	4	3	2	1
11	5	4	3	2	1
12	6	5	4	2	1
13	6	5	4	3	1
14	7	6	4	3	1
15	7	6	4	3	1

从表 1 可以看出, 当 $\alpha=0.8$ 时, 递减量范围较小。在网络流量低时, 此时竞争窗口为 15, 如果发送成功, 则以较大的变化量减小竞争窗口。当竞争窗口减到比较小时, 递减量变小, 竞争窗口变化幅度不大, 从而避免冲突发生。当网络流量一般时, 如果发送成功, 为避免网络流量较大造成冲突, 则以固定步长 $\beta=2$ 减小竞争窗口。当网络流量大时, 不改变竞争窗口。

如果分组发送失败, 根据流量, 采取不同的方式增大竞争窗口, 经过分析与仿真, 式(3)中的 $\delta=3$, $\lambda=1.5$ 。

$$CW = \begin{cases} \min(CW + 3, 31), & LOWER_TRAFFIC \\ \max(CW \times 1.5, 63), & MIDDLE_TRAFFIC \\ 63, & HIGHER_TRAFFIC \end{cases} \quad (5)$$

表 2 竞争失败时 λ 因子改变竞争窗口的增量

CW	λ					
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
17、18	1、2	5、4	5	7	9	10、11
19、20	2	4	6	8	10	11、12
21、22	2	4	6、7	8、9	11	13
23、24	2	5	7	9、10	12	14
25、26	3	5	8	10	13	15、16
27、28	3	5、6	8	11	14	16、17
29、30	3	6	9	12	15	17、18
31、32	3	6	9、10	12、13	16	19
33、34	3	7	10	13、14	17	20
35、36	3、4	7	11	14	18	21、22
37、38	4	7、8	11	15	19	22、23

续上表

CW	λ					
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
39、40	4	8	12	16	20	23、23
41、42	4	8	12、13	16、17	21	22、21
43、44	4	9	13	17、18	20、19	20、19
45、46	5	9	14	18、17	18、17	18、17
47、48	5	9、10	14	16、15	16、15	16、15
49、50	5	10	14、13	14、13	14、13	14、13
51、52	5	10	12、11	12、11	12、11	12、11
53、54	5	10、9	10、9	10、9	10、9	10、9
55、56	6	8、7	8、7	8、7	8、7	8、7
57、58	6、5	6、5	6、5	6、5	6、5	6、5
59、60	4、3	4、3	4、3	4、3	4、3	4、3
61、62	2、1	2、1	2、1	2、1	2、1	2、1

当网络流量小时,由于网络流量很小,为避免过快地增大导致等待时间增长,从而增大网络延迟,所以以恒定速率缓慢增大竞争窗口。经过多次仿真,当 $\delta=3$ 时网络性能好。

在网络流量一般时,由于网络流量一般,所以竞争窗口本身比较大,所以进一步缩小 λ ,即 $1 < \lambda \leq 1.6$ 。根据上表和对实际仿真性能比较,选择 $\lambda=1.5$ 。

当网络流量大时,不改变竞争窗口,因为数据阶段的最大竞争窗口为 63。

4 自适应退避算法仿真

本文采用 NS2.35 仿真平台, NAM (network animator) 网络运行工具对自适应退避算法在不同的网络流量下进行仿真。由于自适应退避机制主要降低网络时延,故不考察网络每字节能耗,仿真结果如图 1 所示。

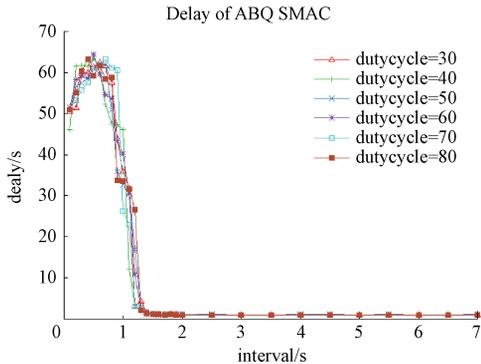


图 1 自适应退避算法的延迟性能

从图 1 可以看出,其最大网络延迟不到 65 s,而没有自适应退避机制的 SMAC 协议的最大网络延迟将近 70 s,该自适应退避机制降低了网络延迟。

从图 2 可以看出,吞吐量最大约为 7 500 kbps,抖动幅度也有所降低。

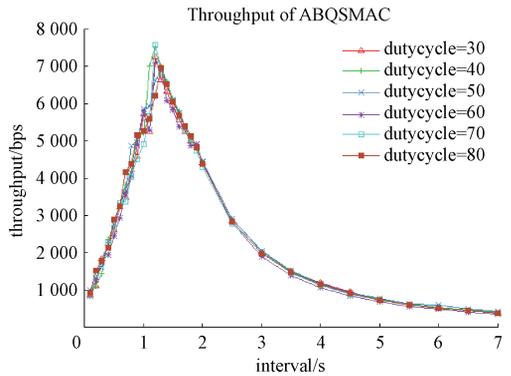


图 2 自适应退避算法的吞吐量性能

从图 3 可知,网络能耗最大为 1 300 J,随着发包速率降低,能耗随之降低。

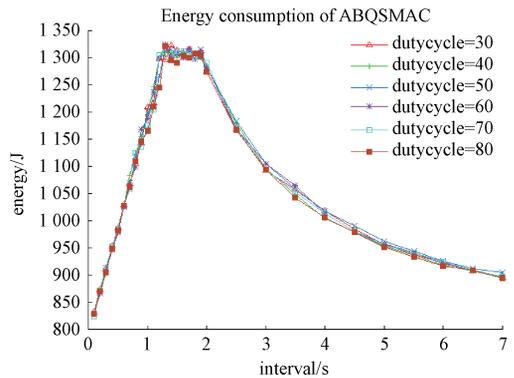


图 3 自适应退避算法的能量消耗

为更直观看到自适应退避机制和随机退避机制^[9]的性能差异,又由于不同占空比的网络性能基本相同,故现分别取占空比为 40% 的自适应退避机制和随机退避机制的性能进行对比。

从图4中可以看出,自适应退避机制比随机退避机制的最大网络延迟要小十几秒。当发包间隔大于等于1.3 s时,网络延迟就降得很低了,而随机退避机制要当发包间隔大于等于1.4 s时才会降得很低。

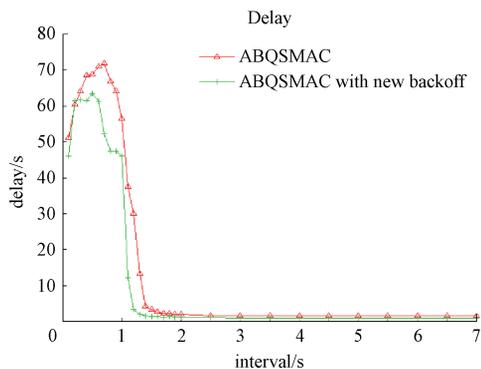


图4 随机退避和自适应退避的延迟对比

从图5可看出,网络负载一般时,自适应退避机制的吞吐量性能要比随机退避机制的高很多,吞吐量没有抖动;网络流量小时,两者的吞吐量性能相同;网络流量大时,自适应退避机制的吞吐量性能稍逊于随机退避机制的,这主要是由于自适应退避机制不会大幅增大或减小竞争窗口。

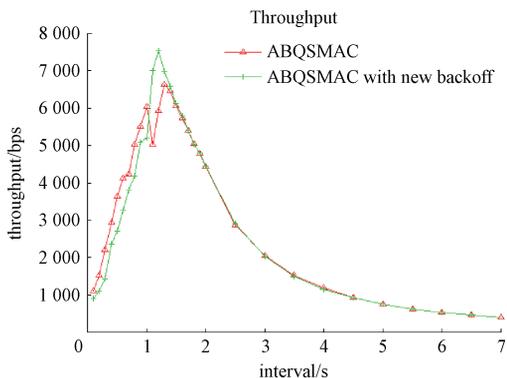


图5 随机退避和自适应退避吞吐量对比

从图6可以看出,网络流量大时,自适应退避机制比随机退避机制稍微好一点。网络负载一般时,随机退避机

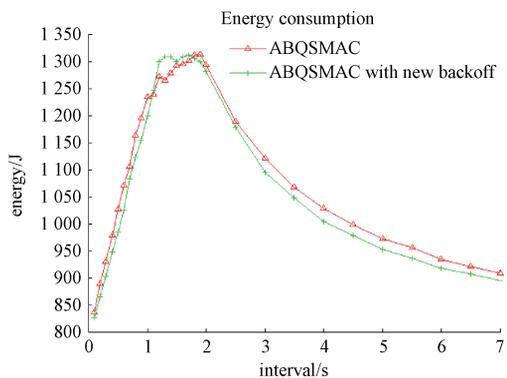


图6 随机退避和自适应退避能耗对比

制的能耗要比自适应退避机制能耗要好些,但根据图6可知,这主要由于网络吞吐量^[7]增大造成能耗增大。当网络流量小时,自适应退避机制的能耗性能要优于随机退避机制的。

5 仿真分析与总结

本文提出的基于流量的自适应退避机制,根据网络流量,选择对应的初始竞争窗口。在发送成功或失败时,根据网络流量采取不同的退避机制,适当增大和减小竞争窗口,并通过仿真验证,证实该算法降低了冲突和网络时延,提高了网络性能。

参考文献

- [1] 张大踪. WSN的低功耗设计技术研究[D]. 重庆:西南科技大学,2007.
- [2] 韩震,万华,王凤军.一种基于Ad Hoc网络的节点调度方法[J].国外电子测量技术,2011,30(8):29-34.
- [3] 陈德富.无线传感器网络自适应MAC协议研究[D].上海:上海交通大学,2012.
- [4] 杜敏.低能耗及低时延目标驱动的无线传感器网络MAC协议研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [5] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]. IEEE INFOCOM, 2002: 1567-1576.
- [6] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks [J]. IEEE, ACM Transactions on Networking, 2004, 12(3):493-506.
- [7] EL-HOIYDI A, DECOTIGNIE J, HERNANDEZ J. Lowpower MAC protocols for infrastructure wireless sensor networks[C]. Proceeding of the 9th IEEE Symposium on Computers and Communications[C]. 2004(1): 244-251.
- [8] 万跃辉.基于无线传感器网络的MAC层协议研究[D].南昌:南昌航空大学,2013.
- [9] 李瑞芳,罗娟,李仁发.适于无线多媒体传感器网络的MAC层退避算法[J].通信学报,2010(11):107-116.
- [10] 孙伟,王建平,穆道明.基于服务质量的无线传感器网络MAC协议模型研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(4):100-108.
- [11] 刘云璐,蒲菊华,方维维.一种无线传感器网络MAC协议优化算法[J].计算机学报,2012(3):529-539.
- [12] 鲁鹏,刘权,吕绍和,王晓东.面向信道跳转认知无线电网的CSMA/CA MAC协议[J].计算机工程,2016(1):95-102.

作者简介

褚好迎(通讯作者),在读硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式等。

E-mail:240615534@qq.com

苏胜君,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、低功耗MAC协议。

孙亚容,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、低功耗MAC协议等。