

文章编号: 1671-251X(2010)10-0056-05

# 基于 ABE 算法的 2.4 GHz IEEE 802.15.4 网络模拟研究

盛希宁

(常州刘国钧高等职业技术学校自动化工程系, 江苏 常州 213004)

**摘要:** 针对 IEEE 802.15.4 网络的 MAC 层采用基于时隙的 CSMA/CA 标准算法可能引发数据封包碰撞和网络拥塞的问题, 参考 ABE 算法对标准算法进行了改进, 并采用 NS-2 网络模拟软件对基于时隙的 CSMA/CA 标准算法与 ABE 算法对 2.4 GHz 频段上的 IEEE 802.15.4 星型网络性能进行了模拟实验。结果表明, 基于 ABE 算法的 2.4 GHz IEEE 802.15.4 网络在网络吞吐量、数据封包成功传输率、网络公平性、LQI 类型封包遗失数量等方面性能都得到了有效提升。

**关键词:** IEEE 802.15.4 网络; 媒体访问控制层; 载波侦听多重访问/冲突检测; 自适应退避机制

**中图分类号:** TP393.04      **文献标识码:** A

Simulation Research of 2.4 GHz IEEE 802.15.4 Network Based on ABE Algorithm

SHENG Xining

(Department of Automation Engineering of Changzhou Liu Guojun Vocational Technology College,  
Changzhou 213004, China)

**Abstract:** For problems of data package collision and network degradation caused by slotted CSMA/CA standard algorithm used in MAC layer of IEEE 802.15.4 network, the paper used ABE algorithm to improve the standard algorithm, and used NS-2 software to simulate performances of 2.4 GHz IEEE 802.15.4 network based on slotted CSMA/CA standard algorithm and ABE algorithm separately. The simulation results showed an overall improvement in network performances of throughput, successful delivery ratio of data package, fairness and drops number of LQI data package.

**Key words:** IEEE 802.15.4 network, MAC layer, CSMA/CA, ABE

## 0 引言

无线传感器网络被认为是 21 世纪最重要的技术之一<sup>[1]</sup>。关于无线传感器网络的通信协议, 目前并无统一规定。考虑到规格相容性与市场接受度, 以国际组织 IEEE 所订定的 802.15.4<sup>[2]</sup> 低速率无线个人区域网络 LR-WPAN 结合 ZigBee<sup>[3]</sup> 无线标准为基础的通信规范, 成为多数研发厂商依循的方向。由于其技术特性与无线传感器网络的特征存在许多相似之处, 因此, 本文选取 IEEE 802.15.4 标准作为无线传感器网络的无线通信平台进行研究, 针对

MAC 层基于时隙的 CSMA/CA(载波侦听多重访问/冲突检测)标准算法可能引发数据封包的碰撞与网络拥塞问题, 参考应用了一种动态自适应的退避机制(Adaptive Backoff Exponent, ABE)算法对标准算法进行改进, 通过网络模拟软件 NS-2 在 2.4 GHz 频段上的 IEEE 802.15.4 星型网络进行模拟实验, 研究这 2 种算法对星型网络性能的影响。

## 1 IEEE 802.15.4 网络基于时隙的 CSMA/CA 标准算法分析

在 IEEE 802.15.4 规范定义的基于时隙的 CSMA/CA 标准算法中, 每个需要传送数据的节点设备需设置 3 个重要参数: 退避次数  $N_B$ 、竞争视窗长度  $CW$ 、退避指数  $BE$ 。图 1 为基于时隙的 CSMA/CA 标准算法流程<sup>[2]</sup>, 其中 CCA 为空闲信

收稿日期: 2010-06-03

作者简介: 盛希宁(1981-), 女, 江苏常州人, 助教, 硕士, 主要研究方向为检测技术与自动化装置。E-mail: shengxining@yahoo.cn  
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

道评估,  $macMinBE$  为退避指数最小值,  $aMaxBE$  为退避指数最大值,  $macMaxCSMABackoffs$  为 MAC 层 CSMA 退避次数最大值。

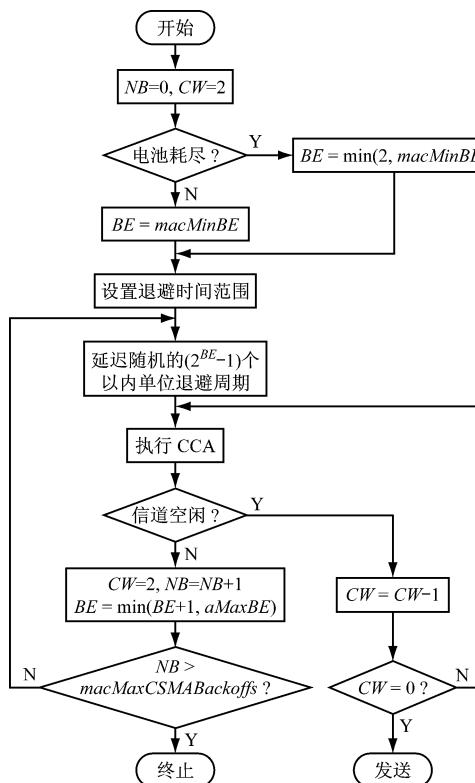


图 1 基于时隙的 CSMA/CA 标准算法流程

MAC 层协议的主要目标是在解决多个节点设备公平接入共享信道的基础上尽量提高信道的利用率, 而对于信道的公平性访问起关键作用的是退避算法。退避窗口的大小表征了节点设备获取无线资源的能力。 $macMinBE$  对于网络的容量与碰撞的避免是一项极为重要的参数, 而在 IEEE 802.15.4 协议规范的基于时隙的 CSMA/CA 标准算法程序中, 它使用的是一个固定值, 因此, 退避过程不能保证节点设备最终能够接入信道。这在网络传输量较大、节点密度不均匀的情形下将显得尤为严重。

ABE 算法是一个支持更高退避指数的算法, 其优越性在于利用了网络节点流量的统计信息, 并将自适应调整退避时隙概念引入退避机制中, 同时保持了与原有无线网络标准算法运作机制的相容性。

## 2 ABE 算法的原则与实现条件

ABE 算法主要基于 3 个重要的原则: (1) 它为节点设备提供了更高范围的退避指数, 进而降低了不同节点设备侦测信道前选择等待相同退避时隙数的机率; (2) 将基于时隙的 CSMA/CA 标准算法使

用的  $macMinBE$  由常量修改成为变量, 使各个节点设备在发起数据传输时不易从相同的退避指数开始增加, 减少碰撞的情形; (3)  $macMinBE$  值采取动态调整的方式, 使用可变量形式, 其改变因子根据每个节点设备对网络通信流量的影响大小来确定。

ABE 算法的实现分为分析、判决、执行 3 个阶段。分析和判决阶段由协调器实现, 以协调部分网络节点设备的通信流量。执行阶段由各个参与数据传输的终端节点设备实现<sup>[4]</sup>。图 2 为 ABE 算法分析与判决的流程, 其中  $PKT\_DIFFERENCE$  为节点分组第二组与第一组的首个节点发送的封包数目之差,  $numReceivedPkts[i]$  记录保存分析周期中源节点  $i$  传输数据封包的数目,  $numBeaconIntervals$  为分析周期。

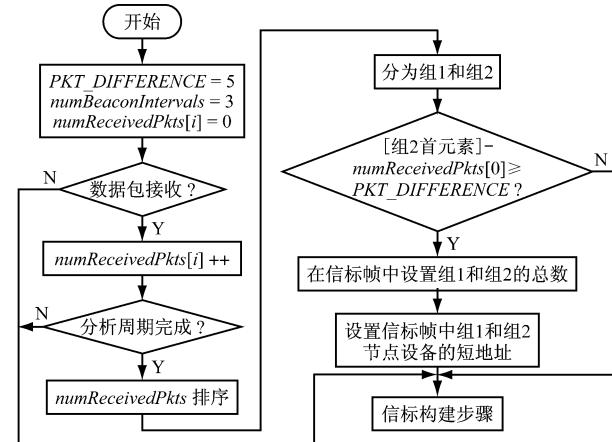


图 2 ABE 算法分析与判决流程

### (1) 分析阶段

在分析阶段, 协调器观察记录每个节点设备对网络通信流量的影响, 即每个节点设备传输数据封包的数目。

### (2) 判决阶段

分析阶段结束时, 协调器已记录下各个节点设备参与网络通信的流量信息, 同时判断是否需要调整这些节点设备的  $macMinBE$  值。

### (3) 执行阶段

协调器在发送信标帧的载荷字段中指明了判决结果。终端节点设备会根据协调器的指示进行操作。图 3 描述了节点设备执行 ABE 算法的流程。

在 2.4 GHz 频段上, 当超帧级数  $SO \geq 1$  时, 它能够满足发送一个信标帧所需要的最小时隙, 这表明在该类条件下可以成功应用 ABE 算法, 但它并不能够保证所有或者部分节点设备使用 GTS 时隙保障机制和待转发数据目标地址字段时的可行性。

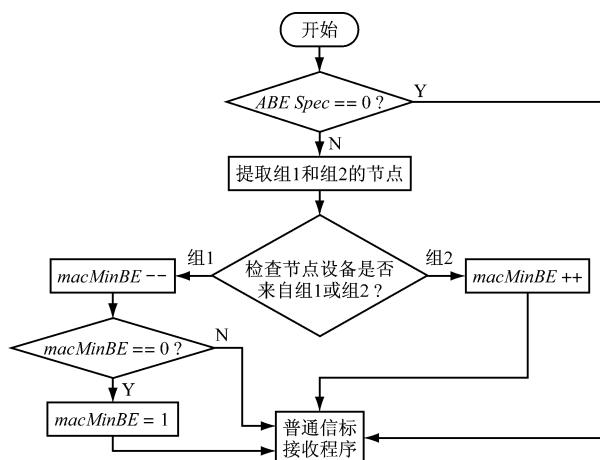


图 3 节点设备执行 ABE 算法的流程

### 3 网络模拟的模型参数选择

模拟实验实现了拥有 15 个节点设备的星型 LR-WPAN, 令 0 号节点为 PAN 协调器, 1~14 号节点为终端节点设备。在信标模型中, 协调器的信标级数与超帧级数取值相同, 即  $BO = SO = 3$ , 活跃节点数为 8 个。假设各个终端节点设备分布在以协调器为中心、半径为 5 m 的假想圆周上, 且各节点始终保持静止的状态。

在 IEEE 802.15.4 网络 NS-2 模拟实验中的应用层模型选用 CBR 流量发生器, 数据封包的大小设定为 70 B, 发送速率在 0~20 pkts/s 范围内变化, 代表了不同的网络流量负载; AODV 路由机制的队列管理采用 Drop Tail 的队列类型, 标准队列长度为 150 个封包; 物理层的工作频段选取在实际应用中最为广泛的 2.4 GHz; 无线传播模型选用 Two-Ray Ground Model。

### 4 网络模拟的性能分析

针对 2.4 GHz IEEE 802.15.4 星型网络, 采用基于时隙的 CSMA/CA 标准算法与 ABE 算法的 2 种信道接入机制进行模拟实验, 比较网络各方面的性能差异。所有的模拟性能值取自 3 次随机节点设备流量下模拟结果的平均值。

#### 4.1 网络吞吐量

图 4 给出了不同封包传输速率下应用 2 种算法的网络吞吐量曲线。

从图 4 可看出, 当封包传输速率在 1~14 pkts/s 范围内变化时, 应用 ABE 算法的网络具有明显的优越性, 具体表现为取得了平稳提升的吞吐量。而应用标准算法的网络吞吐量随封包速率仅

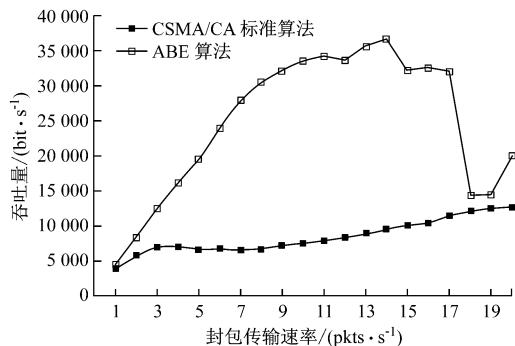


图 4 不同封包传输速率下应用 2 种算法的网络吞吐量曲线

有微幅的增加。直至封包速率为 14 pkts/s 时, 应用 ABE 算法的网络吞吐量是应用标准算法的网络吞吐量的 2.86 倍, 达到了最高值(36 816 bit/s), 但该实际性能仅是 IEEE 802.15.4 标准中所订定的 2.4 GHz 工作频段带宽(250 kbit/s)的约 1/7。而后, 网络吞吐量出现了一个微降, 之后大幅度下落, 表明网络进入了拥塞区域。此时的吞吐量性能呈下降趋势, 并逐渐稳定于 20 000 bit/s 左右。这主要是源于网络的负载流量增加, 封包发生碰撞的概率自然随之迅速增加, 而网络拥塞引起的重传和新产生的封包会带来更多的冲突和丢失, 使得与之息息相关的网络吞吐量相应地减小。

#### 4.2 网络平均端到端传输时延

选取应用层所有封包端到端传输时延的平均值作为网络平均端到端传输时延的度量, 如图 5 所示。该值能够更加准确地反映网络的实际应用状况。

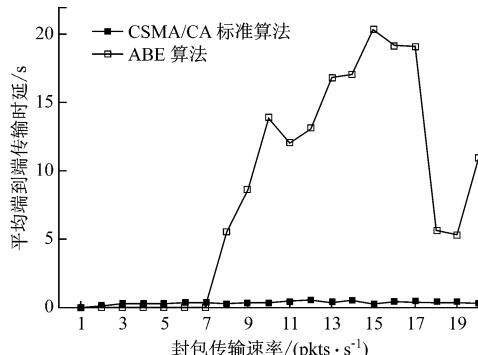


图 5 网络平均端到端传输时延曲线

从图 5 可看出, 调整网络负载速率在 1~7 pkts/s 范围内变动时, 分别应用了 2 种算法的网络的端到端平均传输时延值均相当理想。由于在信标使能模式下信标级数的选取值较低, 因而协调器和终端节点设备需要高频率地发送和接收信标帧。随着网络负载流量的加重, 节点会更频繁地发送数据, 这使得封包碰撞的概率上升。应用 ABE 算法的

网络能够减小封包冲突的可能性, 但网络吞吐量上升的同时必然会导致平均端到端传输时延的迅速增大。可见, 该网络的吞吐量与平均端到端传输时延之间存在着一定的矛盾, 网络吞吐量的提升是以牺牲平均端到端传输时延为代价的。

#### 4.3 数据封包成功传输率

图 6 给出了数据封包成功传输率的统计结果, 这一性能指标亦可作为网络拥塞状况的指示器。

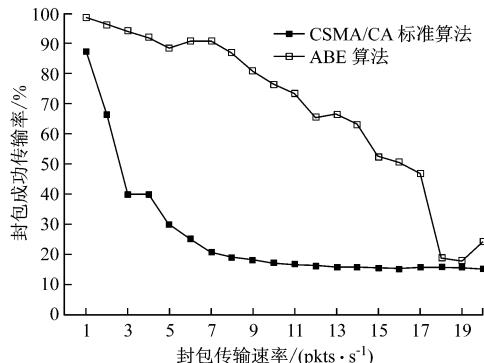


图 6 数据封包成功传输率曲线

从图 6 可看出, 应用 ABE 算法的网络在封包速率低于 14 pkts/s 时, 封包的成功传输率维持在 60% 以上, 而应用标准算法的网络效率值则早已跌落至 20% 以下。虽然之后应用 ABE 算法的网络的该性能数据间也出现了较大的落差, 封包损失的情形严重, 但这仅表明了网络的拥塞程度在不断加重, ABE 算法的调节作用并非很明显。实验结果表明, 在网络负载流量加重时, 亦是源于竞争机制而使得数据封包发生碰撞的概率随之上升, 间接引起更激烈的数据重传, 进一步增加了网络中需要发送的封包数量, 因此, 网络冲突加剧, 更多的数据封包会在传输过程中丢失, 最终导致了网络的利用率变差, 数据封包传输的成本相当高。同时, 封包遗失具有的随机性使该性能表现出更大的波动和不稳定性。

#### 4.4 网络公平性指数

采用了参考文献[7] 提出的最大最小公平性 (Max-min Fairness, MF) 指数来衡量算法对于节点设备接入信道公平性的影响。它定义为网络中最大链接吞吐量与最小链接吞吐量的比值。图 7 为网络最大最小公平性指数曲线<sup>[7]</sup>。

从图 7 可看出, 应用标准算法的网络最大最小公平性指数与理想值相差很大, 而应用 ABE 算法的网络的该性能值大致上稳定且接近于理想值 1。因为其着重基于各节点设备成功传输的封包数目对整个网络流量的贡献, 从而在竞争周期中动态调整相应节点设备的 *BE* 值, 降低两个或多个节点设备选

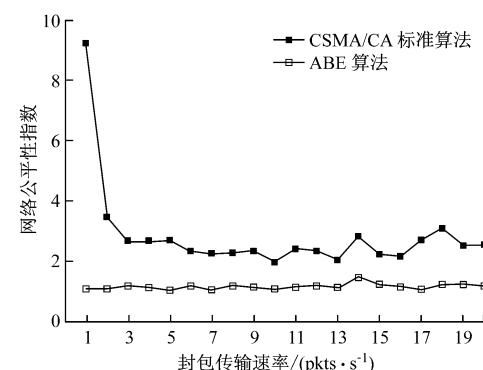


图 7 网络最大最小公平性指数曲线

择相同退避指数的可能性, 在减少高优先权等级的节点设备持续占用带宽但又不失其需求的情况下, 为协调各个节点获取信道接入创造比较均等的机会, 优化了信道的利用率。公平性能的提升在接近发生网络拥塞状况的封包速率时体现得更为明显。

#### 4.5 LQI 类型的封包遗失数量

本文关注与 MAC 层密切相关的 LQI (Link Quality Indicator, 链路质量指示) 类型的封包遗失数量, 如图 8 所示<sup>[8]</sup>。

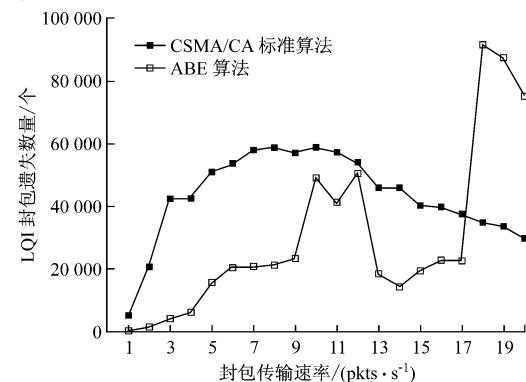


图 8 LQI 类型的封包遗失数量曲线

从图 8 可看出, 当封包速率较小时, 标准算法的退避机制愈发显得效率不高, 低质量的无线链路影响了信道传输的可靠性。而应用 ABE 算法的网络在封包速率低于 17 pkts/s 时, 其 LQI 类型的封包遗失数量较标准算法均有一定的下降, 这正是由于它将无线链路封包遗失率的下降转化为了网络实际带宽的提升、平均传输时延的增大及抖动。在接近封包速率观测的最大值时, 该性能值的陡增验证了网络拥塞现象的严重性。

## 5 结语

通过与基于时隙的 CSMA/CA 标准算法在 2.4 GHz IEEE 802.15.4 网络上性能结果的分析和对比, 验证了 ABE 算法能够很好地提升网络吞吐量、

文章编号: 1671- 251X( 2010) 10- 0060- 04

# 3G 工业适配器节点的设计

吴志盛, 刘枫, 张渝

(西南大学计算机与信息科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 从工业控制网络的无线化需求出发, 针对3G网络应用到工业无线控制领域的方案, 重点介绍了一种3G工业适配器节点的软、硬件设计。该适配器节点采用MU103完成传统网络和工业无线网络到3G网络的接入, 采用MSP430F5438芯片完成数据采集、AT命令与自主协议的转换以及AT命令的执行任务, 采用RS485接口完成适配器节点与仪表或工业无线网关的通信任务。实验室WIA网络以及Profibus网络检测结果表明, 该适配器节点工作稳定、可靠, 且具有较好的兼容性。

**关键词:** 工业控制; 无线网络; 3G; 适配器节点; MSP430F5438; MU103

**中图分类号:** TD655. 3

**文献标识码:** B

## Design of 3G Industrial Adapter Node

WU Zhisheng, LIU Feng, ZHANG Yu

(School of Computer and Information Science of Southwest University, Chongqing 400715, China)

收稿日期: 2010- 06- 11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)资助项目  
(2007AA041201-7), 重庆市科委重大科技重点攻关项目(CSTC,  
2007AB2031)

作者简介: 吴志盛(1984-), 男, 重庆人, 西南大学在读硕士研究生, 研究方向为智能控制与计算机控制系统。E-mail: wuzhi@swu.edu.cn

数据封包成功传输率等重要的网络服务品质, 为IEEE 802.15.4网络MAC层协议的进一步改善与实际系统的开发和设计提供了参考。

## 参考文献:

- [1] Technology Review [EB/OL]. [2010-03-02]. <http://www.technologyreview.com>.
- [2] 802.15.4-2006, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks [S/OL]. [2010-04-20]. <http://openwsn.berkeley.edu/export/866/docs/standards/ieee802154-2006.pdf>.
- [3] RAO V P, MARANDIN D. Adaptive Backoff Exponent Algorithm for ZigBee(IEEE 802.15.4) [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 4003: 50-516.
- [4] Institute of Electrical and Electronic Engineers. Draft Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access
- [5] ZigBee Software Modules, City College of New York [EB/OL]. [2010-03-16]. <http://ees2cy.engr.ccny.cuny.edu/zheng/pub/>.
- [6] Data Sheet for CC2430 2.4 GHz IEEE 802.15.4/A True System on Chip 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee [EB/OL]. [2010-03-16]. <http://www.chipcon.com/>.
- [7] 吴怡之, 丁永生, 许红安, 等. 体域医学传感器网络的设计及其QoS性能分析[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(14): 124-126.
- [8] WHEELER A. Commercial Applications of Wireless Sensor Network Using ZigBee [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(4): 70-77.

Control Layer (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR WPANs) [S/OL]. [2010-04-26]. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>.