

ZigBee 路由协议信标和非信标模式下的性能仿真比较

高学鹏, 罗大庸

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要: 基于 ZigBee 协议开发无线抄表系统, 并对系统的耗能、吞吐量、端端延迟和抖动等性能做了详尽分析。针对 ZigBee 协议中 MAC 层信标和非信标模式, 对系统性能的影响做出仿真比较, 为系统开发提供建设性的参考。用仿真工具 NS-2 构建了 31 个节点的树型网络。

关键词: 能量消耗; 吞吐量; 端到端延迟; 抖动; CSMA/CA

中图分类号: TP20

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)11-0042-04

Performance simulation comparisons on beacon and non-beacon models

GAO Xue Peng, LUO Da Yong

(Department of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: This paper developed a wireless meter reading system based on ZigBee protocol stack and made detailed analysis of the system performances such as energy consumption, throughput, peer-to-peer delay, jitter. This paper carried out specially simulation comparisons of performance of the system in beacon and non-beacon enable modes on MAC (Medium Access Control) layer of ZigBee protocol stack, so that the system can get some constructive references. By using simulation software of NS-2, we created a cluster tree network with 31 nodes.

Key words: energy consumption; throughput; peer-to-peer delay; jitter; CSMA/CA

ZigBee^[1]是由 ZigBee 联盟开发的低成本、低功耗、低传输速率、短距离的网络技术标准。相比于其他协议, ZigBee 有着独特的优点, 因此, 不同领域专家投入大量精力进行基于 ZigBee 协议系统的开发。本文研究了基于 ZigBee 协议的无线抄表系统的开发。由于自来水公司人工抄表存在很多问题, 很不方便, 因此本系统主要目的是根据自来水公司的要求遥测每家每户的水表数据。

系统主要由系统主站、集中器、智能水表构成^[2]。集中器与系统主站的通信利用 GPRS 无线网络来实现, 而智能水表和集中器之间的通信通过 ZigBee 无线网络实现。本文针对其中的 ZigBee 无线网络^[3]部分进行分析。由于网络的规模庞大, 为了在大量的时间和金钱投入之前能有理性的认识, 本文使用 NS-2 进行仿真分析。本文分析了网络的耗能、吞吐量、端端延迟、抖动等性能^[4], 尤其是对 ZigBee 协议中信标使能网络和非信标使能网络对系统性能的影响做了详尽分析, 并构建了一个树簇网络。

1 相关概念

1.1 信标使能和非信标使能

信标使能和非信标使能是 ZigBee 协议栈媒介访问控制(MAC)层的概念。在信标使能方式中使用如图 1 所示的超帧结构^[5], 其格式由协调器来定义, 一般包括活动部分和非活动部分, 其中非活动部分可变, 并且在这个阶段协调器将工作在低功耗状态下。信标使能网络是分时段, 传输时间被分为 16 个相等的时段, 信标帧是一个特殊的帧, 总是出现在每一个超帧的开始位置, 进行整个网络的同步, 并且包含了有关网络和超帧的重要信息。超帧的其余 15 个时段又分成两部分: 竞争访问时间(CAP)和非竞争访问时间(CFP), 每一部分占用多少时段由网络协调器根据情况分析来决定, 其中 CFP 为可选。在 CAP 阶段, 节点通过带时槽的 CSMA/CA 算法竞争信道, 与网络协调器或者设备进行通信, 所有的通信过程都必须在 CAP 结束前完成。CFP 阶段使用时槽保护机制(GTS), 留给特定的设备使用。当 CFP 开始时, 由协

网络与通信 Network and Communication

协调器控制的节点在分配到的时隙内进行数据传输,而不使用 CSMA/CA 算法竞争信道。而非信标使能网络使用不带时隙的 CSMA/CA 算法竞争信道。

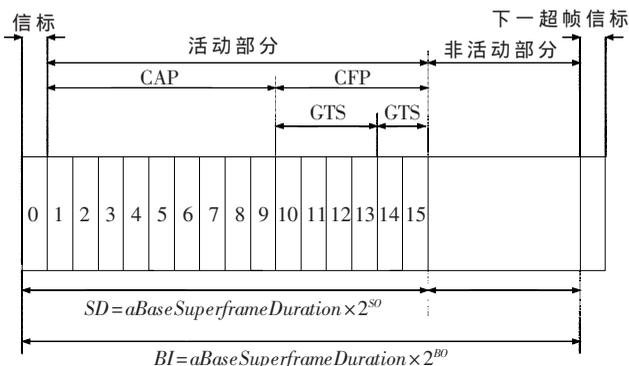


图1 超帧结构

1.2 超帧

超帧的具体结构由 MAC 层的属性 $aBaseSuperframeDuration$ [6]、信标帧序列 (BO) 和超帧序列 (SO) 确定。超帧的长度由参数 BO 控制,而 CAP 的长度则相应地由 SO 控制。

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \quad 0 \leq BO \leq 14 \quad (1)$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO} \quad 0 \leq SO \leq BO \leq 14 \quad (2)$$

BI、SD 的计算结果均以 symbol 为单位。如果 SO 取值为 15,则表明超帧不存在活动部分,如果 BO 取值为 15,表明不发送信标,适用于非信标网络。

1.3 CSMA/CA 算法

CSMA/CA 算法 [7-8] (如图 2 所示)是实现上述功能的关键,在 ZigBee 网络中有两种 CSMA/CA 算法。在信标使能的网络,使用带时隙的 CSMA/CA 算法。在这种算法中,一个节点在传输数据之前至少要监听信道两次,由参数 CW 来控制。第一次监听开始前必须要在 $0 \sim 2^{NB} - 1$ 之间随机选择一个时间进行退避,这种随机性的选择用来减少两个节点同时监听信道发现信道空闲后同时发送数据时的碰撞概率。当信道检测到忙碌时,节点并不发送数据,而是随机等待一个新的时间后重新监听信道,直到连续两次检测到信道空闲才发送数据。在非信标使能的网络,使用不带时隙的

CSMA/CA 算法,协调器不是定期地广播信标,而是在器件请求信标时向它单播信标。每个设备实现 CSMA/CA 算法,需要维护 3 个变量:退避时间次数 (NB)、竞争窗口宽度 (CW) 和退避指数 (BE)。

2 NS-2 仿真

2.1 网络拓扑结构

本文构建了一个树型网络,如图 3 所示。在该网络上进行信标和非信标模式下的性能分析,其中三角形的表示主协调器,方形的表示路由器,圆形的表示设备。在信标使能方式下,该网络的具体参数如表 1 所示。尤其是在信标使能方式下,分别对 $BO=SO=3$ 和 $BO=5, SO=3$ 进行了仿真比较。在非信标使能模式下,除了 BO、SO,其他参数与信标模式下相同。

2.2 性能指标公式

端端延迟的延迟是指包的接收时间与包的发送时间差。

$$Peer_to_Peer_Delay = End_Time_at_Destination - Start_Time_at_Source \quad (3)$$

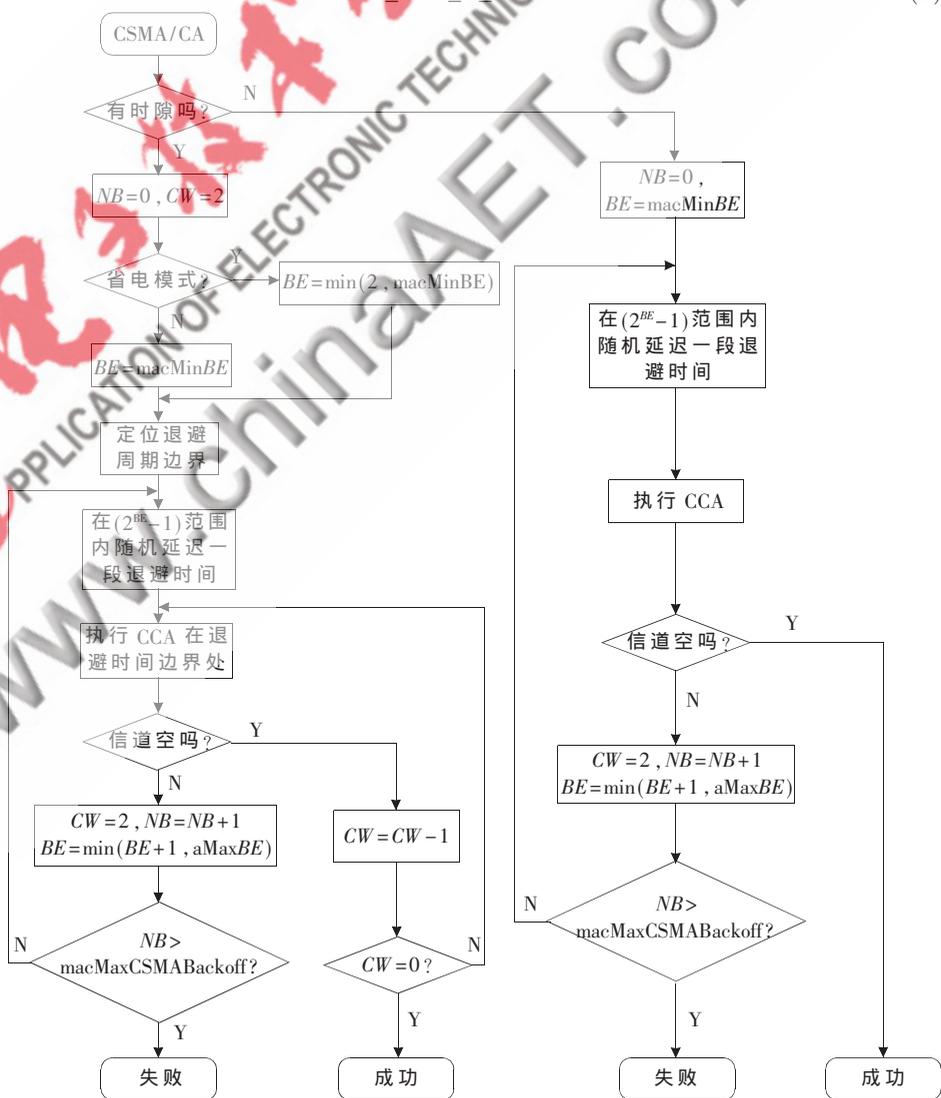


图2 CSMA/CA 算法

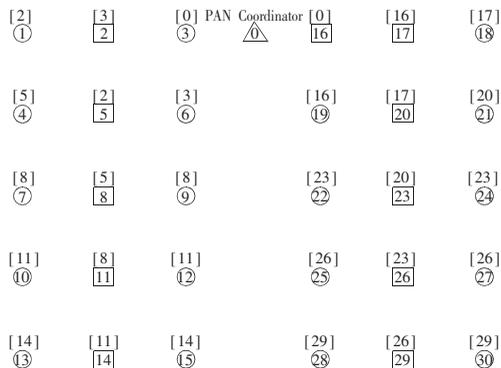


图3 网络拓扑

表1 仿真参数

节点数目	31
仿真区域	320 m×240 m
仿真时间/s	300
传输范围/m	75
流类型	CBR
封包大小/B	90
缓存队列长度	50
BO, SO	3 或 5, 3
传输能量/mW	1.0
接收能量/mW	1.1
空闲能量损耗/mW	1.0
睡眠时间能量损耗/mW	0.001
转换能量损耗	0.2
转换时间/s	0.005

抖动是端端延时差与封包序号差之比。

$$Jitter = \frac{(End_Time_at_Destination[j] - End_Time_at_Destination[i]) + (Start_Time_at_Source[i] - Start_Time_at_Source[j])}{(j-i)} \quad 0 \leq i \leq j \quad (4)$$

网络吞吐量是指单位时间内通过的数据包数量，单位是 b/s。

$$Network_Throughput = \frac{pkt_byte_sum[j]}{(end_time[j] - start_time) \times 8 / 1000} \quad (5)$$

平均能量消耗是指网络所有节点消耗能量与初始能量百分比的平均值。

$$Percent_Energy_Consumption = \frac{(InitialEnergy - FinalEnergy)}{InitialEnergy} \quad (6)$$

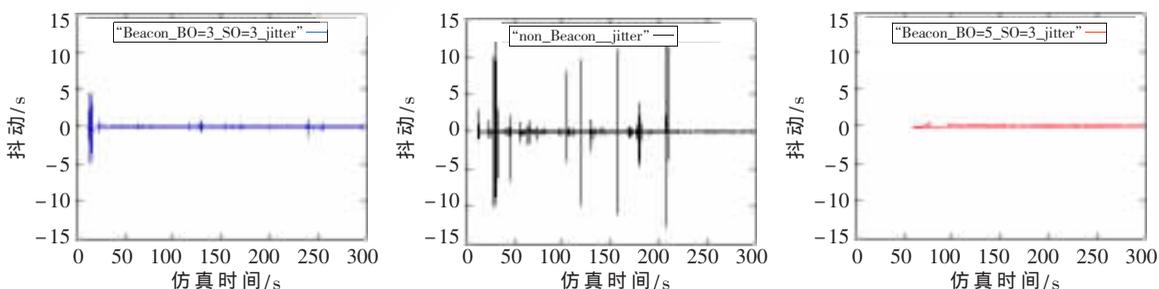


图5 抖动比较

$$Average_Energy_Consumption = \frac{Sum_of_Percent_Energy_Consumptions}{Number_of_Nodes} \quad (7)$$

2.3 仿真结果

图4和图5分别显示了不同方式下网络的端到端传输延时比较和抖动比较。从两图中可以看到网络在BO=SO=3信标方式下和BO=5、SO=3信标方式下网络的端到端传输延迟和抖动开始比较大，随后降低并维持在相对稳定的状态。从trace文件中可以发现，在开始由于建立网络和信标同步，使得数据停留在设备的缓冲队列里增大了延时和抖动，而随后由于设备按照带时隙的CSMA/CA算法竞争信道传输数据，大大降低了延时和抖动。非信标方式下，可以看到网络的端到端传输延迟比较大，从而抖动也很大。由于不同时刻网络传输数据量不同，设备使用不带时隙的CSMA/CA算法竞争信道，导致冲突增大，传输数据不得不经常留在缓冲队列里，增大了延时和抖动。

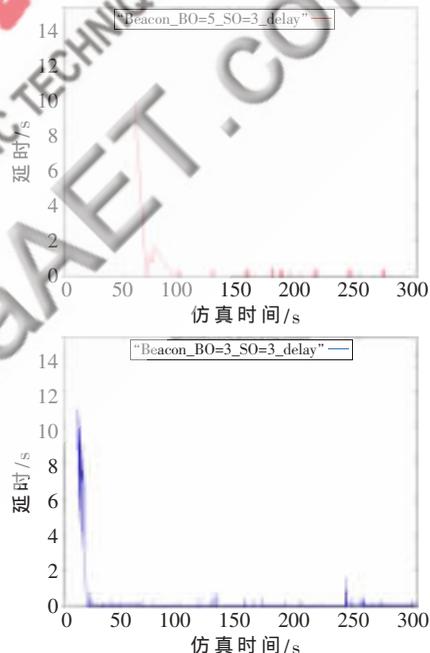


图4 端端延时比较

图6显示了不同方式下网络的吞吐量比较。从图中可以看到，网络在BO=SO=3信标方式下比其他两种方式有更好的吞吐量性能，而BO=5、SO=3信标方式下则

网络与通信 Network and Communication

出现了三者中最少的吞吐量。由于 $BO=SO$ ，通过式(1)、式(2)可知 $BI=SD$ ，即信标时间周期和超帧周期相等。从图 1 可知，这种情况下不存在不活动部分，使得设备总是处于工作状态，所以吞吐量性能较好。但是， $BO=5$ 、 $SO=3$ 信标方式下，使设备在不活动部分睡眠，所以降低了吞吐量。非信标方式下，由于非时隙 CSMA/CA 算法比较简单，信道争用容易产生冲突，所以吞吐量性能不如 $BO=SO=3$ 信标方式下。

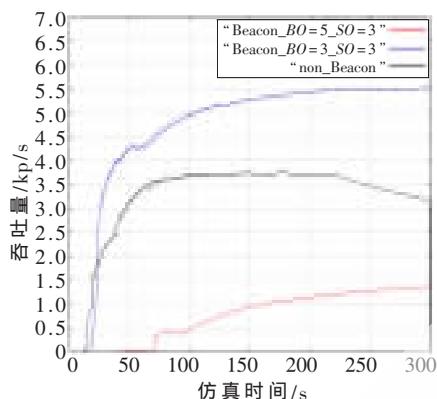


图 6 网络吞吐量比较

图 7 反映了 3 种方式下，整个网络的能量消耗。可以明确地看出，非信标方式下能耗最少，在 $BO=5$ 、 $SO=3$ 信标方式下次之， $BO=SO=3$ 信标方式下能耗最大。很显然，非信标方式下，网络的主协调器和路由器不是定时地发送信标，因而大大降低了能耗。而信标方式下， $BO=SO=3$ ，由于超帧结构中没有不活动部分，使得设备总是处于工作状态，而如果 $BO=5$ 、 $SO=3$ ，设备的不活动部分可以处于睡眠状态，一定程度上降低了能耗。

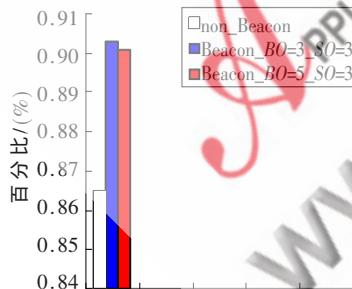


图 7 能量消耗比较

本文将开发的无线抄表系统在 MAC 层的 3 种可能方式下进行了仿真，希望从仿真结果比较中为开发系统提供参考。网络在信标方式下，端到端传输延时和抖动比较小，比较稳定，但是吞吐量会因为 BO 和 SO 的不同而产生很大的变化。这里的 BO 和 SO 的取值并不是普适性的，只是得出一种趋势，所以不同的系统必须根据自己的实验取相应的值。本文倾向于使用非信标方式，因为更侧重于设备的能耗问题，希望设备电池的寿命能够达到 2.5 年左右。同时，该方式下虽然端到端传

输延时和抖动比较大，但是网络的吞吐量还是比较理想的。

参考文献

- [1] ZigBee Alliance Document 053474r17: ZigBee Specification, January 2008.
- [2] LEE Young Woo, EUN Seong bae, OH Seung Hyueb. Wireless digital water meter with low power consumption for automatic meter reading [C]. International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008: 639-645.
- [3] CAO Li Ting, TIAN Jing Wen, LIU Yan Xia. Remote wireless automatic meter reading system based on wireless mesh networks and embedded technology [C]. Fifth IEEE International Symposium on Embedded Computing, 2008: 192-197.
- [4] SLOTEN J V, VERDONCK P, NYSSSEN M, et al. Maximizing throughput in ZigBee wireless networks through analysis, Simulations and implementations. Berlin: Springer-Verlag, 1835-1838.
- [5] KO Jeong Gil, CHO Yong Hyun, KIM Hyogon. Performance evaluation of IEEE 802.15.4 MAC with different backoff ranges in wireless sensor networks [C]. 10th IEEE Singapore International Conference on Communications Systems, 2006:163-701.
- [6] André Cunha, Anis Koubâa, Ricardo Severino, et al. Open-ZB: an open-source implementation of the IEEE 802.15.4/ZigBee protocol stack on TinyOS [C]. IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007:70-81.
- [7] CHEN Can Feng, MA Jian. Simulation study of AODV performance over IEEE 802.15.4 MAC in WSN with mobile sinks[C]. 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007:159-164.
- [8] LEE Bih Hwang, WU Huai Kuei. A delayed backoff algorithm for IEEE 802.15.4 Beacon-enabled LR-WPAN [C]. Sixth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2007:10-13.
- [9] SUH Chang Su, HAMEED Zeeshan. Design and implementation of enhanced IEEE 802.15.4 for supporting multimedia service in wireless sensor networks [J]. Computer Networks, 2008,52:2568-2581.

(收稿日期:2009-12-04)

作者简介:

高学鹏,男,1983年生,硕士研究生,主要研究方向:无线网络。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 51