

基于 ZigBee 的无线传感网络节点能耗性能分析

李 帅, 刘宏立, 刘述钢

湖南大学电气与信息学院, 长沙 410082

摘要 针对 ZigBee 网络中节点能量利用的关键问题, 从优化节点休眠机制入手, 研究如何在不影响网络通信质量的前提下, 降低传感器节点的功耗。采用低功耗且具备多种工作模式的硬件系统, 重点考虑了无线通信模块中发送和接收数据模块的能量消耗, 并以此为平台分析网络节点睡眠时间对通信质量和节点能耗的影响, 在保证通信质量的同时降低网络系统能耗。仿真结果表明, 睡眠时间在 20 ms 左右时, 既可保证网络的通信质量, 又使得节点能耗尽可能地减少。

关键词 ZigBee; 睡眠时间; 能耗; 通信质量

中图分类号 TP393.02, TP212

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)13-0064-03

Energy Consumption at Nodes Wireless Sensor Networks Based on ZigBee

LI Shuai, LIU Hongli, LIU Shugang

College of Electrical and Information, Hunan University,
Changsha 410082, China

Abstract This paper studies the key issues of how to reduce the energy consumption of the ZigBee nodes, through optimizing node's dormancy mechanism without affecting the quality of network communication. Low-power module chips are used in the hardware module and the selected chips are in multi-mode and can switch conveniently. The energy consumption of wireless communication modules to send and receive data is important. Based on this platform, the effect of the network nodes' sleeping time on communication quality and energy consumption is analyzed. The simulation shows that the power consumption can be reduced as much as possible without affecting the quality of network communication when node's sleeping time is around 20 ms.

Keywords ZigBee; sleeping time; energy consumption; communication quality

0 引言

无线传感器网络是随着微电子技术、计算机技术的进步

而兴起的一项新技术。它由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成, 通过无线通讯的方式形成一个多跳的自组织网络。各传感器节点将监测到的数据沿其他传感器节点逐跳传输, 多跳后路由到汇聚节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理, 发布监测任务, 收集监测信息。美国《商业周刊》和 MIT《技术评论》在预测未来技术发展时, 将无线传感器网络列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的 10 大技术之一。

在无线传感器网络中, 由于节点本身不能自动补充能量或能量补充不足, 节约能量成为传感器网络设计首要考虑的因素。基于 ZigBee 技术的无线传感器网络, 以其低功耗、低成本和低复杂度而受到高度关注, 但其节点的能耗问题仍有待解决。笔者对 ZigBee 网络节点的节能策略进行了相关研究, 并深入研究了节点睡眠时间对 ZigBee 网络的功耗和通信质量的影响。

1 ZigBee 技术

1.1 ZigBee 技术简介

ZigBee 是针对小型设备的无线联网和控制而制定的协议规范, 拥有一套非常完整的协议层次结构, 由 IEEE 802.15.4 和 ZigBee 联盟共同制定完成。ZigBee 是一种短距离、低速率、低功耗、低成本和低复杂度的无线传输技术, 工作于无需注册的 2.4 GHz ISM 频段, 具有电池寿命长、应用简单、可靠性高及组网能力强等特点, 主要适用于无线传感器网络、自动控制和远程控制领域。ZigBee 技术的出现弥补了无线通信市场上低成本、低功耗设备领域的空缺。目前, 已有上百家半导

收稿日期: 2009-04-08

作者简介: 李帅, 研究方向为现代网络与通信技术, 嵌入式系统及应用, 电子信箱: lishuai633@126.com; 刘宏立 (通信作者), 教授, 研究方向为无线传感网络新技术、移动通信系统与软件无线电, 智能信息处理与传输技术, 电子信箱: hongliliu@vip.sina.com

体、通信领域的公司加入了 ZigBee 联盟,支持 ZigBee 技术的芯片和产品也纷纷面世,市场潜力非常大。

ZigBee 网络的一大优势就是其高容量性。ZigBee 可采用星状、树状、网状及混合网络结构,由一个主节点管理若干子节点,一个主节点最多可管理 254 个子节点。ZigBee 网络拓扑结构如图 1 所示。

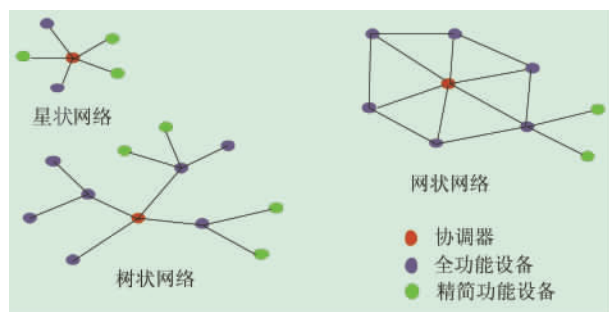


图 1 ZigBee 拓扑结构示意图

Fig. 1 ZigBee network topology diagram

由于 ZigBee 网络的传感器节点数目庞大,又通常采用不能进行能量补充的电池来提供能量。因此,通过节点的设计,尽量减少节点的能量消耗、延长节点和网络的寿命是 ZigBee 传感器网络的关键技术之一。

1.2 ZigBee 节点能耗分析

ZigBee 传感器节点由传感器模块(模拟信号调理模块)、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块 4 部分组成。其中,传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据转换;处理器模块负责控制整个传感器节点的操作,存储和处理自身采集以及其他节点传送的数据;无线通信模块负责与其他传感器节点进行无线通信、交换控制信息和收发采集数据;能量供应模块为传感器节点提供运行所需的能量,通常由微型电池提供。其中,ZigBee 传感器节点的前 3 个部分是能量消耗部分。

随着集成电路工艺的进步,处理器和传感器模块的功耗变得很低,绝大部分的能量都消耗在无线通信模块上。而无线通信模块在不同状态及不同状态间转换时,其所消耗的能量大小截然不同。无线通信模块的状态可归结为 4 种:发射、接收、空闲和睡眠状态^[1]。其中,发射和接收状态意味着节点正在发送或者接收数据包;空闲状态下,节点既不发射也不接收数据,只是不断地侦听无线信道,这是为了保证在要接收的数据包到达时,节点能够及时完成接收状态的转换,所以空闲状态下的节点也是要消耗能量的,其值约等于发射状态下的能耗;节点在处于睡眠模式时能耗最低,此时收发机都处在低能耗甚至关闭状态。

定义收发器处于睡眠状态下的时间即睡眠时间为 T_s ,处于空闲状态下的时间为 T_i ,收发器从睡眠状态转换到空闲状态所需的时间为 T_w ,接收状态和发送状态之间相互转换所需的时间为 T_t ,由空闲状态转换为发射或接收状态时,转换时间很快,可忽略。

2 ZigBee 网络数据传输模型和能耗性能分析

在 ZigBee 网络中,协调器在有信息要接收或发送时会发出信标信号,其他节点在绝大多数时间内则处于睡眠模式,定期醒来接收信标信号。当节点发现信标信号所指向的地址是自己时,发送响应信号给协调器以接收数据^[2]。信息交换过程如图 2 所示。

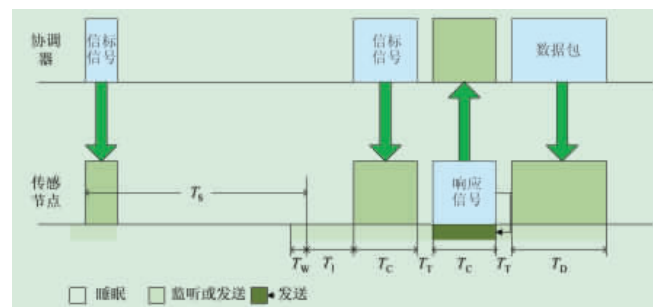


图 2 主从节点数据交换过程模型

Fig. 2 ZigBee data exchange model

图 2 中,传输的信息包可分为数据包和控制包,两者都有固定的长度和传输时间。数据包和控制包的传输时间分别为 T_D 和 T_C 。假设协调器以速率 λ 将数据传输给所属的 N 个分节点,则每个分节点与协调器之间的传输速率为 λ/N ,即每个节点平均每 L 秒收到一个数据包($L=N/\lambda$)。因此,协调器可以承受的最大传输速率为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{T_w + T_i + 2T_c + 2T_t + T_D} \quad (1)$$

式(1)未考虑信息包之间的碰撞。实际上,为了避免包的碰撞,IEEE 802.15.4 提出了 CSMA/CA 协议(载波监听多路访问/冲突避免方法),具有相当高的可靠性,因此可不予以考虑。

每个节点接收一个信号包的平均损耗功率为

$$P_{ZigBee} = P_s + \frac{P_{RX}(T_w + T_i + T_c)}{T_s + T_i} + \frac{P_{TX}T_c + P_{RX}(T_D + 2T_t)}{L} \quad (2)$$

其中,等式右边的第 1 项 P_s 为节点在睡眠状态下损耗的功率;第 2 项为睡眠状态和空闲状态下,节点通电和听取长度为 T_c 的信标信号所损耗的功率;第 3 项为平均每接收一个信息包即每 L 秒发送响应信号和接收数据包所损耗的功率。 P_{RX} 为接受状态下消耗的平均功率, P_{TX} 为发射状态下消耗的平均功率。

传输时延是指信息包在协调器和终端节点之间传输的时间间隔,主要取决于通信信道的质量,因此可作为通信信道质量的一个标志^[3]。ZigBee 网络的传输时延为

$$D_{ZigBee} = \frac{1}{2}(T_s + T_i + 2T_c + 2T_t + T_D + 2T_c + 2T_t + T_D) = \frac{1}{2}T_s + \frac{1}{2}T_i + 2T_c + 2T_t + T_D \quad (3)$$

式(3)中, $T_s + T_i + 2T_c + 2T_t + T_D$ 为协调器向传感器节点发送信息包的传输时延, $2T_c + 2T_t + T_D$ 为传感器节点向协调器发送信息包的传输时延。

由式(2)、式(3)可知,睡眠时间 T_s 越小,传输时延越小,通信质量越高,但能耗越大。因此需要在在能耗与通信质量之间找到一个平衡,既得到满意的信道质量又尽可能地降低能耗。

3 仿真结果及分析

3.1 仿真平台构造

为论证节点睡眠时间对 ZigBee 网络能耗及通信信道质量的影响,使 ZigBee 网络的能耗和通信信道质量得到兼顾,使用软件 Matlab 7.1 对 ZigBee 网络进行仿真。为了方便,取 20 个节点组网。

为保证系统的低功耗,除选用低功耗芯片外,采用智能控制实时调节不同功耗的工作状态,降低系统功耗。硬件选型的规则^[4]:① 各模块采用低功耗芯片;② 所选芯片具备多种工作模式,且切换方便;③ 无线通信模块选型时,重点考虑其发送和接收数据时的能量消耗。

选用符合 IEEE 802.15.4 标准的 CC2420 芯片作为无线通信模块,其工作模式主要有 Off(关闭)、PD(Power Down,掉电)、Idle(空闲)、Rx(接收)、Tx(发送)。其中 Off 和 PD 工作模式可归结为睡眠状态,而 Idle、Rx、Tx 3 种工作模式属于通信状态。仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数
Table 1 Simulation parameters

参数	数值	参数	数值
P_S	1.4 mW	T_D	4.1 ms
P_{RX}	62 mW	T_C	0.5 ms
P_{TX}	57 mW	N	20
T_W	0.1 ms	L	100 s
T_T	0.1 ms		

3.2 仿真结果分析

仿真结果如图 3、图 4 所示。结果表明,节点的睡眠时间 T_s 大于 0.5 ms 后,虽然节点能耗仍随睡眠时间的增大而减少,但变化速率已趋于平缓;若睡眠时间大于 20 ms,传输时延的倒数会越来越小且变化速率趋于平缓,即传输时延会剧烈增大,通信质量急剧下降。因此,节点合适的睡眠时间应保持在 20 ms 以内,即最多每隔 20 ms,节点应醒来接收信标信号,检查是否有通信要求,这样才能保证网络具有一定的通信质量,同时节点的能耗也可以尽可能地降低。

4 结论

无线传感器网络节点多、覆盖范围大、工作环境复杂、能源无法替代,设计有效的策略延长网络的生命周期成为无线传感器网络的核心问题。休眠机制是节省能源的最有效方式之一,如何进行休眠调度而不影响传感器网络的正常运行十分重要。休眠调度不能影响传感器网的功能,即网络的探测覆盖范围不能过分降低,否则无法达到探测目的。本研究从

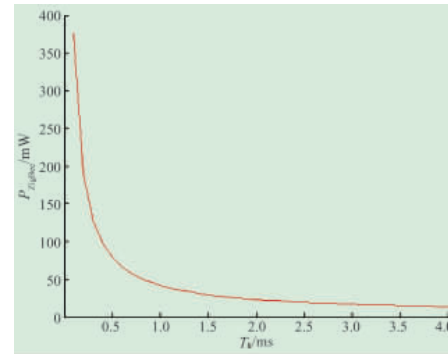


图 3 T_s 对 P_{ZigBee} 的影响

Fig. 3 Impact of T_s on the P_{ZigBee}

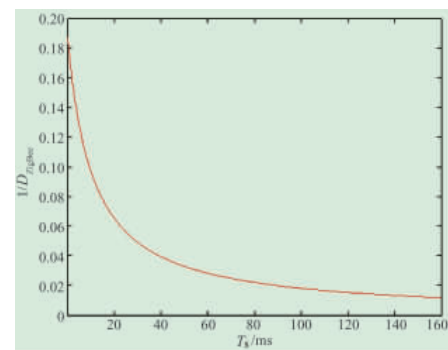


图 4 T_s 对 D_{ZigBee} 的影响

Fig. 4 Impact of T_s on the D_{ZigBee}

优化节点休眠机制入手,对降低 ZigBee 无线传感器网络节点功耗进行了研究,分析了节点的合适睡眠时间,对于无线传感器网络技术的推广,有一定的实际意义。同时,由于 ZigBee 无线传感器网络节点能量有限,还必须考虑其能量利用的高效性。只有综合考虑节点各部分的能量消耗,才能最大限度地利用有限能量,延长网络的生存周期。

参考文献 (References)

- [1] 李文江, 魏娟. ZigBee 无线传感器网络节点的低功耗设计 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 239–241.
Li Wenjiang, Wei Juan. *Journal of Chengdu University: Natural Science Edition*, 2008, 27(3): 239–241.
- [2] 吴光斌, 梁长垠. 无线传感器网络能量有效性的研究 [J]. 传感器技术, 2004, 23(7): 74–76.
Wu Guangbin, Liang Changyin. *Journal of Transducer Technology*, 2004, 23(7): 74–76.
- [3] Cucej Z, Peulic A, Randjić S. ZigBee based patients parameters monitoring system [C]// The 13th international conference on systems, signals and image processing. Budapest, Hungary, 2006.
- [4] 白飞, 喻晓峰, 杨岳磊. ZigBee 网络的节能技术研究 [J]. 兵工自动化, 2008, 27(10): 78–80.
Bai Fei, Yu Xiaofeng, Yang Yuelei. *Ordnance Industry Automation*, 2008, 27(10): 78–80.
- [5] 孙利民, 李建中. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Sun Limin, Li Jianzhong. *Wireless sensor networks*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

(责任编辑 代丽)