

ZigBee 网络路由故障自愈性能仿真研究

施岱松¹ 李伟勤¹ 李新献²

(西南石油大学 成都 610500)¹ (南阳医学高等专科学校 南阳 473061)²

摘要 ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的一个无线多跳个域网(WPAN)技术标准,具有低功耗、易扩展性和巨大的网络容量的优点,且越来越受欢迎。其特有的 Mesh 网络在节点发生故障时具有很强重新自组网的自愈能力。通过在 OPNET 环境下模拟动态路由故障场景,验证了 ZigBee 网络的强大自愈性能。

关键词 ZigBee, OPNET, Mesh 网络, 自愈

中图分类号 TP212 **文献标识码** A

Study on the Performance of the Self-healing for ZigBee Routing Fault in OPNET

SHI Dai-song¹ LI Wei-qin¹ LI Xin-xian²

(Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)¹ (Nanyang Medical College, Nanyang 473061, China)²

Abstract ZigBee, a wireless local area network(WPAN)field technical standard based on IEEE802.15.4, with the advantages of low power consumption, easy extensibility and giant network capacity is increasingly popular. Its unique Mesh network has very strong self-healing ability with ad hoc network as node failure. The powerful self-healing property of the ZigBee network was verified through simulating the dynamic routing fault scenarios in OPNET.

Keywords ZigBee, OPNET, Mesh network, Self-healing

1 引言

无线传感器网络(WSN)综合了传感器、嵌入式、通信和信息处理等技术,通过实时监测、采集监测环境中的信息,大大提高了获取信息的能力。WSN 具有以下特点:(1)网络节点数量大、对通信距离和数据传输速率要求不高;(2)传感器节点低功耗、处理信息能力有限;(3)网络有自组织性;(4)网络以数据为中心。

目前用于无线传感器网络的网络协议有: ZigBee、Wi-Fi 和蓝牙等。其中 ZigBee 因为具有低功耗、低时延、高可靠、成本低等优势得到了极大的发展。

ZigBee 也被称作 IEEE802.15.4, 它属于 IEEE802 家族, 与 Wi-Fi、蓝牙一样使用 ISM 频段 2.4GHz。在某些国家和地区, ZigBee 也使用 868 和 915MHz。与 Wi-Fi、蓝牙的不同之处在于, ZigBee 在设计之初就被设定为一个低功耗、低速率的技术。

ZigBee 主要性能指标:(1)传播距离 1~100 米;(2)电池寿命 100~1000 天;(3)支持动态路由协议;(4)节点数量大于 64000;(5)网络吞吐量 20~250kbps。

ZigBee 自组织网络可以支持大量的节点并且支持动态路由。ZigBee 自组织网络提供静态、动态和 Mesh 网络拓扑结构,最多支持 65000 个节点。ZigBee 网络有自组织功能,可以不需要人参与而自动组网或者网络中发生故障时恢复网络。深入理解 ZigBee 网络的自愈功能,对 ZigBee 网络的路由协议研究及大规模的 ZigBee 网络的部署应用具有很重要的意义。

2 ZigBee 协议

ZigBee 协议分 4 层,如图 1 所示。

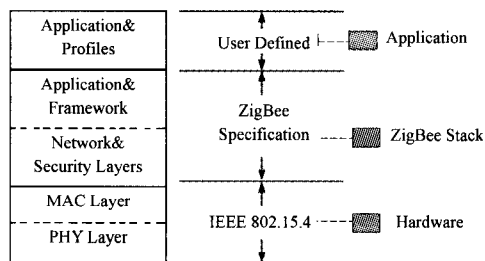


图 1 ZigBee 协议层

上两层为应用层和网络层,由 ZigBee 联盟制定。下两层为媒体接入控制层和物理层,与 WiFi 一样使用 IEEE802.15.4。

应用层:应用层工作在网络层之上,完成比如测量温度、湿度和光照等功能。一个节点可以监测多个物理量。所有 ZigBee 设备上都运行一个特殊应用程序: ZigBee 设备对象 ZDO,它定义 ZigBee 设备的类型(终端、路由器、协调器),初始化网络以及加入、离开网络。

网络层:ZigBee 的自愈功能是在网络层上实现的。该层提供网络管理、路由管理、网络安全管理等,由 ZigBee 联盟定义。

媒体接入控制层(MAC):这一层由 IEEE802.15.4 标准而来,为网络层提供服务。MAC 负责数据的发送和接收。这一层提供多址接入控制,如 CSMA/CA 来提供可靠的数据传

施岱松(1973-),女,实验师,主要研究方向为实验设计与管理工作, E-mail: sollorkang@126.com; 李伟勤(1976-),男,硕士,副教授,主要研究方向为无线通信技术和嵌入式系统。

输。网络层通过使用访问控制列表也可以让 MAC 来提供可靠的传输。这一层提供信标, ZigBee 使用信标时,不工作的设备可以休眠,并且周期性地唤醒来节约能源、延长电池使用寿命。

物理层(PHY):物理层也使用 IEEE802.15.4 标准。不同地区 802.15.4 使用的频段和信道数不同,如欧洲的 868MHz~868.6MHz,有 1 个可用信道;北美的 902MHz~928MHz,共有 10 个可以信道;2400MHz~2483.5MHz,有 16 个可用信道。

ZigBee 网路包括 3 种组成设备:协调器、路由器和端节点。在网络层不同的节点有不同的作用。

(1) ZigBee 协调器。它负责初始化网络、路由控制、选择可用信道和允许其他设备加入它的网络。在一个星型的网络拓扑中,协调器在中间,所有节点的数据流都必须传输到协调器。端节点和端节点可以通信,但是数据必须通过协调器转发。树形拓扑协调器在树的顶端。在 Mesh 网中,协调器是 Mesh 网的根节点。ZigBee 协调器还可以提供安全服务。

(2) ZigBee 路由器。在网络中可以传输数据,也可以与别的路由器或者端节点相连。路由功能只在树形或者 Mesh 拓扑结构中使用。因为在星型网络中所有的数据都由中心节点——协调器转发。路由器也可以充当端节点。如果网络支持信标,那么一个路由器可以在没有数据的时候休眠,并周期性地唤醒,来向网络通报它的存在。

(3) ZigBee 端节点。ZigBee 网络的节能主要在 ZigBee 的端节点上实现。因为这些节点不需要转发数据,它们可以在大部分的时间里休眠,来延长电池的使用时间。这些端节点只有和它的父节点通信的功能,它的父节点可以是一个路由器或者一个协调器。一个端节点不可能通过另一个端节点和别的端节点通信。它必须通过连接路由器或者协调器来接入网络。

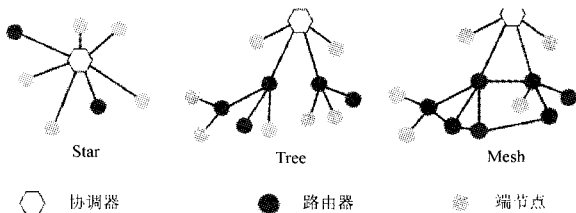


图2 ZigBee 3种网络拓扑

协调器、路由器和端节点 3 种组成设备可以构成 3 种网络拓扑(见图 2):

(1) 星型拓扑:一个协调器由路由器或者端节点包围。这种拓扑比较简单,但是存在一些致命的问题,如果协调器停止工作,整个网络就会瘫痪,因为所有的数据都需要从协调器转发。同样因为这个原因,协调器的瓶颈会影响整个网络,特别是当一个 ZigBee 网络中节点非常多的时候。

(2) 树形拓扑:在树形网络中,在树的根节点上的协调器初始化整个网络。协调器可以与路由器和端节点直接相连。路由器可以再连接子节点。子节点不可以再连接子节点了,因为子节点没有转发数据的能力。在一个网络中,子节点的数据必须通过它的父节点来传输,因为路径只有一个,所以如果一个路由器坏了,所有与它相连的子节点都会无法传输数据。

(3) Mesh 拓扑:Mesh 拓扑是 3 个拓扑结构中最灵活的。灵活性是因为数据可以通过多条路径从源节点传递到目的节点。如果一个路由器坏了,ZigBee 网络的自组织功能将自动搜索别的路径。

3 Zigbee 网络自愈功能的 OPNET 仿真

OPNET 从 OPNET v14.0 开始支持 ZigBee,但 ZigBee 模型并不完善,缺少部分 ZigBee 函数功能,如单一路由器的稳定性、路由器故障导致的自愈性、移动终端设备呈现的稳定性、可变比特率传输情况等。本文使用 OPNET v14.5 仿真 ZigBee 网络中路由器发生故障后 ZigBee 网络的自愈功能。

模拟路由器故障的一种方法是通过修改相关函数代码来添加一个故障条件实现的,但这涉及大量的 C 编程,工作量极大,开发周期很长。我们的替代方法是,提供一个运动轨迹使路由器移动到射频覆盖范围之外,从而触发其自愈机制。模拟替代方案场景的两个关键点是,ACK 应答机制开启与 ZigBee 射频覆盖范围的设置。终端设备放置得太近会导致目的协调器直接发送信息给终端,而不是通过路由器,从而无法观察到自愈过程。ACK 的开启要求终端设备能识别路由器故障,不再接收和路由信息流而触发路由发现。图 3 说明在故障前从终端设备到协调器的信息流路径。图 4 显示了路由器 Router_0 故障后的信息流路径,触发自愈以发现经过路由器 Router_1 通往目的地的备用路径。

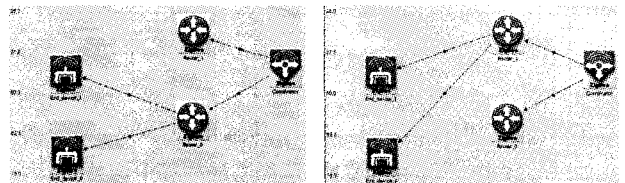


图3 路由器故障前信息流路径图

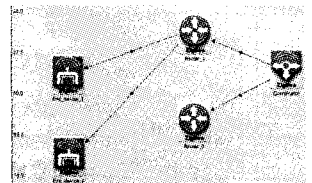


图4 路由器故障后信息流路径图

模拟仿真时间在 5 分钟时,路由器 Router_0 出现故障。图 5 显示了两终端设备发送的信息流量和两路由器接收到的信息流量。绿色线显示了路由器 Router_0 的信息量在 5 分钟后开始呈现大幅度下滑,原因是路由器移出了终端设备的射频覆盖范围,而停止接收信息。沿着顶部的亮蓝色线展示的是固定路由器 Router_1 的信息流情况,表明该路由器一开始就从所有的邻居设备处接收信息流。这个 ZigBee 模型缺乏报警机制,未激活的设备可以进入休眠模式,偶尔会苏醒过来通告网络以表明自己的存在。尽管固定路由器 Router_1 接收了大量的信息量,但其不会传输信息到目的协调器。

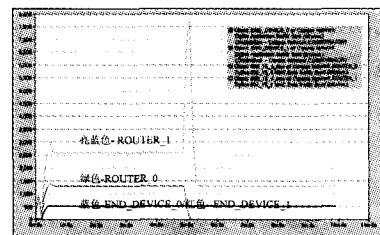


图5 终端发送与路由器接收信息流

仿真 5 分钟时出现了类似于仿真之初出现的信息流尖峰,原因是设备在管理、控制信息流传输时,执行路由发现发

(下转第 194 页)

的部分($N \sim X$)作为搜索依据,所有与($N \sim X$)位相同的标签应答并回送其序列号的其余部分,这样可有效提高标签访问效率。

结束语 结合核燃料储运工作的特点及要求,提出了基于 RFID 技术的核燃料储运一体化管控平台及系统模型,综合分析了该平台的体系结构、业务管理流程及关键技术。该平台提供了运输车辆、人员及核燃料容器级的精细化管理解决方案,同时规范了储运信息的分类与编码,显著提升了信息采集的自动化程度。希望该平台的理念和技术能为 RFID 在核燃料储运领域的实际应用提供参考和借鉴。

RFID 作为搭建物联网的核心技术,已经成为国家十二五期间的重点研究内容。如果能够继续在 RFID 知识产权、安全机制以及国家标准体系建设方面积极投入、致力研究、多出成果,同时借鉴国外先进领域的管理经验和技朮,完全有理由相信 RFID 在涉核领域的成熟应用不久就会成为现实。

参 考 文 献

[1] 周永彬,冯登国. RFID 安全协议的设计与分析[J]. 计算机学报, 2006,4(29):582-589

[2] 连培生. 原子能工业(第 2 版)[M]. 北京:原子能出版社,2002
 [3] 游战清,李苏剑,等. 无线射频识别技术 RFID 理论与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2004
 [4] 周祥. RFID 技术在物联网中应用的关键技术探讨[D]. 镇江:江苏大学,2005
 [5] 梁虎,王厚辉,杨若鹏. 无线射频识别技术的发展趋势及军事应用前景[J]. 中国科技信息,2008(4):270-271
 [6] 丁振华,李锦涛,冯波. 基于 Hash 函数的 RFID 安全认证协议研究[J]. 计算机研究与发展,2009,46(4):583-592
 [7] 秦一氓,等. 应用于船用钢板的 RFID 标签新型贴标方法[J]. 信息技术与标准化,2011,3:54-56
 [8] 王建伟,赵玉萍,Korhonen T. RFID 系统防撞协议研究-设计与优化[J]. 电子与信息学报,2009,31(1):1-4
 [9] 习阳. 物联网技术在军工行业的应用[J]. 兵工自动化,2010,29(12):59-60
 [10] 孙其博,刘杰,等. 物联网概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报,2010,33(3):1-9
 [11] 邵瑜,许晓兵. 基于 RFID 技术的危化品储运一体化管理模型[J]. 商场现代化,2008,3:21-22

(上接第 170 页)

送了大量的信息的缘故。在 5 分钟时的尖峰信号是由于 ZigBee 的自愈特性引起的,它仅仅识别了原始路径的缺失和再次执行路由发现寻找到达目的地的最优路径。可以看出,固定路由器 Router_1 拾起了终端设备信息流并连续地将信息流路由传输到目的协调器。

图 6、图 7 显示了两路由器与目的协调器之间的通信量。蓝色线显示了协调器接收的通信量,红色和绿色线显示了路由器发往协调器的通信量。在前 5 分钟可以看出,固定路由器 Router_1 尽管接收到大量的信息流,但不转发任何信息。

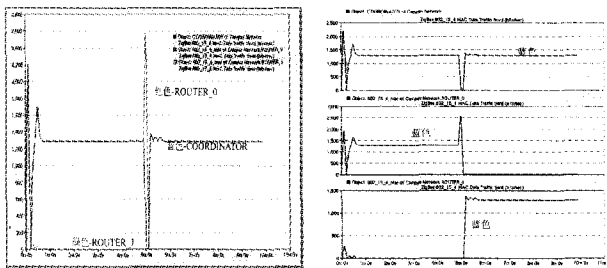


图 6 路由器到协调器信息量 图 7 路由器到协调器信息量

协调器连续接收信息流但在仿真时间的 5 分钟时出现了波动,这是由于网络自愈执行路由发现引起的。移动的路由器 Router_0 试图寻找自己在网路中的位置(红色尖峰信号)。一旦初路由失败,固定路由器 Router_1 拾起信息流并将之传送到目的协调器。

图 8、图 9 显示了从终端设备到协调器之间的 ETE delay (端到端时延)。这是从应用数据包的产生到目的设备收到包的一个估计时间。图 8 集中显示了在仿真时间为 5 分钟时,由于路由器 Router_0 发生故障丢弃信息包过程的 ETE Delay。然而如图 9 所示的平均 ETE delay 表明吞吐量恒定,这证明了尽管发生路由故障,但其仍能保持 ZigBee 网络的一致

性,表明 ZigBee 网络自愈性能很好,终端设备生成的信息流被目的协调器成功地接收,除了路由故障发生时进行路由发现时少了数据包丢失外,整体网络的吞吐量恒定。

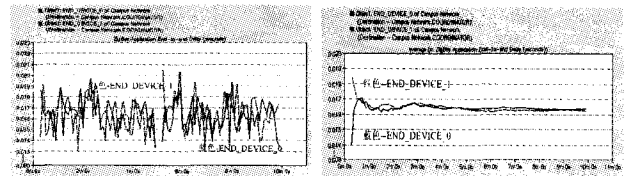


图 8 终端设备到协调器的端到端时延 图 9 终端设备到协调器端到端平均时延

结束语 本文使用 OPNET 建立了 ZigBee 的网络仿真模型,仿真并验证了 ZigBee 网络路由故障引发的自愈功能。终端设备生成的信息流被目的协调器成功地接收,除了路由故障发生时进行路由发现时少了数据包丢失外,整体网络的吞吐量恒定,表明 ZigBee 网络自愈性能很好,尽管发生路由故障但其仍能保持 ZigBee 网络的一致性。

参 考 文 献

[1] Jennic. "Welcome to Jennic's ZigBee e-learning Course. [EB/OL]. Available: http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/content_frame.htm,2007
 [2] Mesh-Matrix Inc. "What is ZigBee," [EB/OL]. http://mesh-matrix.com/en/technology/tech_zigbee.aspx,2007
 [3] 李馨,叶明. OPNET Modeler 网络建模与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006
 [4] 彭燕. 基于 ZigBee 的无线传感器网络研究[J]. 电子技术,2011,34(5)
 [5] 徐磊,李晓辉,方红雨. 基于 OPNET 的 Ad hoc 网络建模与仿真[J]. 2009,35(1)