

基于 ZigBee 应用的技术研究与设计^①

江华丽¹, 王平², 冯志斌¹, 张荣辉¹

¹(福建师范大学 闽南科技学院, 泉州 362332)

²(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

摘要: Zigbee 技术是当前研究的热点, 它具有低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本等特点, 具有广泛的应用。首先介绍 ZigBee 拓扑结构和 ZigBee 协议, 接着对 ZigBee 各种不同应用技术和不同通信方式进行分析, 总结当前 ZigBee 技术存在的关键问题, 并提出设计实例, 最后总结未来研究的方向。

关键词: ZigBee; 拓扑结构; 协议; 应用技术; 通信方式

Research and Design for Technology Based on ZigBee Application

JIANG Hua-Li¹, WANG Ping², FENG Zhi-Bing¹, ZHANG Rong-Hui¹

¹(Minnan Institute of Science and Technology, Normal University, Quanzhou 362332, China)

²(Key Laboratory of medical optoelectronic science and technology, Fuzhou 350007, China)

Abstract: ZigBee technology is a hot topic, which has the characteristics of low complexity, low power, low data rate, low cost, etc. and has varies of applications. In this paper, firstly, ZigBee topology and ZigBee protocol are introduced. Then ZigBee Application technology and various communication modes' characterizes are analyzed. The current ZigBee technology's key problems are summarized and the design example are put forward. Finally, the direction of future research is summarized.

Key words: ZigBee; topology; protocol; application technology; communication method

1 引言

ZigBee 名字来源于“Bee”蜜蜂, “Zig”取自英文单词“zigzag”, 意思是走“之”字形, 是蜜蜂通过跳之字形状的舞蹈来通知发现的新食物的位置、距离和方向等^[1-3]。它是一个由 65000 个无线数传模块组成的一个无线数传网络平台, 每一个 ZigBee 网络数传模块之间可以相互通信, 每个网络节点间的距离可以从标准的 75m 无限扩展。每个 ZigBee 网络节点不仅本身可以作为监控对象, 还可以自动中转别的网络节点传过来的数据资料。ZigBee 在很多领域有着广泛的应用^[1-24], 例如在家庭和楼宇网络包含: 空调系统的温度控制、照明的自动控制、窗帘的自动控制、煤气计量控制、家用电器的远程控制等; 工业控制包含: 各种监控器、传感器的自动化控制; 商业: 智慧型标签等; 公共场所包含: 烟雾探测器等; 农业控制包含: 收集各种土壤

信息和气候信息; 医疗方面: 老人与行动不便者的紧急呼叫器和医疗传感器等。

2 ZigBee 协议结构及技术分析

2.1 ZigBee 协议

ZigBee 网络包含三种设备: 协调器、路由器和终端设备。协调器是这个设备中最复杂的设备, 其主要功能^[18-22]包括分配网络地址、建立网络、维护网络和管理网络等, 是全功能设备。路由器负责把节点加到拓扑结构当中, 对新节点进行管理和维护, 是全功能设备。终端设备满足用户对数据测量分析的需要, 该设备没有维护网络的能力, 和路由节点结合在一起, 一般都是使用低成本的控制器的, 终端节点没有路由功能。

ZigBee 联盟定义两种物理设备类型: 全功能设备 FFD (Full Function Device) 和精简功能设备 RFD

^① 基金项目:福建省教育厅项目(JB11266)

收稿时间:2015-06-21;收到修改稿时间:2015-08-20

(Reduced Function Device). ZigBee 网络的星型拓扑结构通常由一个 FFD 和若干 RFD 组成, FFD 充当网络协调器功能,能和任何设备通信,其它设备只与协调器通信,由协调器决定^[10-23]. RFD 不能成为网络协调器,只能和网络协调器通信,实现方式简单. 如果某个终端设备需要传输数据到另一个终端设备,协调器会把数据转发给终端设备. 网络的拓扑结构主要有三种形式,星形,网状型和簇状型.

(1)星形: 星形结构形式简单,所有的数据通过协调器处理,现在最常用的应用是利用单片机和无线收发模块作为硬件平台,在协议栈中构建星形网络. 通过 FFD 接力传送,网络可以扩展成其它拓扑结构. ZigBee 星形网络如图 1 所示.

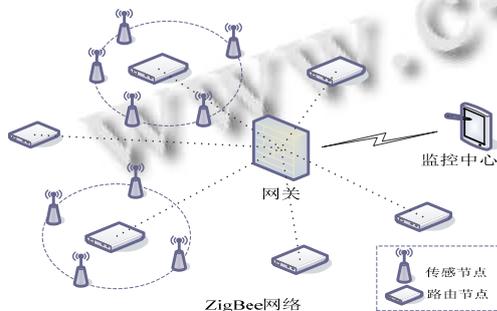


图 1 ZigBee 网络的星形拓扑结构图

(2)网状型: 网状型结构具有路由选择的能力,每个节点都相当于一个路由器,是一种自由的拓扑结构,节点数量多且集中,稳定性强,该结构可以结合不同的算法提高网络的性能和稳定性,不同路径对网络的性能都会有很大的影响. 网络的传输速率、功耗等参数必须通过修改路径参数来改变.

(3)簇状型: 簇状型是以星型结构为基础,保持星型结构的节点分布,可以实现网络的“多跳”信息服务,储存器的需求低,上一层的路由信息较少. 在这种结构中,可以在拓扑结构中增加路由算法,建立多播机制,提高传输速率,降低数据的冗余性.

ZigBee 协议符合 OSI 模型^[15-24],包含物理层、MAC 层、网络层、安全服务和应用程序支持层,在分层上和 TCP/IP 协议有相似之处,整个协议解决最基本最核心的自组织联网问题. ZigBee 协议整体框架如图 2 所示.

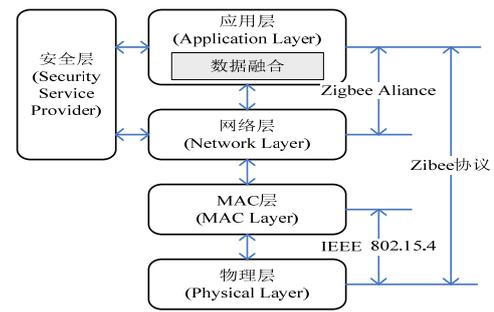


图 2 ZigBee 协议结构

2.2 应用技术

ZigBee 在国内技术起步比国外晚,随着无线技术的发展,目前已经有很多高校和研究机构对无线组网技术的应用提出开发和研究,例如对网络节点的管理软件、网络拓扑的各种算法、网关设计、安全性能等方面提出课题研究. 国外技术研究比较早,从 2002 年 8 月份开始建立联盟,目前该技术的应用范围非常广泛. 以下文献下载于国外电子期刊数据库,应用范围和关键技术总结如下:

文献[1]提出一种低成本的能源有效的控制系统,包括三部分: 传感器节点,节点和远程控制热水器. 远程控制是用来设置所需的温度加热系统. 热水器节点将两个传感器节点反馈到加热系统. 采用 PID 控制和混合粒子群优化算法(HPSO)的调整加热元件的电压水平. 热水器节点能够与传感器节点通信高达 30 米,带遥控控制高达 100 米.

文献[2]提出基于无线局域网协议的数据采集系统,该系统监测大气中的环境参数,例如温度、湿度、气体浓度等参数,可以通过智能手机监测参数是否超出某水平. 该系统是一个可靠地通信系统,通过有效利用通信算法控制节点,读取的数据几乎没有中断和延迟. 实验结果表明数据有效传输,从各节点接收的数据精确率高.

文献[3]提出基于 ZigBee 的无线监测网络的地下铲运机的优化设计. 根据在 ZigBee 网络的 RSSI 值,铲运机进行粗定位计算,并传送到安装计算机的主要控制单元,并与安装的传感器,刮刀的位置和状态进行评估. 通过无线局域网,铲运机的视频监控数据,遥控数据和贩子的位置及状态数据传送到地面计算机. 目前 IEEE802.11 系列是最流行的无线局域网协议标准.

文献[4]提出一种基于 ZigBee 技术的室内定位系统. 根据 RSSI 路径损耗分布, RSSI 值被定义为四类.

原来的RSSI值将在不同的类,可以采用欧氏距离的移动节点作为参考节点,移动节点的位置将由参考节点坐标的计算。越来越多的研究者致力于基于无线传感器的研究,AMI环境已为未来社会的发展趋势,它是一种电子环境监测周围的人或物的情况,给出一个适当的回应满足他们的需求。

文献[5]分析和验证 ZigBee 的无线系统,分析 IEEE 802.11 标准对应的无线局域网。米勒曾用同样的方法来验证介质访问控制协议。在另一种方法,ETMCC 模型检测被用于分析中央的一个访问协议,提出一个用 DTMC 模型的无线通信协议。该文献提出无线局域网协议站的验证方法,提供保证协议的正确性。ZigBee 是一种分层协议,因此它可以被应用于类似的无线系统,进行分析和验证。

文献[6]提出基于无线传感器网络的能源管理系统。该系统由两个主要组件组成:无线传感器网络和智能家庭网关。无线传感器用于数据传输,通过智能家庭网关远程监视控制家用电器。该设计方法包含能管理和控制服务,该系统可以实时监视和测量用电。用户可以实时的远程控制用电,通过网络和其他移动设备,如智能手机等。从每个传感器包含输入数据设备的实际状态,功耗和传感器 ID,将接收的数据存储在一个 PostgreSQL 数据库。

文献[7]提出智能温室环境监控系统。采用点到点的网络拓扑结构,节点配置包含温度传感器、湿度传感器和光照传感器。该系统使用两层的数据融合算法,降低网络的信息冗余度,减少信息重发的次数,延长网络的生存期,提高数据接收的准确性。第一层使用统计数据融合,第二层采用神经网络数据融合算法,实验证明 ZigBee 协议适合高数据冗余的应用场合。

文献[8]提出一种智能能源管理系统,长电池寿命和网络安全的无线局域网通信模块运行速度为 250kbps,扫描电镜的功耗大大减小,因此无线局域网通信模块被广泛用于楼宇自动化、安全系统、远程控制、远程抄表、计算机外设等。该文献提出智能能源管理系统有两个功能,使用传感器来检查是否有人在一个测试床及权力使用。该电源板集成无线局域网通信模块架构,选择合适函数将带来相当大的减少功耗。

文献[9]分析无线局域网安全方法的缺陷,强调有关无线局域网相关的安全问题,提出一种新的方法适

合无线局域网,抵抗攻击,提高安全性。最初安全协议使用的关键是通过共享的钥匙或传播路径在所有节点增加网络的协议,而该方法是在每个节点存储一个标识符和一个私人保密信息。例如,一个偷听者冒充信任中心或重播以前的响应,消息则不会匹配节点的验证,攻击将会失败。身份验证这个特性对许多应用程序都是很重要的。

文献[10]提出基于无线传感器的煤矿定位系统,实时监测煤矿工人的作业环境。中国目前的煤矿通信系统不能有效地提供动态等信息,因此在煤矿事故救援工作很难进行。

文献[11]提出无线传感网络协调器的设计,研究 ZigBee 协议及其在嵌入式平台上的实现和应用。ZigBee 数据的收发采用 Chipcon CC2420 射频 IC 实现,协调器利用 ARM9 芯片 s3c2440,实现短距离的无线数据采集,功能丰富,为无线传感器建立良好的平台。

文献[12]提出无线火灾报警系统,它适用于各种场合,特别是在博物馆、古建筑群,具有广泛的应用前景,克服传统有限的局限性。硬件主要由数据收集器和数据接收器。数据收集器由传感器、MC 射频芯片等。单片机和射频芯片通过 PCI 总线连接在一起构成无线传输模块。无线传感器网络,它有一些优势,如成本低、网络容量高,寿命长,系统安装方便放置节点和维护。

文献[13]提出基于无线传感器的智能家居系统,家庭网关设备接收信息通过无线模块生成相应的信号来控制智能家电。只要信号被检测到传感器的终端节点,它将通过无线网络传播给家庭网关模块,需要处理相应的任务。为了实现远程控制,终端设备与网络终端形成控制器。设备控制模块与系统可以得到命令,执行网络终端模块和操作家用电器。

文献[14]提出基于无线传感器的光伏发电系统,基于无线光伏发电的特点是覆盖面广,成本低,功耗低,方便灵活的布局,容易发现和及时解决故障。系统包含 CC2530 和 SIM300 等芯片,设计数据转发和远程通讯的通信网关,网关和光伏发电装置之间采用 ZigBee 无线通信方式,采用成熟的 GPRS 技术,通过远程控制实现一个控制中心能在线检测许多来自不同节点的光伏系统。

文献[15]提出基于无线传感器在线水质监测系统,利用基于蜂窝网络的算法和改进的虚拟力算法解决冗余节点的部署问题,实验证明无线传感器网络能够

全面准确地获取数据信息. 软件上结合数据库技术和网络编程技术设计实时监控的中心软件系统, 实现水质量的数据采集, 实时处理和分析, 对水质数据进行评估和分析, 为系统的管理提供依据.

2.3 关键技术分析

ZigBee 技术成功的关键在于丰富灵活便捷的应用, 目前国内外更多的研究力量转移 ZigBee 技术的应用和实现, 在未来几年各个领域都会得到迅速的扩散, 基于 ZigBee 的设计产品将会改变人类的生活方式和生活品质, 将来会实现更多自动化、网络化的产品. 关于 ZigBee 技术的定量分析, 文献[23]提出多种不同的测试方法及分析, 包含标准的符合性测试, 异构网测试, 大规模性测试, 移动性测试, 共存性测试, 远程测试, 安全测试和用户需求测试, 但该测试平台只针对小规模网络, 对于大规模测试还存在一定困难. 例如文献[1-3,10,11,13,14]需要进行移动性测试, 节点在同一网络 and 不同网络之间切换进行功能测试, 传感器节点测试分物理接口和数据接口测试, 测试评价标准包含采集时间、转换速率、传输距离、发射功率、误差率、丢包率等. 文献[4-8,12,15,16]要进行远程测试, 在不同的环境需要对未知的不确定性和可能发生的情况进行相应的测试, 测试功能是否满足用户的需求, 这也属于用户的特定需求测试. 文献[9]属于安全测试, 防止非法用户对数据的窃取和篡改, 所以需要各种信息的加密处理. 静态性能评估除了安全属性, 解决方案的成本也颇为重要, 是否适合无线网络的通信及存储需要. 这个无线局域网模型已经有很大的改善, 虽然提出缺陷, 但方案是有效的, 防止许多安全攻击. 关于路由算法, 国内众多文献对算法的选取和应用提出改进, 例如文献[24]提出路由优化算法, 该算法的成功发包率优于 AODVJR 算法, 避免节点的过分适用, 提高路由效率. 路由算法的改进是目前在该技术领域研究的难点. 各项定量指标及参数在各个文献都有阐述和分析, 这里就不在详细介绍. 通过以上文献的分析, 总结出 ZigBee 目前研究的关键技术包含以下几点: (1)ZigBee 和其它无线网互联的性能影响和分析, ZigBee 和 IP 网络互联存在网络封装格式不兼容的问题; (2)ZigBee 网络的功耗和速率是动态组网和动态路由中存在研究的问题, 数据传输存在延迟, 节点数目增加造成延迟时间长, 速率低, 因此这是 ZigBee 研究必须考虑的问题. 目前有很多文献提出各种不同算法

适应于大规模的 ZigBee 网络, 例如基于神经网络算法的多层数据融合算法可以利于降低数据冗余、改善查询效率、降低能量消耗等问题; (3)ZigBee 的网络安全性分析, ZigBee 有身份认证和加密技术, 但是 ZigBee 安全编码在加密技术、安全结构、协议栈安全、组网方式等还有待深入分析和测试; (4)无线传感器网络的应用广泛, 但是带宽和能源资源有限制, 有些带宽会闲置, 为了不浪费能量, 提高传感器带宽利用率是无线传感器的重要技术.

3 智能环境监控设计实例

3.1 设计流程

本次设计节点组网测试选择星形网络, 主要由三个结点组成. 协调器的软件流程图如图 3 所示.

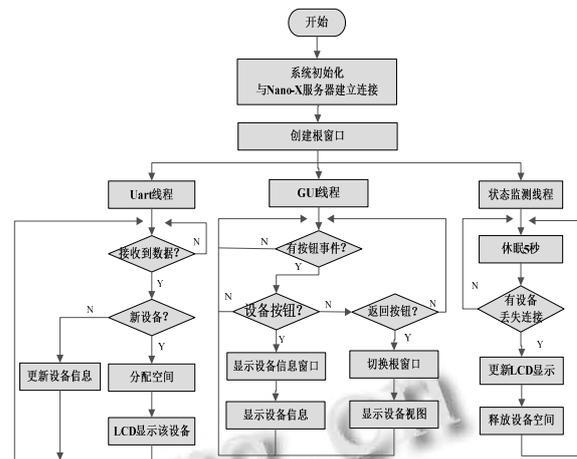


图 3 协调器的软件流程图

成员节点主要是采集传感器数据和接受来协调器的控制数据. 当没有数据收发时进入休眠状态, 节点功耗降到最低, 成员节点的软件设计流程图如图 4 所示.

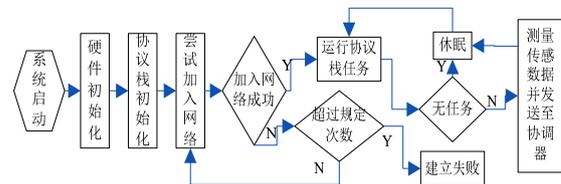


图 4 成员节点的软件流程图

3.2 环境监控设计

ZigBee 温室环境监控应用中, 节点的物理分布和地址分配如图 5 所示. 查询网内地址的配置参数为:

最多子设备数 $C_m = 6$; 最大网络参数 $L_m = 2$; 最大网络路由 $R_m = 4$.

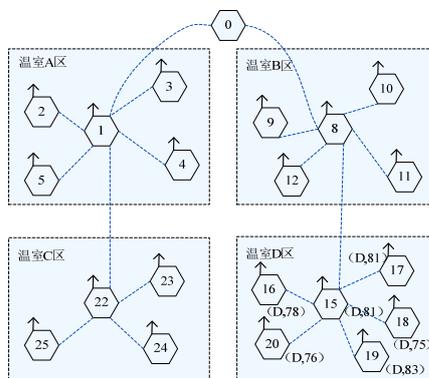


图 5 ZigBee 监控网络结构

收集到的数据如图 4 所示,分别监测 A、B、C、D 四个区得温度、光照、适度、二氧化碳浓度等参数. 该系统应用改进神经网络算法, 测试表明该系统能很好的监控节点数据, 降低功耗, 提高网络生存期.

区域	温度(度)	光照(Lux)	湿度(%)	CO2(ppm)	状态
A区	25	50053	45	695	OK
B区	25	50100	44	690	OK
C区	25	50068	48	685	OK
D区	25	50070	45	700	OK

图 6 温室监控画面

4 未来展望

ZigBee 技术是物联网实现的重要技术, 应用范围广, 是一种新兴的短距离、低速率、低功耗无线网络技术, 其特点是近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低数据速率、低成本. ZigBee 路由选择策略, 路由使用簇结构来优化网络性能, 建议路由由协议转换机制, 选择不同的路由算法来提高转换的速率, 降低数据冗余性, 对 ZigBee 标准的改进是未来研究的方向之一. ZigBee 数据传输的吞吐率, 能量的效率, 路由的策略、网关的设计、数据的冗余性、传输存在的延迟和网络安全性、传输的速率、协议的标准等都是 ZigBee 技术需要进一步研究的问题, 也是 ZigBee 未来研究的方向.

ZigBee 技术的不足在于它的速率是为低速通信而

设计, 对于物联网大数据量通信的场合并不适用, 但有些生产商已经突破这个限制, 提高传输速率, 未来 ZigBee 技术将迎合物联网大数据大概概念方向的趋势发展, 未来物联网发展 ZigBee 技术会有很大突破, 物联网技术在中国产业发展意义巨大.

参考文献

- 1 Singh R, Kuchhal P, Choudhury S, Gehlot A. Wireless controlled intelligent heating system using HPSO. International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence. 2015. 123-126.
- 2 Anita RS, Choudhury S, Singh B. Wireless disaster monitoring and management system for Dams. Procedia Computer Science, 2015, (48): 381-386.
- 3 Yin GF. The design and optimization of underground scraper wireless monitoring networks based on ZigBee. Physics Procedia, 2011, (22): 270-274.
- 4 Huang CN, Chan CT. ZigBee-based indoor location system by k-nearest neighbor algorithm with weighted RSSI. Procedia Computer Science, 2011, (5): 58-65.
- 5 Gawanmeh A. Embedding and verification of ZigBee protocol stack in event-b. Procedia Computer Science, 2011, 5: 736-741.
- 6 Kim WH, Lee S, Hwang J. Real-time energy monitoring and controlling system based on ZigBee sensor networks. Procedia Computer Science, 2011, (5) : 794-797.
- 7 Challoora R, Oladeinde A, Yilmazera N, Ozcelikb S, Challoor LC. An overview and assessment of wireless technologies and co-existence of ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi devices. Procedia Computer Science, 2012, (12) :386-391.
- 8 Parka S, Choia M, Kanga B, Park S. Design and implementation of smart energy management system for reducing power consumption using ZigBee wireless communication module. Procedia Computer Science, 2013, (19): 662-668.
- 9 Razouka W, Crosbyb GV, Sekkaki A. New security approach for ZigBee weaknesses. Procedia Computer Science, 2014, (37): 376-381.
- 10 Wang L, Nie B, Zhang R, Zhai S. ZigBee-based positioning system for coal miners. Procedia Engineering, 2011, (26): 2406-2414.
- 11 Asencio GB, Maestre JM, Escaso JM, Macareno CM, Molina

- MA, Camacho EF. Interoperabilidad en sistemas domóticos mediante pasarela infrarrojos-ZigBee. *Revista Iberoamericana De Automática E Informática Industrial*, 2011, 8(4): 397–404.
- 12 Ma SG. Construction of Wireless Fire alarm system based on ZigBee technology. *Procedia Engineering*, 2011, 11: 308–313.
- 13 Zoua ZY, Lib KJ, Lia RZ, Wub SF. Smart home system based on IPV6 and ZigBee technology. *Procedia Engineering*, 2011, (15): 1529–1531.
- 14 Xu XL, Wang H. The wireless sensor network construction of the photo voltaic power system-ZigBee. *Procedia Engineering*, 2011, (15): 2511–2515.
- 15 Wang X, Ma L, Yang H. Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS. *Procedia Engineering*, 2011, (15): 2680–2684.
- 16 Choudhury S, Kuchhal P, Singh R. Anita, ZigBee and Bluetooth network based sensory data acquisition system. *Procedia Computer Science*, 2015, (48): 367–372.
- 17 Liu ZY. Hardware design of smart home system based on ZigBee wireless sensor network. *AASRI Procedia*, 2014, (8): 75–81.
- 18 Zhang T, Chen ZY, Ouyang YN, Hao JY, Xiong Z. An improved RFID-based locating algorithm by eliminating diversity of active tags for indoor environment. *The Computer Journal*, 2008, 52(8): 902–909.
- 19 Chen WH, Chang HH, Lin TH, Chen PC, Chen LK, Hwang SJ, et al. Dynamic indoor localization based on active RFID for healthcare applications: A shape constraint approach. *Proc. of the 2nd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*. 2009. 1–5.
- 20 Jiang XJ, Liu Y, Wang XL. An enhanced approach of indoor location sensing using active RFID. *Proc. of the WASE International Conference on Information Engineering*. 2009. 169–172.
- 21 Hsu PW, Lin TH, Chang HH, Chen YT, Tseng YJ, Hsiao CH et al. Simulations and experiments for optimal deployment of an RFID-based location-aware system. *Wirel Commun Mob Comput*, 2009: 101–102.
22. Gupta A. Formal hardware verification methods: A survey. *Formal Methods in System Design*, 1992, 1(2,3): 151–238.
- 23 刘聪慧,李峰,徐沪萍,冯凯,陈超. ZigBee 无线传感器网络测试平台研究. *武汉理工大学学报*, 2014, 36(1): 29-33.
- 24 樊毅默. 基于传感器应用的 ZigBee 路由算法研究. *软件导刊*, 2013, 12(7): 350-353.