

基于 ZigBee 的无线网络系统的设计与实现

熊磊,董奎勇,钱炜,葛磊
(上海理工大学机械工程学院,上海 200093)

摘要:为了满足无线近距离内感知、采集和处理信息,设计了一种符合 ZigBee 规范的无线星型网络系统。简要介绍了 ZigBee 技术及其特点,分析了 ZigBee 无线通信协议,并采用了 Chipcon 公司的 CC2430 芯片和带有定位引擎的 CC2431 芯片,实现了短距离范围内的无线定位。在此基础上,对无线网络系统的硬件进行了研究与设计,软件上进行了无线通信应用程序的开发,并通过图形显示软件对设计的网络系统进行实时定位显示。此网络系统满足了无线近距离通信的要求,同时对符合 ZigBee 规范的无线网络系统的应用前景进行了展望。

关键词:传感器网络;参考节点;协调器;定位节点

中图分类号:TP393.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)04-0242-04

Design and Realization of Wireless Network System Based on ZigBee

XIONG Lei, DONG Kui-yong, QIAN Wei, GE Lei

(College of Mechanical Engineering, University of
Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: For finding, collecting, dealing with the information in the immediate distance, a wireless star-topology network is designed based on the ZigBee technology in the paper. Briefly introduces the technology of ZigBee and its features, wireless communication protocol is analyzed, and CC2430 and CC2431 with the function of location in the Chipcon are introduced, realize the wireless location in the immediate distance. Furthermore, studies and designs hardware in the wireless network system, develops the software, and real-time shows the network system with the figure software. The network system reaches the purpose of the communication in the immediate distance, and forecasts the application of wireless network system with the technology of ZigBee.

Key words: sensor network; reference node; coordinator; blind node

0 引言

随着通信技术的迅速发展,人们提出了在自身附近几米范围之内通信的要求,这样就出现了无线区域网络(Wireless Area Network, WPAN)。

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种特殊的网络^[1-4],由部署在监测区域内大量的带有传感器的无线节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统,其目的是感知、采集和处理网络覆盖区域中对象的信息,并发送给观察者,被认为是21世纪最重要的技术之一。相对于目前的蓝牙、UWB等无线通信技术,ZigBee主要用于无线近

距离通信。

文中在简要介绍 ZigBee 技术和无线传感器网络的通信协议 IEEE802.15.4 的基础上,采用 Chipcon 公司提供的完全符合 IEEE802.15.4 规范的射频芯片 CC2430 和 CC2431,设计并实现了符合 ZigBee 协议的网络终端节点和网络协调者组成的网络系统,并通过此系统实现了无线定位。

1 ZigBee 技术简介

ZigBee 是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术,一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术方案,主要用于近距离无线连接,是一组基于 IEEE 批准通过的 802.15.4 无线标准开发的有关组网、安全和应用软件方面的技术标准。ZigBee 联盟还开发了安全层,以保证这种便携设备不会意外泄露其标识,而且这种利用网络的远距离传输

收稿日期:2008-08-21

基金项目:上海市大学生创新基金

作者简介:熊磊(1984-),男,江西高安人,硕士研究生,主要从事机器人方面的研究开发;钱炜,硕士,副教授,主要从事机器人机构学、CAD等方面的研究。

不会被其他节点获得。它依据 IEEE802.15.4 标准能在上千个微小的传感器之间相互协调实现通信,可完成数据的采集、量化、处理、融合及传输。

ZigBee 是以一个个独立的工作节点为依托,通过无线通信组成星状、片状或网状网络。因此,每个节点的功能并非相同,为降低成本,系统中大部分的节点为子节点,从组网通信上,它只是其功能的一个子集,成为精简功能设备,简单的控制应用,传输的数据量较少,对传输资源和通信资源占用不多,可以采用非常廉价的实现方案,在网络结构中一般作为通信终端;而另外还有一些节点,负责与所控制的子节点通信,称之为全功能设备(也成为协调器),需要功能相对比较强大的 MCU,一般在网络结构中用作于网络控制和管理功能,还要完成成员身份管理、链路状态信息管理以及分组转发等任务。

2 无线网络的通信协议

完整的 ZigBee^[5]协议套件由高层应用规范、应用会聚层、网络层、数据链路层和物理层组成。网络层以上协议由 ZigBee 联盟制定,IEEE802.15.4 负责物理层和链路层标准。PHY 层由射频收发器以及底层的控制模块构成。MAC 子层为高层访问物理信道提供点到点通信的服务接口。应用会聚层将主要负责把不同的应用映射到 ZigBee 网络上。

物理层提供了媒体访问控制层与无线物理通道之间的接口,主要完成激活/休眠无线收发设备、对当前频道进行能量检测、链路质量指示、为载波检测多址与碰撞避免(CSMA-CA)进行空闲频道评估、频道选择、数据的发送及接收等。

MAC 子层运用 CSMA/CA 机制来访问无线通道。其功能包括发送信标帧(beacon frames)、同步以及提供一个可靠的传输机制。此外,MAC 还可以选择使用应答数据传输机制,使用这一方法,所有特殊 ACK 标志位置 1 的帧均会被它们的接收器应答,这样,就可以确定帧已被传递。

网络层负责拓扑结构的建立和维护、命名和绑定服务,它们协同完成寻址、路由及安全等任务。网络层主要考虑采用基于 adhoc 技术的网络协议,并包含以下功能:一是拓扑结构的搭建和维护、命名和关联业务,包含寻址、路由和安全;二是有自组织、自维护等功能,以减少消费者的维护成本。

应用层定义了各种类型的应用业务,是协议栈的最上层用户。应用层主要负责将不同的应用映射到 ZigBee 网络上,具体包括:安全与鉴权、多个业务数据流的会聚、设备发现和业务发现等。

3 芯片的选择

CC2430^[6,7]芯片延用了以往 CC2420 芯片的结构,在单个芯片上集成了 ZigBee 射频前端、内存和微控制器。它使用 1 个 8 位微处理器,具有 32/64/128kb 可编程闪存和 8kb 的 RAM,还包含模/数转换器、定时器、AES-128 安全协处理器、看门狗定时器、32kHz 晶振的休眠模式定时器、上电复位电路、掉电检测电路以及 21 个可编程 I/O 引脚。其特点有:集成了符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4GHz 的 RF 无线收发机;较宽的电压范围(2.0~3.6V);硬件支持 CSMA/CA 功能;集成了 14 位模/数转换的 ADC;ZigBee/802.15.4 全兼容的硬件层、物理层等。CC2430 的连接主要考虑复位电路、晶振、天线和必要的阻抗元件的设计。

德州仪器(TI)宣布推出业界首款带硬件定位引擎的片上系统解决方案 CC2431,以满足低功耗 ZigBee/IEEE802.15.4 无线传感器网络应用的需求。CC2431 建立在业界首款针对低功耗 RF 应用的 SoC 解决方案 CC2430 的基础之上。CC2431/ZigBee 无线网络定位系统是基于 RSSI 值的,RSSI 值随着距离增大而减少,通过 RSSI 的定位引擎能根据接收信号强度与已知 CC2430 参考节点位置准确计算出有关节点位置,然后将位置信息发送给接收端,如电脑、PDA、手机等。相比于集中型的定位系统,RSSI 功能降低了网络流量与通信延迟,在典型应用中可实现 3 至 5 米的精度。定位节点必须由 CC2431 芯片实现。

上述两款器件将业界领先的 CC2420RF 收发器内核与增强型 8051 微控制器的出色性能完美结合,具有高达 128kB 的闪存、8kB 的 RAM 以及许多附加功能。

4 系统设计与实现

本方案设计一个 ZigBee 星型网络^[8,9],由一个网络协调器和网络终端节点按照某种拓扑结构构成。在协调者的无线覆盖范围之内,布置若干(小于 255)个网络终端节点,实现网络的管理和相互通信。网络协调者负责网络的管理工作,考虑到数据传输速度以及与计算机连接方便等因素,与计算机的连接采用串行接口。而终端节点包括参考节点和定位节点^[10],参考节点是一种已知静态节点,其坐标位置(X、Y 值)是固定的,并且不参与定位计算,一个定位区域通常由 8 个参考节点组成。定位节点是一类可移动的节点,可在参考节点包围的区域内任意移动,定位节点通过接收定位区域内所有参考节点的 RSSI 值后,经过定位算法来计算其坐标位置。

最基本的 CC2431/ZigBee 无线网络定位系统由 1 个定位节点、3 个参考节点构成。为了提高定位精度,

采用 6 个以上的参考节点组成定位网络。CC2431/ZigBee 无线网络定位系统的分辨率为 0.25 米,定位精度在 5 米以内。

4.1 硬件设计

4.1.1 网络协调器

网络协调器在整个系统中有着至关重要的作用,首先它要接收由监控软件提供的各参节点和移动节点(也称定位节点)的配置数据,并发送给相应的节点,其次,还要接收各节点反馈的有效数据并传送给监控软件。

网络协调器包含所有的网络消息,是各种设备类型中最复杂的一种,存储容量最大、计算能力最强。发送网络信标、建立一个网络、管理网络节点、存储网络节点信息、寻找一对节点间的路由消息、不断地接收信息。网络协调者的硬件结构框图如图 1 所示,主要由 CC2430 及支撑电路和外部模块组成。支撑电路包括电源电路、晶振电路和复位电路。串行通信接口主要用来进行通讯和配置数据的设置,而液晶模块则用来实时反映协调者当前的网络状态。射频通信模块则负责网络协调者与网络终端节点及其它网络协调者的无线通信。由于 CC2430 是一片上系统,因此外围电路的设计已极其简单。

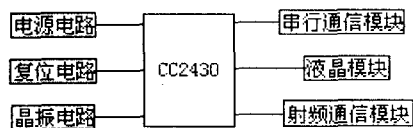


图 1 网络协调器硬件结构图

复位电路通过与芯片 RESE_N 引脚连接,32M 晶振电路分别与芯片的 32M_1 和 32M_2 引脚连接,32.768k 晶振电路分别连接到芯片的 P2.3/32K_1 和 P2.4/32K_2 引脚上,在此配置两种晶振电路是为了芯片内部电路的要求,内部通过电源模式控制器来选择不同的晶振电路,以达到选择不同的工作模式的目的。因为芯片内部已集成发射电路,外围仅仅配置一非平衡天线,连接到 RF_P、RF_N 和 TXRXW 引脚上,作为通信模块完成发射。电源电路、串行通信模块和液晶模块分别选择转换芯片 TPS79533、SP3223E 和 MC34063,通过控制板分别与 CC2430 的 P0 口和 P1 口进行通信,以达到接收和发送数据的要求。

4.1.2 终端节点

网络参考节点和定位节点硬件结构框图如图 2 所示,其中参考节点主要由下列部件组成:低功耗芯片 CC2430、射频通信模块、电源电路、复位电路、晶振电路及串行接口。终端节点利用仿真器通过串行接口与 PC 通讯,下载写入程序,配置数据等。网络定位节点

与参考节点电路类似,只是由带定位引擎的 CC2431 控制。定位节点必须选择为 CC2431 为控制器,因为 CC2430 不带有硬件定位功能。

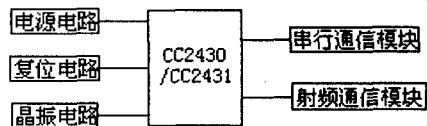


图 2 参考节点/定位节点硬件结构图

终端节点的外围电路的设计与网路协调器的外围电路的设计类似,在此就不再赘述。

在通常情况下,为了降低功耗,可以选择设置芯片的工作模式。在平时状态下,设置节点处于休眠模式下,当定时一段时间或满足软件设计的命令要求时,跳到活动模式,因为休眠模式下,芯片内只有低速晶振和复位电路处于活动状态,其他内部电路处于掉电状态,而活动模式下,电路内部电路都处于供电状态下,这样可以大大节省功耗。因此射频芯片的收发器在平常时都是处于关闭状态的,只有在发送和接收数据的时候才使能,这样既能大大降低射频芯片的功耗,同时在利用电池供电的情况下,又能延长节点的工作时间。

4.2 软件设计

软件设计包括主机监控软件及无线通信的软件设计。

监控软件主要为中央控制,负责监控整个网络,并能通过设置参考节点,根据监控图形,定位每个参考节点,并能实时监控移动节点,并在监控软件与实际对应的图形位置中显示移动节点,实现实时定位,达到监控的目的。

无线通信软件设计分为三层:系统平台层、协议层和应用层,为此定义了 3 个 API 接口:HW-API、SYS-API 和 PS-API。HW-API 定义了硬件的寄存器映射,这样就能通过直接访问硬件寄存器来控制硬件。系统平台层通过 SYS-API 接口来给协议层提供服务。应用层通过 PS-API 来调用协议层提供的服务。

系统平台层本身又分为二个模块:DBM 和 HWD。DBM 主要实现一个基于 FLASH 的小型数据库,用来存储 IEEE 802.15.4 的 PHY 层、MAC 层和 ZigBee 的 NWK 层的属性数据。HWD 模块提供硬件驱动程序,包括了 MCU 的寄存器访问接口、MCU 和 SPI 通信以及驱动,所有对硬件的控制都通过该模块提供的服务。

协议层则实现了基于 802.15.4 的物理层和链路层以及基于 ZigBee 的网络层协议。应用层通过 PS-API 来调用协议层提供的服务,实现网络的管理和数

据传输等任务。应用配置模块既会调用协议层提供的网络服务,也会直接对系统进行配置和查询,该模块会调用 PS-API 和 SYS-API 提供的服务。

5 结束语

通过测试分析,通过网络协调器在主机监控软件中显示了各个终端节点如图3所示(每个圆圈分别代表各个终端节点),由此可知设计的电路可以进行正常工作,无线通信的软件应用程序达到了网络系统的要求。技术成功的关键在于丰富而便捷的应用,而不是技术本身。

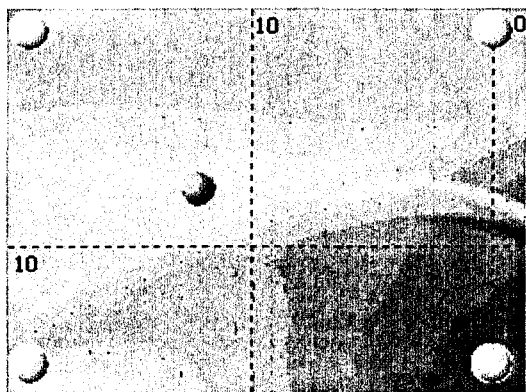


图3 监控显示界面

随着更多的注意力和研发力量转到应用的设计和实现、互联互通测试和市场推广等方面,有理由相信,在不远的将来,在智能家居、家庭护理、安全系统和工业监控等领域,将有越来越多的内置式功能的设备进

(上接第241页)

设计自动化、硬件自组织、自适应和自修复的新途径,为自然科学与工程技术的结合描绘了迷人的前景。利用 FPGA 动态可重构的特性,并结合 Handel-C 语言,针对四选一数据选择器进行基于 EHW 的数字芯片设计,采用了适合 FPGA 实现的遗传算法,并在 Xilinx Virtex-II XC2V1000 上实现了完全内部 EHW。该设计的实现对有效缩短 EHW 进化周期,提高进化电路的可靠性等有着非常重要的意义。

参考文献:

- [1] 方潜生,王煦法,何劲松.外部型 EHW 方法研究[J].系统仿真学报,2003,15(10):1405-1407.
- [2] Yao Xin, Higuchi T. Promises and Challenges of Evolvable Hardware[J]. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, 1999, 29(1): 87-97.
- [3] 方潜生,王煦法,何劲松. EHW 的递增式学习研究[J].系

入人们的生活,并将极大地改善人们的生活方式,促进社会的发展。

参考文献:

- [1] Pottie G J, Kaiser W J. Wireless integrated network sensors [J]. Communications of the ACM, 2000, 43(5): 51-58.
- [2] 任丰原,黄海宁,林 闯.无线传感器网络[J].软件学报,2003,14(7):1282-1291.
- [3] 于海斌,曾 鹏.智能无线传感器网络系统[M].北京:科学出版社,2006:1130-1133.
- [4] 孙利民.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [5] Enns R. NETCONF Configuration Protocol draft - ietf - net - conf - prot - 10[S]. [s.l.]: IETF, 2005.
- [6] 邓 成,白 麟,湛 伟. ZigBee 芯片的数字调制单元设计与仿真[J].现代电子技术,2006,29(21):352-354.
- [7] 马永强,李静强,冯立营.基于 Zigbee 技术的射频芯片 CC2430[J].单片机及嵌入式系统应用,2007,1(5):350-352.
- [8] Chen Shuai, Zhong Xianxin, Li Xiaoyi, et al. Pervasive reconfigurable sensor network instrument[C]//The Third International Symposium on Instrument Science and Technology. [s.l.]: [s.n.], 2004: 1248-1252.
- [9] Choi M J, Hong J W, Ju H T. XML - Based Network Management for IP Networks[J]. ETRI J, 2003, 25(6): 445-463.
- [10] 李 连,朱爱红.无线传感器网络中的定位技术研究[J].微计算机信息,2005,21:133-134.
- 统仿真学报,2004,16(10):2332-2334.
- [4] de Garis H. An Artificial Brain: ATR'S CAM - Brain Project Aims to Build/Evolve an Artificial Brain with a Million Neural Net Modules Inside a Trillion Cell Cellular Automata Machine [J]. New Generation Computing Journal, 1994, 12(2): 215-221.
- [5] Lambert C, Kalganova T, Stomeo E. FPGA - based Systems for Evolvable Hardware[J]. PWASET, 2006, 12: 123-129.
- [6] 丁国良,原 亮,褚 杰,等.内进化演化硬件平台的设计与实现[J].机械工程学院学报,2007,19(1):66-68.
- [7] Handel - C Language Reference Manual[S]. [s.l.]: Celoxica, 2003.
- [8] DK Design Suite User Manual[S]. [s.l.]: Celoxica, 2003.
- [9] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996.
- [10] 杨 益,方潜生.基于 Handel - C 的伪随机数发生器的设计与实现[J].计算机技术与发展,2006,16(12):124-126.