

基于 ZigBee 的无线温湿度传感器网络设计与实现

于 童,王文秀,徐小粘

(东北石油大学 电气信息工程学院,黑龙江 大庆 163318)

摘 要:在生产和科学研究过程中的很多场合对环境的温湿度有较高的要求。为了更方便快捷的监控环境温湿度,文中针对有线温湿度监测系统布线复杂、成本偏高以及后期维护不便的问题,结合无线传感器网络技术,设计和实现了一种基于 ZigBee 技术的温湿度监测系统。本方案采用星状网络结构,采用集成了 51 内核的无线射频芯片 CC2430 以及高集成度的数字温湿度传感器 SHT11 构建节点硬件,并实现了节点软件。测试结果表明,本系统具有低功耗、低成本、易于维护扩展等优点。

关键词:ZigBee;无线传感器网络;温度;湿度

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)07-0167-04

Design and Implementation of Wireless Temperature and Humidity Sensor Network Based on ZigBee Technology

YU Tong, WANG Wen-xiu, XU Xiao-zhan

(School of Electronic and Information Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: There are several requirements for the environmental temperature and humidity during production and scientific research processes. To conveniently and quickly monitor the environmental temperature and humidity and focus on the drawbacks of the wire temperature and humidity detection system, such as complicated layout, high cost and discommodious maintenance, it designed and realized a temperature and humidity joint testing system based on ZigBee and wireless sensor network technology. The asteroidal network topology is adopted, and the node hardware is built by using highly integrated SHT11 and the wireless RF chip CC2430 integrated with 51 MCU core. Also the node software is implemented. The experimental result implies that the system has some advantages as low energy consumption, low cost and convenient for maintenance and extension.

Key words: ZigBee; wireless sensor network; temperature; humidity

0 引 言

在很多的场合需要对室内工作环境进行温湿度的采集监测甚至控制。比如常见的各种科技实验室,一般要求在几百平方米内的室内空间建设多个独立封闭环境,这种环境对温湿度的范围有较高的要求,需要进行实时的监控。如果采用传统的监测点有线接入方法,会导致布线繁琐、建置成本偏高以及后期的维护不方便等缺点,系统的可扩展性和移动性差。因此,可以引入无线技术进行改进,这其中以集成了传感器技术、信息处理技术和数据传输技术的无线传感器网络技术最为适用。对于其使用的短距离无线传输技术而言,有多种方案可供选择,如红外、家庭无线射频技术(HomRF)、蓝牙(Bluetooth)、超带宽(UWB)、ZigBee、IEEE802.11X和无线射频识别技术等。但是综合考虑

能耗、传输速率、经济性以及对硬件要求等性能,ZigBee技术是最适合上述的工作环境的,它具有功耗低、传输速率适中、成本低、响应速度快、组网灵活方便等特性,使得其极其适用于无线传感器网络技术领域。ZigBee是一种新兴的短距离、低速率、低功耗的无线网络技术,主要用于近距离的无线通信。ZigBee的基础是IEEE802.15.4技术标准,通过这个标准协议,可以在数千个微小的传感器之间进行协调通信,同时这些传感器的功耗很低,以接力的方式将数据在各个传感器间进行传输。ZigBee技术的体系结构除了包括由IEEE802.15.4标准定义的ZigBee无线通信协议的底部两层:即物理层和媒体访问控制层之外,还包括ZigBee联盟定义的ZigBee协议的上层规范,ZigBee联盟所定义的标准包括网络层(NWK)、应用层(APL),而应用层又由应用支持层(APS)、ZigBee设备对象层(ZDO)、应用架构(Application Framework, AF)以及厂商自定义的应用对象等构成^[1]。网路层包含的机制有:加入与退出一个网络、将数据包做安全措

收稿日期:2011-12-12;修回日期:2012-03-17

基金项目:黑龙江省研究生创新基金资助项目(YJSC2011-116HLJ)

作者简介:于 童(1989-),男,研究方向为自动化技术及仪器。

施处理、发现和维护路由、将数据包发送到目标节点等。应用支持层负责维护绑定表(Binding Table),并在两个已经完成绑定的设备间传输数据。ZigBee 设备对象则是负责定义设备在网络中扮演的角色,初始化并针对绑定的需求做响应,在网络中的设备节点之间建立安全性关系,搜索网络中的其他设备节点以及确定它们提供何种服务。完整的 ZigBee 协议栈架构是由 IEEE802.15.4 负责制定物理层和媒体访问控制层,而 ZigBee 联盟负责制定网络层和应用支持层。

文中即针对小范围室内工作环境的温湿度实时监测需求,采用基于 ZigBee 协议的无线传感器网络技术和相应的数字式温湿度传感器构建了一个采集温湿度信息的设计平台,并据此设计实现了相应的拓扑结构和软件。

1 系统总体结构和硬件设计

1.1 系统总体结构设计

如图 1 所示,文中设计的系统采用星状网络结构以简化节点软件的开发。该无线传感器网络由多个子节点(或称终端节点)、一个主节点(或称协调器节点)和一台 PC 机构成。子节点定义为精简功能节点(RFD),完成采集和发送温湿度数据的功能;主节点定义为全功能节点(FFD),常作为网关(协调器)或路由器,完成网络建立和维护、子节点采集数据的收集和上传等功能。PC 用来查看网络状况、保存和管理主节点传送过来的温湿度数据。本系统采用 ZigBee 协议在主节点和子节点之间进行无线双向通讯,而主节点与 PC 上位机之间是通过串行接口进行通讯的。在实际的设计过程中,子节点和主节点的各自组成与通常的无线传感器网络节点的构成并无太大的差别,包括信息采集单元、信息处理单元、信息传输单元以及低功耗电源管理等几个部分。其中信息采集单元主要由特定的温湿度传感器组成,用于在前端采集温湿度数据;信息处理单元一般由低功耗嵌入式微处理器和相应的协议栈软件组成,这是节点的核心部分,主要负责对数据的预处理和实现管理的功能;信息传输单元则是由嵌入式微处理器控制无线收发器件完成数据的接收和发送。一般的主节点还有一个与 PC 上位机通讯的串行接口模块。电源管理主要是相应的供电电路。

1.2 硬件设计

ZigBee 技术的主节点主要完成数据的接收和发送等功能,因此主要由 MCU 模块、无线通信模块和串口通信模块组成;而子节点(终端节点)处完成数据的收发之外,还需要利用温湿度传感器进行数据的采集,因此子节点还需温湿度传感器模块。传感器模块选用温湿度传感器 SHT11,为简化设计提高可靠性,处理器模

块和通信模块采用 CC2430 芯片,能量供应采用电池供电。

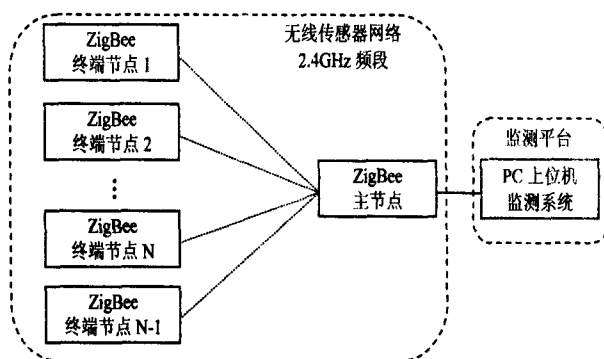


图 1 温湿度监测系统网络结构图

CC2430 是真正的片上系统(SoC)CMOS 解决方案。它可以提高性能并满足以 ZigBee 为基础的 2.4GHz ISM 波段应用对于低成本和低功耗的要求,其中结合了一个高性能的 2.4GHz DSSS(直接序列扩频)射频收发器核心和一个工业级的 8051 的 IP 核。CC2430 是符合 2.4GHz IEEE802.15.4 标准的射频收发器,片内集成了 ZigBee 射频前端、存储器和微控制器。包含一个 8 位的 8051 内核的 MCU、32KB(或 64KB 或 128KB)的 Flash 和 8KB 的 RAM、ADC、4 个定时器、AES128 安全协处理器、看门狗定时器、休眠模式定时器、上电复位和掉电检测电路、以及 21 个可编程的 I/O 引脚。CC2430 是在 TI 公司的 SmartRF 技术平台架构下,采用 0.18μm CMOS 制成。在接收和发射模式下,电流损耗分别低于 27mA 或 25mA,并且休眠模式到主动模式的超短转换时间,特别适于要求电池供电且长时间工作的应用^[2]。这项优点可以应用于所有 ZigBee 的无线网络节点上,包括协调器(Coordinators)、路由器(Routers)和终端设备(End Device)的设计上。

使用 CC2430 仅需要一些很简单的器件就可以构成一个 ZigBee 无线传感节点或者协调器,因此使用起来很方便。一般的设计方式如图 2 所示。设计的时候需要注意以下几点^[3,4]。

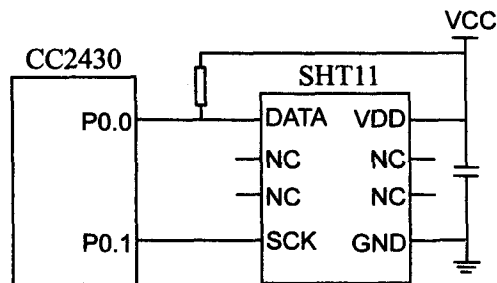


图 2 CC2430 与 SHT11 的接口电路图

1) 输入/输出匹配:RF 输入/输出是高阻抗与差动的。针对 RF 端口较好的差动负载是 $115+j180\Omega$ 。当使用单极天线之类的非平衡天线的时候,为了调整成最佳的效果,需使用不平衡转换器。

2) 石英振荡器:外部 32MHz 石英振荡器 XTAL1 具有两个负载电容, XTAL2 则是一个可选的 32.768KHz 石英振荡器,当选用网状结构网络的时候可以省略这个振荡器。

3) 电压调整器:内置的电压调整器提供所有 1.8V 电源的引脚,以及外部电源的供应电压的调整。为了提高其稳定性,需要连接 C4 和 C5 电容。

4) 电源的去耦与滤波:为使电路工作稳定,需采取合适的电源供应去耦合电路,其中,去耦合电容的摆放位置和取值,以及电源供应的滤波电路是相当重要的。对此,TI 公司的芯片数据手册中提供了一些参考设计方案。

SHT11 是一种集成化的新型温湿度传感器,将温湿度传感器、信号调理电路、AD 转换电路以及 I^2C 总线接口集成在一个芯片中,湿度值输出分辨率 14 位,温度值输出分辨率 12 位,并且可以编程设置为 12 位和 8 位。测量电流损耗 550 μA ,休眠时 3 μA ,平均 28 μA ,较为省电^[5,6]。

CC2430 和 SHT11 通过 I^2C 总线进行连接,如图 2 所示。由于 CC2430 没有集成 I^2C 总线接口,因此只能采用其通用 I/O 端口进行软件编程来模拟 I^2C 总线的时序。SHT11 用两条线与 CC2430 进行数据通信,时钟线 SCK 即 I^2C 总线标准中的 SCL 线负责 CC2430 与 SHT11 的时钟同步,数据线即 I^2C 总线标准中的 SDA 线负责 SHT11 与 CC2430 的双向数据传输。而 CC2430 的 P0.0 和 P0.1 端口与 DATA 和 SCK 直接相连,通过软件编程模拟 I^2C 总线的协议。

2 系统的软件设计

ZigBee 网络属于无线自组织网络。有两种设备类型:全功能节点(FFD)和精简功能节点(RFD)。FFD 一般可作为网关(协调器)或路由器,RFD 作为终端节点,采集数据并收发数据。软件设计由 RFD 程序和 FFD 程序组成,均包括初始化程序、数据发送程序和接收程序、协议栈配置、组网方式配置程序以及各处理层设置程序。初始化程序主要是对 CC2430、UART 串口、协议栈、LCD 等进行初始化,发送程序将所采集的数据通过 CC2430 调制并通过 DMA 直接送至射频输出,接收程序完成数据的接收、显示,并返回相关处理信息^[7,8]。

2.1 主节点的软件设计

主节点又称协调器节点,作为无线传感器网络的核心组成部分,主要负责实现整个网络的构建、协调管理以及数据信息的处理等功能。运行于其上的程序流程如图 3 所示。

如图 3,当主节点加电之后,首先初始化各个硬件

部分,使得协议栈模块和 RF 模块可以正常工作。之后开始对子节点和其他的主节点进行扫描确认,与此同时基于获得的信息组建整个网络。在扫描过程中,主节点利用第一个信道开始发送请求信标帧,若有另外一个主节点也使用这个信道,那么它会对此请求信标帧进行响应,主节点接收到此响应后会认为此信道已经占用,切换到下一个信道重复上述过程直到最后接收不到响应为止。至此整个网络就建立起来了^[9,10]。

在整个无线传感器网络建立起来之后,主节点也可以接收新的节点添加到网络中。当有新节点添加到网络时,新节点需要发送请求信标帧来检测主节点的存在,并且确定其有哪个信道可以占用。当它在某个信道接收到主节点的响应后,双发就开始关联过程,实现新节点的添加。主节点可以决定是否允许该新节点加入网络,若允许就为其分配一个网络地址,并将其添加到联系表中。除此之外,主节点也可以将某个节点删除,而在删除过程中,会将删除节点在联系表中的记录一并删除同时回收这个节点占据的网络地址。另外,主节点也可以执行 PC 上位机发来的操作命令。

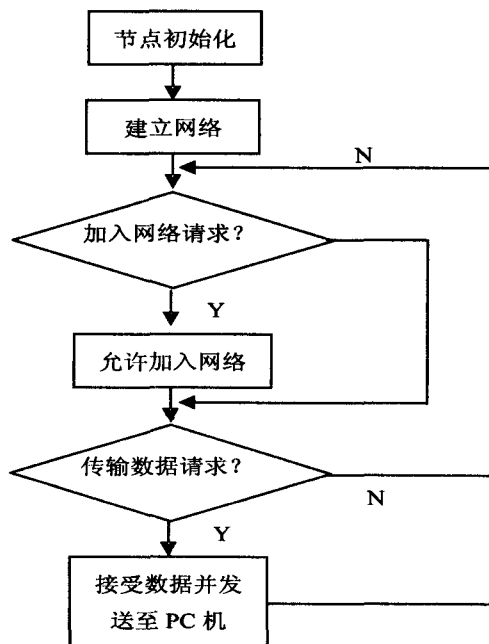


图3 主节点程序流程图

2.2 终端节点软件设计

终端节点又称子节点。在子节点对硬件初始化完成后,会发送请求信标帧申请加入网络。若主节点允许其加入,会发送响应信标帧。如果子节点接收响应信标帧超时,就会认为该信道中没有主节点,切换到下一个信道继续上述过程。如果接收到响应信标帧就会加入这个网络。就可以从主节点获得短 MAC 地址、ZigBee 地址和由主节点规定的网络拓扑参数信息。同样,如果一个子节点接收到要求其离开当前网络的命

令,只要向相应的主节点提出即可^[11,12],如图 4 所示。

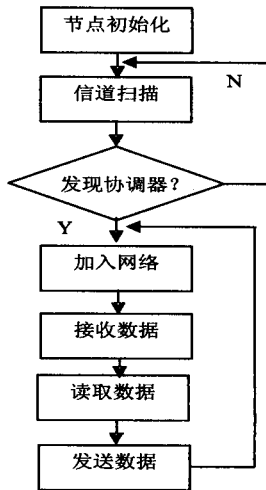


图 4 终端节点程序流程图

3 系统的测试结果

将上述系统配置好后,使用 CC2430 和 SHT11 构建的温湿度监测系统就可以正常运行了,将主节点连接到 PC 机的 RS232 串口,打开串口调试软件或者超级终端,就可以获得主节点汇聚的来自子节点的温湿度数据,同时还可以获得各个子节点的唯一 16 位短地址,用来区分各个子节点。在实验室内部署了 6 个 ZigBee 无线传感模块,包括 1 个主节点,5 个子节点。某一时刻获得的温湿度信息数据如表 1 所示:

表 1 实验室某时刻测得的温湿度信息

短地址	温度值	湿度值
0x1	18℃	48
0x2	21℃	46
0x3	18℃	46
0x4	18℃	48
0x5	18℃	47
0x6	19℃	46

4 结束语

在文中,设计和实现了基于 ZigBee 技术的无线温湿度传感器网络监测系统。采用星型网络结构,集成了 8051 内核的无线射频芯片 CC2430 以及高集成度的数字温湿度传感器 SHT11 构建硬件节点,设计并实现了节点软件。通过在实验室的实际测试,表明本系统具有低功耗、低成本、易于维护扩展等优点,具有很好的实用性。是现有有线温湿度监测系统的理想替代设计。

参考文献:

- [1] 王 殊,阎毓杰,胡富平,等. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:6-10.
- [2] CHIPCON. CC2430 PRELIMINARY data sheet (rev. 1.03) SWRS036A[M]. [s.l.]:CHIPCON,2005.
- [3] Mhatre V, Rosenberg C. Design Guidelines for Wireless Sensor Networks Communication, Clustering and Aggregation[J]. Ad Hoc Networks Journal,2004(2):45-63.
- [4] Hill J L. System Architecture for Wireless Sensor Networks [D]. Berkeley:UCA,2003.
- [5] 张艳丽,杨仁弟. 数字温湿度传感器 SHT11 及其应用[J]. 工矿自动化,2007(3):113-114.
- [6] 杜鹏雷,吴 晓,杨丽平,等. 面向精准农业的感知节点传感器驱动与控制[J]. 计算机技术与发展,2010,20(6):233-236.
- [7] 王 戈,张效义. 可用于环境监测的无线传感器网络节点的设计[J]. 传感器与微系统,2007,26(10):117-120.
- [8] 刘子京,裴文江. 基于 ZigBee 协议的无线传感器网络研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):192-194.
- [9] 敬海霞,胡向东. 无线传感器网络的路由协议研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(10):150-154.
- [10] 杨永雷,朱 军. 无线传感器网络中异步成簇算法的研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):145-151.
- [11] 饶云华,代 莉. 基于无线传感器网络的环境监测系统[J]. 武汉大学学报,2006,52(3):345-348.
- [12] 唐旋来,汪秉文,汤 强,等. 无线传感器网络在桥梁健康监测中的应用研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(1):121-125.

(上接第 150 页)

- 去重策略研究[J]. 现代图书情报技术,2008(3):45-50.
- [12] 吴 军. 布隆过滤器——一种新的海量信息的 hash 算法[R]. [s.l.]:google 研究院,2008.
- [13] Broder A, Mitzenmacher M. Network applications of bloom filters;a survey[J]. Internet Mathematics, 2005, 1(4):485-

509.

- [14] Mitzenmacher M. Compressed Bloom Filters[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking,2002,10(5):604-612.
- [15] Mitzenmacher M. A second look at bloom filters[J]. Communications of the ACM,1983,26(8):570-571.