

# 一种 WSN 网关节点的设计与实现

尤著宏<sup>1,2</sup>,孔令成<sup>1</sup>,李 帅<sup>1,2</sup>,陈万明<sup>1,2</sup>

(1.中科院合肥智能机械研究所,合肥 230031;2.中国科学技术大学 自动化系,合肥 230027)

**摘要:**无线传感器网络 WSN 是由分布在给定区域内大量无线传感器节点构成的一种新型信息获取系统,而无线传感器硬件节点的设计与实现是其应用的关键和基础工作。针对将无线传感器网络应用在青藏铁路沿线多年冻土区典型段进行地温、变形监测方面的特殊要求,设计了一种无线传感器网络系统,该网络由大量普通传感器节点、若干网关节点及一台计算机构成。无线传感器节点布撒在需要监测的区域内,将所探测到的有用信息通过初步的数据处理和信息融合之后,通过相邻节点接力的方式传送给网关节点。网关节点通过无线方式接收各传感器节点的数据并以有线的方式将数据传送给最终用户计算机。本文详细介绍了一种基于 CC2431 的网关节点以及基于 C8051F320 的 USB 接口的软硬件设计与实现。

**关键词:**信息获取;无线传感器网络;网关节点;CC2431;通用串行总线

**中图分类号:**TN915.05 **文献标志码:**B

## Design and Implementation of Sink Node for WSN

YOU Zhu-hong<sup>1,2</sup>,KONG Ling-cheng<sup>1</sup>,LI Shuai<sup>1,2</sup>,CHEN Wan-ming<sup>1,2</sup>

(1.Institute of Intelligent Machines,Chinese Academy of Sciences,Hefei 230031,China;2.Department of Automation, University of Science and Technology of China,Hefei 230027,China)

**Abstract:**WSN is one of novel information acquisition system,which consists a large number of distributed tiny sensor nodes. The design and realization of WSN node are the key and foundation work for its application. In view of the special request which WSN is applied in the safety supervision of Gulmud-Lasa line in Qinghai-Tibet railway, we have designed one wireless sensor network system,which consists of many ordinary sensor nodes and sink nodes and one computer. The WSN node is scattered in the region which needs to monitor. It will collect useful information and take data processing and fusion and then transmit to the sink node through the neighboring node. The sink node receives various data acquired by sensor nodes through the wireless communication and transmits the data to the end-user computer by the wired way. This article proposes the design of sink node in WSN based on cc2431 and the USB inter face based on C8051F320 in detail.

**Key words:**information acquisition;wireless sensor networks(WSN);sink node;CC2431;universal serial bus(USB)

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟,具有感知能力、计算能力和

通信能力的微型传感器节点开始在世界范围内出现,由这些微型传感器节点构成的无线传感器网络

收稿日期:2007-06-28;修订日期:2007-11-20

基金项目:安徽省自然科学基金项目(070412037);国家自然科学基金重点项目(60535010)

作者简介:尤著宏(1980-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统;孔令成(1965-),男,中科院合肥智能所副研究员,研究方向为智能传感技术应用、智能仪器仪表、计算机应用软件系统等;李帅(1983-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络。

引起了人们的极大关注。

无线传感器网络 WSN 是由大量体积小、成本低、具有无线通信、传感、数据处理能力的传感器节点组成的<sup>[1]</sup>。无线传感器节点分布于需要监测的区域内,执行数据采集、处理和无线通信等工作,网关节点接收各传感器节点的数据并以有线的方式将数据传送给计算机。无线传感器网络节点是一次性的,要求节点成本低廉和工作时间尽可能长。无线传感器网络中不应该存在专门的路由节点,每个节点既是终端节点,又是路由器节点。

传感器网络是当今前沿性的热点研究方向之一,有着巨大的科学意义和应用前景,被认为是对 21 世纪产生巨大影响力的高新技术之一。2003 年 2 月份的美国《技术评论》杂志评选出对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术,传感器网络即被列为第一。美国《商业周刊》在 2003 年 8 月的技术评论中,已经将传感器网络定位成 21 世纪高新技术领域的四大支柱型产业之一。

作为一种新型的信息获取系统,传感器网络具有极其广阔的应用前景。在民用领域,传感器网络可用于探测、安全、空中交通管制、道路交通监视、工业生产自动化、分布式机器人、生态环境监测、住宅安全监测等方面。在军事领域,传感器网络主要应用于国土安全、战场监视、战场侦察、目标定位、目标识别、目标跟踪等方面。

## 1 无线传感器网络网关节点的硬件设计

### 1.1 无线传感器网络的体系结构

WSN 的体系结构包括大量传感器节点、网关节点和终端用户等,如图 1 所示。

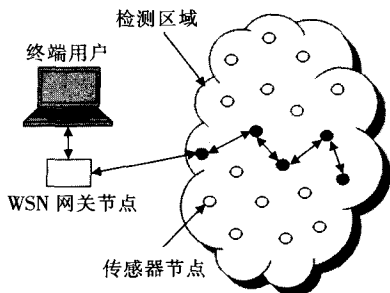


图 1 典型无线传感器网络体系结构

Fig.1 Architecture diagram of wireless sensor networks

大量传感器节点被布撒在某一指定的感知区域内,每个节点都可以收集数据,并通过多条路由方式

把数据传送到网关节点。网关节点负责发出控制命令和接收各个传感器节点发回的数据,并通过 USB 接口或者 RS232 接口把数据发送给终端用户 PC 机。PC 机对各个数据进行综合分析处理。

传感器节点主要由传感器模块、处理器模块、无线通信模块、存储器模块和电源模块等功能模块组成。网关节点除了具有一个普通传感器节点的功能之外,结构和功能也更为复杂。感知区域内传感器节点所采集的信息与外部网络或终端用户的连接需要通过网关节点来实现。网关节点是无线传感器网络与有线设备连接的中转站,负责发送上层命令(如查询、分配 ID 地址等),接收下层节点的请求和数据,具有数据融合、请求仲裁和路由选择等功能,是无线传感器网络中最重要的一部分。其结构框图如图 2 所示。

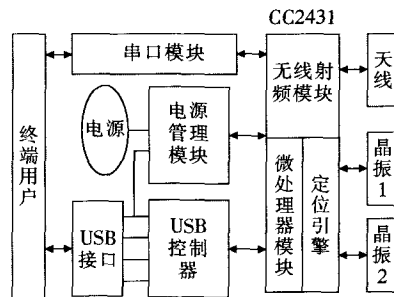


图 2 典型无线传感器网络网关节点结构

Fig.2 Typical structure diagram of sink node on WSN

无线传感器网络作为一种特殊的 A dHoc 网络,除了具有无线自组网的特性之外,还具有一些自身的特点,这些是在进行系统设计时必须考虑的<sup>[2]</sup>。

(1)由于 WSN 通常采用电池供电,能量十分有限,在进行网关和节点的设计时,各个模块都必须采用低功耗的器件。其软件设计也应当考虑到节能管理。

(2)由于 WSN 通常都工作在物理环境很差的场合,节点必须能够工作在恶劣的环境中,因此网关节点必须具有健壮性。

(3)WSN 中的网关节点或传感器节点很容易失效,电池用尽、节点损坏等都会造成失效,因此其价格不能太高。

(4)WSN 的网关节点还应当满足微型化和扩展性强的要求。

### 1.2 无线传感器网络网关硬件设计

图 2 所示为无线传感器网络网关节点的体系结

构。在网关设计中,无线射频模块、处理器模块和定位引擎是集成在一个芯片 CC2431 内,因而大大满足了设计时外形小、集成度高、功耗低、速度快、成本低的要求。

CC2431 是 TI 公司的最新产品之一,它是一个真正的基于无线传感网络 ZigBee/802.15.4 解决方案的片上系统。芯片上面集成了性能卓越的射频发射模块 CC2420 内核、符合工业标准的增强型 8051 微控制器内核及定位引擎,具有 128K 闪存、8K 的随机存储器、DMA 控制器、定时器、AES-128 协处理器、8-14 位的 ADC、串口、休眠模式下的定时器及 21 个可编程 I/O 口等丰富的外设。这种高集成度使其只需要天线、32MHz 晶振等非常少的外围电路就能在 2.4GHz 频段上工作。

CC2431 还非常适合于能耗极低的系统,它使用两个晶振,一个供节点处于正常工作状态时使用,一个供节点处于休眠状态时使用。CC2431 具有多种工作模式,在低功耗工作模式下的工作电流可以低至 0.6 $\mu$ A。并且各种模式间相互转换所需时间很短,更降低了能源的消耗。另外 CC2431 使用 CHIPCON 公司的 SmartRF03 技术,使用 0.18 $\mu$ m CMOS 工艺生产,大小仅有 7mm $\times$ 7mm。

无线射频模块是由 CC2431 内部集成的兼容 2.4GHz IEEE 802.15.4 的无线收发芯片 CC2420 实现的。CC2420 具有完全集成的压控振荡器,只需要天线、晶振等非常少的外围电路元件就能在 2.4GHz 频段上工作。CC2420 内部使用 1.8V 工作电压,因而功耗低,适合于电池供电的设备;片内集成的直流稳压器,能够把 3.3V 电压转化为 1.8V 电压。

网关节点具有将接收到的感知区域内传感器节点所采集的信息传递给外部网络或终端用户的功能。在本设计中,这一功能是通过 USB 接口和 UART 串行通讯接口来实现的。USB 是针对 PC 机外设的一种新型接口技术,具有快速、双向、即插即用且价格低廉的特点。目前已在 PC 机与

外设的连接以及基于 PC 机的各种仪器中获得了广泛的应用<sup>[3]</sup>。

设计中所使用的 USB 芯片是 C8051F320。C8051F320 是由美国 Cygnal 公司推出的 C8051F 系列单片机中的一款小型单片机<sup>[4]</sup>。C8051F320 是集成了 USB 控制器的片上系统,其内部集成的 USB 控制器满足 USB2.0 协议;可在全速(12Mb/s)或低速(1.5Mb/s)下运行;集成有一个时钟恢复源,对于全速或低速传输均可不用外部晶振;支持 8 个灵活通用的端点;内置一个 1K 的 USB 专用缓冲存储器;集成了一个 USB 收发器,不需要外部电阻。C8051F320 与市场上同类带 USB 接口的微处理器相比较,它内部强大的功能模块大大简化了 USB 技术的开发,还能很好地缩短开发周期,因此用 C8051F320 来进行 USB 技术开发既方便又快捷。图 3 给出将其应用到网关节点 USB 接口的硬件电路。

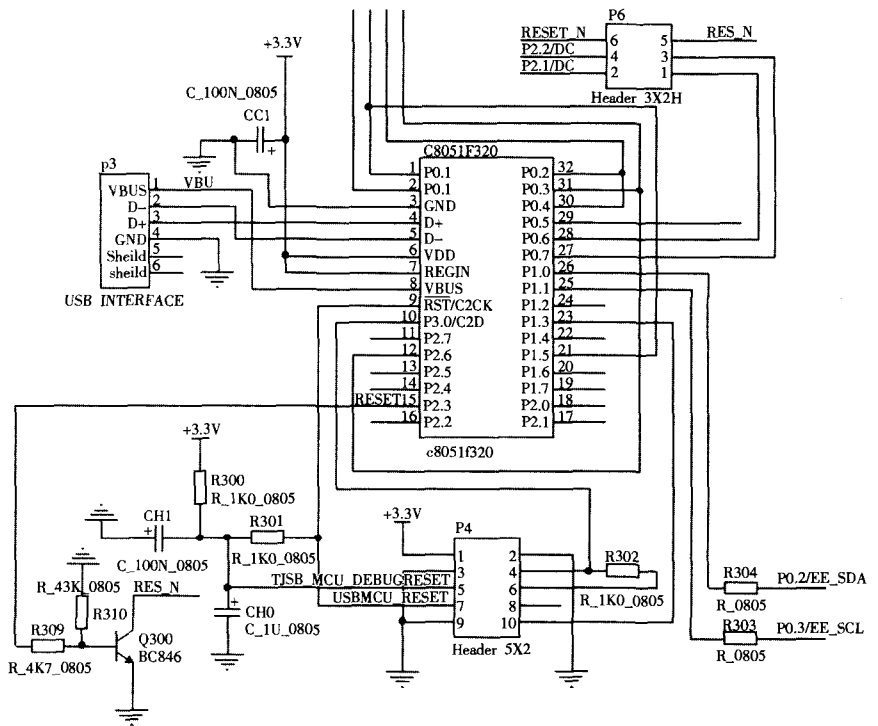


图 3 C8051F320 USB 接口局部电路原理图  
Fig.3 Circuit diagram of USB interface for C8051F320

UART 串行通讯接口,简称 RS232 接口,是采用串行通信协议的扩展接口,数据传输率是 115kb/s~230kb/s。它自 1969 年由美国电气工业协会推荐以来,由于接口和通信协议比较简单而在计算机串行通信领域得到了广泛地使用。许多长期从事 RS232

应用系统开发的专业人士或嵌入式应用人员并不像普通用户那样,他们希望能继续使用串口。

电源管理模块用来管理在不同情况下选择用电池或者 USB 线来对网关节点提供电源;网关节点还提供了丰富的用户接口,可以根据不同的应用需求,安装各种类型的传感器。另外 CC2431 还内嵌基于 Motorola 无线 RSSI 的定位引擎,其主要性能有:(1)在位置计算中可以用 3~8 个参考节点;(2)定位分辨率 0.5m;(3)计算节点位置的时间少于 40 $\mu$ s;(4)定位范围 64m $\times$ 64m;(5)定位误差可以控制在 3m 之内。图 4 为所设计的无线传感器网络网关节点。

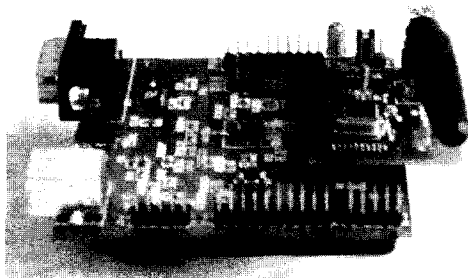


图 4 无线传感器网络网关节点实物图

Fig.4 Diagram of sink node for WSN

## 2 无线传感器网络网关节点 USB 接口的软件设计

无线传感器网络所采集到的感知区域的数据是通过网关节点传送到终端用户的上位机,其传送方式可以通过有线方式或通过 Internet。本文主要讨论通过有线方式将网关节点和上位机进行互联,从普及的范围来看,USB 接口必将逐渐替代串行口和并行口,成为个人电脑上的标准配置。因此,网关节点使用 USB 与上位机通讯。本文简要介绍网关节点上的基于 C8051F320 的 USB 固件、USB 驱动程序及上位机程序的开发。

网关节点 USB 接口的软件是基于 Silicon Lab 公司提供的 USBXpress 软件开发包开发设计。USBXpress 通过动态链接库和库函数提供应用程序接口。

通过调用 USBXpress 的库函数可以直接生产 USB 固件程序和上位机的驱动程序。USBXpress 通过一系列函数实现 C8051F320 端的应用程序接口(API)。这些函数封装了 USB 协议的细节,使得程序开发人员不需要了解 USB 的过多细节即可使用 USB 进行数据通信。

### 2.1 USB 固件程序

USB 固件程序的主要任务是初始化单片机和外设,发送 USB 请求,响应主机的标准设备请求,完成各种数据的交换工作和事件处理。

USB 接口芯片收到数据或发送出数据后都会产生中断,所以固件编程的核心就是编写中断服务程序。这项工作主要就是根据相关寄存器的标志来对各个端点缓冲区的数据进行处理。可以把中断服务程序分为一些功能模块(函数)来考虑:(1)端点 0 的响应,当设备插上 USB 接口后,主机会发出一系列的请求给设备的端点 0,设备的固件程序应该能在端点 0 对这些要求进行正确响应;(2)其他端点的数据通信过程,通过(1),主机就能知道设备端点的使用情况,以后就可以通过其他端点已设定的传输方式来交换数据;(3)实现设备类别遵循的协议规范。

USB 固件程序应当完成以下工作:(1)解码与处理控制请求;(2)为 IN 数据传输准备好数据;(3)处理 OUT 数据传输收到的数据;(4)管理 USB 设备的状态;(5)处理挂起、复位及继续等事件。

### 2.2 上位机驱动程序

上位机的驱动程序则让上位机可以识别 USB 设备,并通过应用程序存取 USB 设备,完成通信功能。

其工作过程可简述如下:当应用程序想对 USB 设备进行 I/O 操作,它需调用 Windows API 函数,I/O 管理器将此请求构造成一个合适的 I/O 请求包(IRP)并把它传递给 USB 驱动程序。USB 驱动程序接收到这个 IRP 后,根据 IRP 中包含的具体操作代码构造相应 USB 请求块(URB),并把此 URB 放到一个新的 IRP 中,然后把它传递给 USB 底层驱动程序。USB 底层驱动程序根据 IRP 中所含的 URB 执行相应的操作,并把操作的结果返回给 USB 功能驱动程序。USB 功能驱动程序接收到此返回的 IRP 后,将操作结果通过 IRP 返还给 I/O 管理器,最后 I/O 管理器将此 IRP 操作结果传回给应用程序,至此,应用程序对设备的一次 I/O 操作完成。

### 2.3 上位机驱动程序

在 WIN32 系统中,操作系统把每一个设备都抽象为文件,应用程序的设计只需要通过几条简单的文件操作函数就可以实现与设备驱动程序的通信。

(下转第 23 页)

## 5 仿真验证

实验中,选用 Altera 公司生产的 CYCLONE 系列产品中的 EP1C1Q240C8 芯片,根据编写的测试模块模拟 EEPROM 和测试信号用 Quartus5.1 进行逻辑综合并用 Modelsim6.0 对设计的 I<sup>2</sup>C 通信模块进行通信时序仿真,其仿真结果如图 5 所示。其仿真时序结果符合 I<sup>2</sup>C 通信标准。将程序下载到 FPGA 芯片中并运行,运行的通信数据正确、电路稳定、可靠。

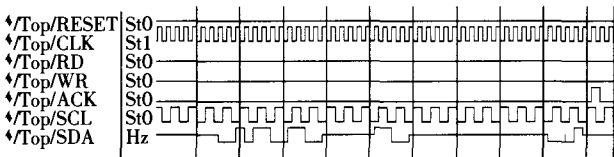


图 5 Modelsim6.0 仿真结果

Fig.5 Simulation result of Modelsim6.0

(上接第 19 页)

通过 API 函数 DeviceIoControl 可以实现对设备的访问。如获取信息、发送命令、交换数据等。利用该接口函数向指定的设备驱动发送正确的控制码及数据,然后分析它的响应,就可以达到目的<sup>[9]</sup>。DeviceIoControl 的函数原型为

```

BOOL DeviceIoControl
(
    HANDLE hDevice,           // 设备句柄
    DWORD dwIoControlCode,   // 控制码
    LPVOID lpInBuffer,       // 输入数据缓冲区指针
    DWORD nInBufferSize,    // 输入数据缓冲区长度
    LPVOID lpOutBuffer,      // 输出数据缓冲区指针
    DWORD nOutBufferSize,   // 输出数据缓冲区长度
    LPDWORD lpBytesReturned, // 输出数据实际长度
    LPOVERLAPPED lpOverlapped // 重叠操作结构指针
);

```

通过 API 函数 CreateFile 可获得设备句柄。CreateFile 这个函数用处很多,这里用它“打开”设备驱动程序,得到设备的句柄。操作完成后,可用 CloseHandle 关闭设备句柄。应用程序实现与 WDM 通信的过程是:应用程序先用 CreateFile 函数打开设备,然后用 DeviceIoControl 和 WDM 进行通信,包括从 WDM 读数据和写数据给 WDM 两种情况,也可用 ReadFile 从 WDM 中读数据或用 WriteFile 写数据给 WDM。当应用程序退出时,用 CloseHandle

## 6 结语

随着 FPGA/CPLD 的飞速发展,其在现代设计中的应用越来越广泛,地位也越来越重要。本文利用 FPGA 设计实现了 I<sup>2</sup>C 核心通信功能,通过仿真,所设计的 I<sup>2</sup>C 模块符合 I<sup>2</sup>C 通信标准,下载到 FPGA 中电路运行稳定。

### 参考文献:

- [1] 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 李洪伟,袁斯华. 基于 Quartus II FPGA/CPLD 设计[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [3] 广州周立功单片机发展有限公司. I<sup>2</sup>C 总线标准 (版本 1.0-1992)[Z].1992.

关闭设备。

## 3 结语

WSN 作为一种新型信息获取系统,已经成为一个研究热点,而无线传感器硬件节点的设计与实现是其应用的关键和基础工作。针对将无线传感器网络应用在青藏铁路沿线多年冻土区典型段进行地温、变形监测方面的特殊要求,设计了一种基于 CC2431 的网关节点以及基于 C8051F320 的 USB 接口的软硬件设计。所设计的无线传感器网关节点具有低功耗、体积小、工作可靠、易于扩展等优点,非常适合 WSN 所要求的工作在恶劣的工作环境等特点。目前已经成功地将其应用在所设计的系统中。

### 参考文献:

- [1] 李建中,李金宝,石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报,2003,14(10):1717-1727.
- [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] 肖璐雄,翁铁成,宋中庆. USB 技术及应用设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [4] Cygnal Integrated Products, Inc. C8051F320 data sheet[Z]. <http://www.silabs.com>.
- [5] 孙义,等,译. Windows WDM 设备驱动程序开发指南[M]. 北京:机械工业出版社,2001.