

基于 ZigBee 的室内气体污染监测系统设计

李晓卉, 方康玲, 张亮

(武汉科技大学 信息科学与工程学院, 湖北 武汉 430081)

摘要: 提出一种基于 ZigBee 的室内气体污染监测系统的设计方法。其系统的协调器节点、路由器节点和传感器节点采用树状拓扑布局, 节点硬件采用 SoC 系统设计方案, 节点间的网络连接采用的是基于 ZigBee 的无线传感器网络连接方案。在此基础上提出了室内污染气体监测系统的应用软件设计方案。本系统具有硬件复杂度低、体积小、能耗低、操作简单、人体危害小等特点。

关键词: 无线传感器网络; ZigBee; 监测系统

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0105-04

Design of Monitoring System for Gaseous Contamination Indoors Based on ZigBee

Li Xiaohui, Fang Kangling, Zhang liang

(School of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan hubei 430081, China)

Abstract : A design of monitoring system for gaseous contamination indoors which used the technology of wireless sensor network based on ZigBee is put forward. The tree topology is used in the connection among the coordinators, the routers and the sensors. The SoC technology is also applied to the design of hardware about the nodes. The design of software application is presented on the above technologies. This system has many characteristics such as low complexity, small cubage, low energy consumption, simple operation, little harm to the mankind and so on.

Key words : wireless sensor network; ZigBee; monitoring system

0 引言

随着人们对室内空气质量关注度的提高, 在进行室内空气质量监测时, 经常会对室内主要的空气污染气体浓度进行检测。这些污染气体大多是建筑材料和家用品中广泛使用的化学物质, 主要来源于建筑材料、烟雾、家用品及煤气炉燃烧, 胶水或油漆等。当室内污染气体浓度很高时会触发哮喘等疾病, 严重的还会使人体致癌。

目前进行室内污染气体浓度测量主要是运用相应气体的检测设备或试剂, 这些设备或试剂虽都能在现场快速检测出污染气体浓度, 精度较高, 有些检测设备还可以设定检测时间, 但其设备一般为手持便携式

设备, 需要人员进入监测室内进行测试, 测试方法为单点测量, 如果要长时间进行监测工作, 设备需要外接电源, 使用不方便, 对人体有危害。并且单次单点测量得到的数据不一定能代表室内空气中长期存在的污染气体浓度水平, 影响监测数据的精确度。

目前, 无线传感器网络已广泛应用于数据传输量小, 传输延时和功耗低的实时监测、感知和采集各种环境或监测对象信息中^[1], 采用无线传感器网络技术进行环境监测的方法受到关注。无线传感器网络中的传感器节点可以随机分布于被监测区域, 以自组织方式构成无线网络系统, 不会出现传统方法中布线带来的不便, 并可实现对监测区域的多点连续测量, 数据的可靠性高。考虑到监测过程需要较长的电池寿命和

收稿日期: 2008-07-18

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究项目资助 (B20071106)

作者简介: 李晓卉(1978-), 女, 湖北武汉人, 武汉科技大学讲师, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络。

低数据率的联网功能，可使用基于 ZigBee 技术的无线连接方案解决以上不足。

本文将 ZigBee 无线传感器网络技术应用于室内污染气体监测系统中，提供了一种硬件复杂度低、体积小、能耗低、可长时间工作、能灵活放置传感器节点的室内污染气体监测系统的设计方法。该网络系统具有自组织自适应的特点，当节点位置变化后，网络依然能够保持良好的连通性，监测方法操作简单，对人体危害小，测量精确度高。

1 ZigBee 无线传感器网络

ZigBee 是一种短距离、低成本、低功耗、双向的无线通信技术^[2]。它依据 IEEE 802.15.4 的物理层和数据链路层的标准，制定了符合无线传感器网络应用的网络层和应用层标准。目前 ZigBee 已成为无线传感器网络事实上的协议标准。

基于 ZigBee 的无线传感器网络通常由 3 种节点设备组成^[2]：协调器、路由器和终端设备。网络中只有一个节点作为协调器，负责网络的组织和维护，其它节点可作为路由器和终端设备。路由器负责网内信息的路由，终端设备是实现传感功能的节点，其中协调器和路由器还具有允许设备加入或离开网络的功能。通常路由器和终端设备都是协调器的后裔，终端设备没有后裔。ZigBee 网络支持 3 种拓扑结构：星型网 (star)、树型网 (tree) 和网状网 (mesh)，可根据实际应用选择不同的网络拓扑结构^[3,4]。

ZigBee 技术与 Blue Tooth 技术、IrDA 技术和 Wi-Fi 技术相比，具有低功耗、低速率、短延时、大容量、高可靠性、低成本等特点。支持 ZigBee 标准的节点可工作在 20~250 kbps 较低速率，传输范围一般介于 10~100 m 之间，通过路由节点的中继，可实现更远距离的无线传输，利于进行特定环境下的实时监测和采集数据。

2 设计方案

2.1 系统设计

基于 ZigBee 的室内气体污染监测系统如图 1 所示。

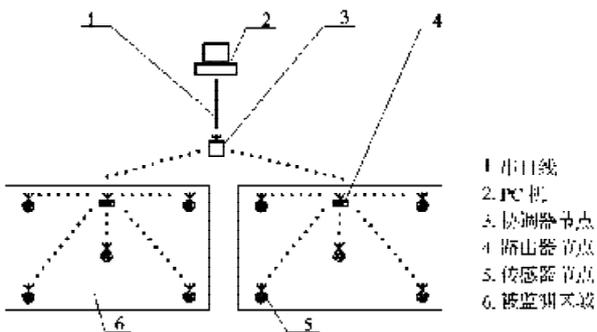


图 1 系统示意图

Fig. 1 The system diagram

该系统的协调器节点、路由器节点、传感器节点按树状拓扑形成网络结构。其中协调器节点是网络中的根节点，路由器节点为根节点或上一级路由器节点的子节点，传感器节点为该树型结构的叶子节点。

多个传感器节点置于被监测区域，通过传感器采集污染气体浓度水平，将浓度值通过无线通信的方式发送到路由器节点，然后路由器节点再将数据以无线通信的方式发送到协调器节点。协调器节点将收集的多个数据进行分析处理后，显示给用户或者通过串口按照 RS-232 通信方式将数据发送到 PC 机进行处理。

协调器节点可以与多个路由器节点通信，这样本系统可同时监测多个区域，何时检测哪个区域由用户通过协调器节点来控制。当被检测区域的障碍物较多或者协调器节点距离传感器节点较远时，可以通过增加路由器节点来增强网络的稳定性。

2.2 节点硬件设计

图 1 中的协调器节点、路由器节点和传感器节点的硬件结构图分别如图 2、3 和 4 所示。

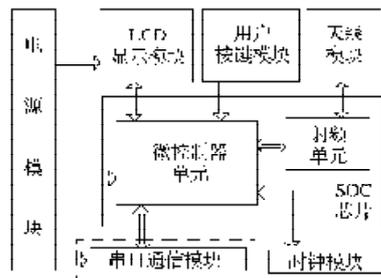


图 2 协调器节点硬件结构

Fig. 2 Hardware structure of coordinator node

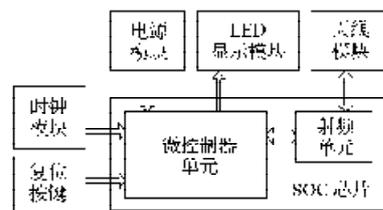


图 3 路由器节点硬件结构

Fig. 3 Hardware structure of router node

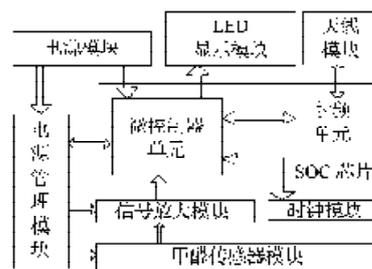


图 4 传感器节点硬件结构

Fig. 4 Hardware structure of sensor node

协调器节点由电源模块、时钟模块、微控制器单元、射频单元、天线模块、用户按键模块、LCD 显示模块、串口通信模块组成。LCD 模块显示检测数据, 并配合用户按键模块显示控制命令; 串口通信模块为 PC 机提供通信接口, 可将监测数据通过其串口通信模块送入 PC 机作进一步处理。

路由器节点由电源模块、时钟模块、微控制器单元、射频单元、LED 显示模块、天线模块、复位按钮组成。LED 模块用来显示路由器节点的工作状态。

传感器节点由电源模块、电源管理模块、时钟模块、微控制器单元、射频单元、信号放大模块、传感器模块、LED 显示模块、天线模块组成。LED 显示模块显示该传感器节点的网络状态, 传感器模块可根据待检污染气体及其使用条件选用相应的传感器。

系统中的协调器节点、路由器节点, 传感器节点中的微控制器单元与射频单元的芯片选择是硬件设计的关键。ZigBee 主要的芯片提供商有: TI/Chipcon、Ember(ST)、Jennic、Freescale 及 Microchip 等。这几家公司的 ZigBee 技术解决方案主要有 3 种:

1) ZigBee RF+MCU。例如: TI 的 CC2420+MSP430、Freescale 的 MC13XX+GT60、Microchip 的 MJ2440+PIC MCU。

2) 单芯片集成 SoC。例如: TI 的 CC2430/CC2431(8051 内核)、Freescale 的 MC1321X 及 EM250。

3) 单芯片内置 ZigBee 协议栈 + 外挂芯片。例如 Jennic 的 SoC+EEPROM、Ember 的 260+MCU。

上述解决方案中除 CC2430 与 CC2431 外, 其他 4 家公司都是采用自己的微处理器。只有 CC2430 与 CC2431 采用标准的 8051 处理器^[5]。从使用的角度看, 8051 微处理器有 30 多年的历史, 开发软件 KEIL、IAR 已为大

家所熟悉, 随着芯片技术的发展, 8051 只是片上系统 (SoC) 的一小部分, 其在低功耗、高速度、低噪声等方面有了较大改进。使用该处理器既不需要重新学习微处理器结构原理, 也不需要重新熟悉编译/调试工具; 对片上系统的 I/O、定时器、A/D、PWM、看门狗等也无需重新学习。从技术的角度看, ZigBee 技术的核心是软件。如果微处理是 8051, 则 ZigBee 协议就是由 C51 代码编写的软件, 因此可较快熟悉 ZigBee 代码, 也容易将应用代码和 ZigBee 代码结合在一起。基于以上考虑, 节点硬件解决方案选择单芯片集成 SoC。

在该设计方案中协调器节点、路由器节点, 传感器节点中的微控制器单元与射频单元是选用 Ti 公司制造的 CC2430 芯片。因为在上述 3 种解决方案中该芯片是唯一包括 Flash 存储器+MCU+ZigBee RF 全集成的产品。Jennic 的“单片机”只有只读存储器, 芯片内部没有可以存放用户程序的地方, 系统必须要外加一个 EEPROM。用户的全部程序必须存储在外部 EEPROM 中, 因为代码的安全性还存在问题。

2.3 应用软件设计

该系统使用的协议栈是 TI 提供 CC2430/CC2431 ZIGBEE2006 协议栈 Z-Stack, 目前已经开放免费下载。该协议栈达到 ZigBee 联盟参考平台水平, 目前已为全球众多 ZigBee 开发商所广泛采用。该协议栈实现了 IEEE 802.15.4 的物理层和数据链路层的标准和 ZigBee 的网络层和应用层标准, 较好地解决了无线传感器网络连接方案。在此之上需要构建室内气体污染监测系统的应用方案。

在该监测系统中, PC 机、协调器节点、路由器节点和传感器节点的应用软件设计是关键。其应用程序流程图如图 5 所示。

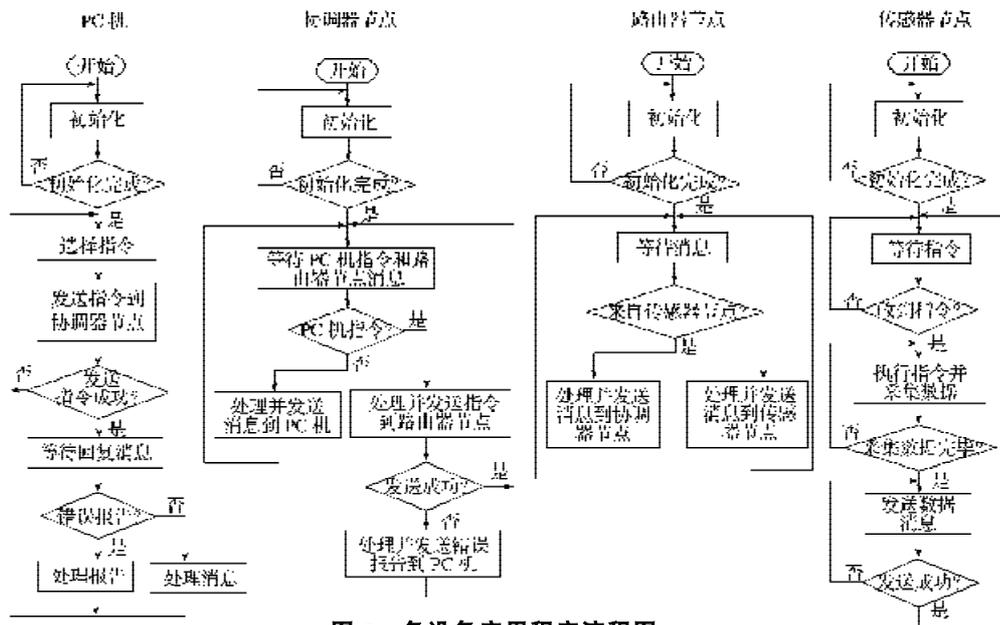


图 5 各设备应用程序流程图
Fig. 5 Flow chart of applied equipment

其中PC机启动应用程序,通过串口完成与协调器节点的连接。用户通过PC机上的应用程序选择操作指令,然后通过串口将用户选择的操作指令发送到协调器节点。指令成功发送到协调器节点之后,PC机等待回复信息,当接收到的回复信息为错误报告时,PC机处理该错误报告;当接收到的回复信息为采集的浓度数据时,PC机处理该信息中的数据。

协调器节点启动后,进行硬件的初始化和网络的初始化,建立起一个ZigBee的无线传感器网络。随后协调器节点进入等待状态,等待PC机发送的指令和路由器节点发送到协调器节点的信息。当协调器节点接收到的信息为PC机的控制指令时,协调器节点解析该指令,并发送相应指令到路由器节点;协调器节点接收到的信息为路由器节点发送的信息时,说明该信息为采集的浓度数据,协调器节点处理该数据,并通过串口发送到PC机,如果发送有错,则发送错误报告信息到PC机。

路由器节点启动后,进行硬件的初始化和网络的初始化,加入网络。随后进入等待接收的状态;当接收的信息来自传感器节点时,说明该信息为采集到的浓度数据,将信息转发到协调器节点;当接收的信息来自协调器节点时,说明该信息为协调器节点的控制命令,将该命令转发到传感器节点。

传感器节点启动后,进行硬件和网络的初始化,加入网络。完成初始化工作之后,节点进入等待指令状态。当接收到指令时,对其进行解析并执行,开启电源管理模块,传感器节点开始通过传感器模块采集数据。数据采集完毕后,传感器节点发送数据到协调器节点,发送成功后,节点又进入等待指令状态。

2.4 数据处理

传统的污染气体浓度测量一般为单次单点测量,不能对某个区域的平均浓度进行估测。由于系统铺设的ZigBee网络中的传感器节点可以根据需要覆盖整个被监测区域,所以可同时对多点进行多次测量。本系统中用户主要关心被监测区域的浓度最高值和浓度平均值,采用的方法是被监测区域的所有传感器节点在一个采样周期中将采集到的数据发往协调器节点。假

设被监测区域有 N 个传感器节点, x_i 代表第 i 个传感器节点采样值,协调器节点可按公式(1)计算被监测区域的平均浓度 y ,按公式(2)计算最大浓度值 M 。

$$y = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}, \quad (1)$$

$$M = \text{Max}[x_1, x_2, \dots, x_N]。 \quad (2)$$

3 结语

采用上述技术方案,本系统节点的硬件装置使用片上系统SoC的实现方式,节点的硬件复杂度低、体积小、能耗低。另外,由于节点可以灵活放置于被监测室内,所组成的无线传感器网络系统具有自组织、自适应的特点,当网络中的节点位置变化后,网络依然能够保持良好的连通性。

本文将ZigBee无线传感器网络技术运用于室内污染气体监测,使网络系统中的节点布局符合中华人民共和国室内空气质量标准(GB/T 18883-2002)中的选点要求,对监测室内的多点连续测量,不会出现传统方法中布线带来的不便,有效地避免了工作人员长期滞留被监测室内的情况,能使网络节点长时间工作于被监测室内,测量精确,数据可靠性高且对人体危害小。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2001, 38: 393-422.
- [2] The ZigBee Alliance. ZigBee overview[EB/OL]. [2006-11-12]. <http://www.zigbee.org>.
- [3] 夏益民,梅顺良,江亿.基于ZigBee的无线传感器网络[J].微计算机信息,2007,23(2-1):129-130.
- [4] 朱向庆,王建明.ZigBee协议网络层的研究与实现[J].电子技术应用,2006,32(1):129-132.
- [5] 董海涛,屈玉贵,赵保华.Zigbee无线传感器网络平台的设计与实现[J].电子技术应用,2007,(12):124-126.

(责任编辑:罗立宇)