

文章编号: 1005-8451 (2011) 03-0009-04

基于 ZigBee 的旅客列车车内环境监测系统设计

常霞, 王雪梅, 倪文波

(西南交通大学 机械学院, 成都 610031)

摘要: 针对有线列车通信网络的灵活性差、扩展范围窄、布线繁多等问题, 提出应用 ZigBee 短距离无线通信技术, 建立无线自组织树状拓扑网络, 应用 AODV 路由协议算法, 通过多级中继方式实现铁道客车车内环境监测和数据传输的解决方案。整个监测系统由协调节点、路由节点和终端传感器节点组成。详细介绍 3 种类型节点的硬件组成与自组织建网过程, 采用 Delphi 编写上位机监控软件, 并对系统进行实际测试。试验表明, 监测系统在 30 m 通信范围内数据传输稳定可靠, 维护方便, 完全满足车内环境监测的应用需要。

关键词: 车内环境监测; 无线自组织网络; ZigBee

中图分类号: U284.7

文献标识码: A

Design of Interior Environment Monitoring System to passenger train based on ZigBee

CHANG Xia, WANG Xue-mei, NI Wen-bo

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In view of the disadvantages of poor-flexibility, narrow-area expandability and numerous of installing cables for the wired train communication network, a solution based on short area radio communications technology ZigBee was proposed. A wireless Ad Hoc Tree Topological Network was set up and AODV routing protocol algorithm was adopted. By the way of multi-level relay, the interior environment-monitoring and data-transmission of the passenger train were finally implemented. The Monitoring System was composed of coordination nodes, routing nodes and end sensor nodes. The hardware for three kinds of nodes and the process of setting up Ad Hoc Network were introduced in detail. Monitoring software was programmed by Delphi, then the System was tested. Practical testing showed that the Monitoring System was reliable to transfer data in communication range of 30 meters, and easy to maintain, fully met the needs of train environment-monitoring application.

Key words: interior environment monitoring of passenger train; Wireless Ad Hoc Network; ZigBee

随着列车向高速化、自动化和舒适化方向发展, 旅客列车车厢内部环境的舒适性日益受到人们的关注。列车在运行过程中, 其车厢几乎是密闭的空间, 保证良好的车内环境是提高乘坐舒适性的关键措施。因此, 列车都装备有空调等环境控制装置来保证舒适性, 同时在车内安装了相应的传感器。由于现有技术都是采用有线的方式将传感器连接到控制器上, 这样的方式导致布线比较麻烦, 同时考虑布线的限制, 有时传感器的安装也难达到最佳位置。ZigBee 技术作为一种近距离、低功耗、低数据速率、双向传输无线通信技术, 其技术特性决定它将是短距离无线传感器网络的最好选择。因此, 系统提出了应用 ZigBee 短距离无线

通信技术, 建立自组织通信网络, 进行列车车内环境监测的解决方案。

1 系统总体方案设计

根据国际铁路联合会 UIC553 标准关于空调列车舒适性的要求, 监测系统从温度、湿度、气压、CO 含量 4 个方面对车内环境舒适性进行综合监测。现场运行情况要求无线传输的距离大于 25 m, 系统采用了短距离传输有效覆盖范围 10 m~75 m 的 ZigBee 技术, 中继路由协议 AODV 算法, 确保传输性能稳定、可靠。

由于旅客列车车内比较拥挤, 空间不够开阔, 行人走动是系统最大通信障碍, 为确保监测系统数据有效传输, 系统进行了合理的工作节点布点设计。系统 7 个工作节点均匀分布在车厢空调系统

收稿日期: 2010-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50905148)。

作者简介: 常霞, 在读硕士研究生; 王雪梅, 副教授。

的上出风口和下出风口,其中7为协调节点,1、2、5、6为终端传感器节点,3、4为路由节点,如图1。

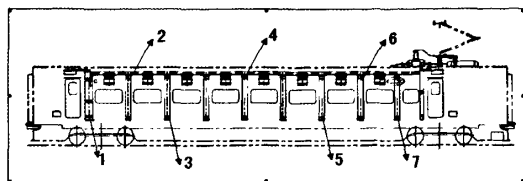


图1 车厢内无线通信节点布局图

整个系统以协调节点为中心,协调节点对无线传感网络进行配置和管理,发布监测命令,收集监测数据。终端传感器节点加入网络成功后,将其采集到的车内环境数据发送到路由节点,路由节点通过查找路由表与邻居匹配目的地址的方法,将数据通过多跳方式转发至协调节点,协调节点将数据再传到上位机进行集中处理和显示。

2 硬件电路设计

无线通信节点设计采用了射频收发芯片CC2430。该芯片整合了ZigBee射频(RF)前端和8051微控制器,满足2.4 GHz工业频段的应用。其内部集成了14位模数转换器ADC和安全协议处理器AES,带有2个强大的支持几种协议的USART(通用异步同步收发器),以及1个符合IEEE 802.15.4规范的MAC(媒体访问控制层),硬件支持CSMA/CA功能,具有优良的无线接收灵敏度和强大的抗干扰能力。此外,该芯片在休眠模式下仅有0.9 μA 的电流损耗,在待机模式下电流损耗少于0.6 μA ,在接收和发射模式下,电流损耗分别低于27 mA和25 mA,因此特别适合于那些要求电池寿命非常长的应用。

温度传感器选用数字温度传感器芯片DS18B20,该芯片可通过简单的编程实现9 bit~12 bit精度数值的转换,在93.75 ms~750 ms内将温度值转化为数字量,精度可达 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,温度数字信号可直接传给8051微控制器的IO端口。湿度传感器选用数字传感器芯片DHT21,该芯片是一款含有已校准数字信号输出的传感器,具有超小的体积、极低的功耗。气压传感器选用芯片MPXA6115,该芯片模拟气压传感器能够提供温度补偿,并具有极高的灵敏度和抗干扰性。CO气

敏传感器选用ME2CO,该芯片灵敏度高达0.015 $\mu\text{A/ppm}$,具有良好的重复性与稳定性。同时,系统采用2.4 GHz RF前端芯片CC2591,其内部集成了功率放大器、低噪声放大器、平衡转换器、交换机、电感器和RF匹配网络等,输出功率高达22 dBm。系统采用5 V电池供电,通过电压转换芯片TPS79533转换获取3.3 V电压供给主芯片和其它有源器件。

系统3类工作节点的硬件结构如图2。

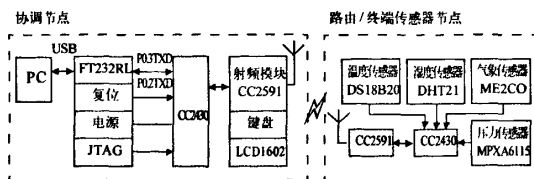


图2 工作节点硬件结构图

3 通信与组网

车内环境监测网络系统在网络发生动态变化或某些节点严重受损时,可迅速调整其拓扑结构以保持必要的通信能力,在任何时刻与地方快速展开并自动组织网络。一般节点上电后首先建立通信网络路径,建网成功后才开始数据采集与数据传输。系统网络的地址分配算法是基于分布式分配机制Cskip的树形分配地址算法。路由协议采用基于距离矢量算法的AODV(Ad hoc On Demand Distance Vector Routing)路由协议。

3.1 网络拓扑及节点地址分配

ZigBee技术可采用的拓扑模型有星形网络结构、网状网络结构和簇状树形结构。本系统采用树形拓扑结构。树形拓扑包括一个协调节点以及一系列的路由节点和终端节点。协调节点可连接一系列的路由节点和终端节点,其拓扑结构如图3。

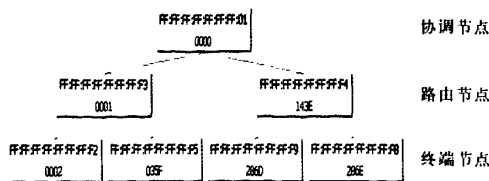


图3 车厢环境监测网络拓扑结构

为了实现通信,网络中每个节点都有一个唯一的64位物理地址和一个16位的网络地址。物理

地址是标识每个节点的实际地址或绝对地址,具有唯一性,工作于物理层。7号协调节点对应的物理地址为FFFF FFFF FFFF FF01,3、4号路由节点对应的物理地址分别为FFFF FFFF FFFF FFF3和FFFF FFFF FFFF FFF4,1、2、5、6号终端传感器节点的物理地址分别为FFFF FFFF FFFF FFF8、FFFF FFFF FFFF FFF2、FFFF FFFF FFFF FFF5和FFFF FFFF FFFF FFF9。

监测系统网络的底层地址分配算法是基于Cskip树形拓扑。当一个节点设备加入到网络时,就会分配一个16 bit的网络地址。Cskip是计算网络任一支下所有节点总数的方法。它有4个参数:C_m-任一父节点拥有的子节点总数;R_m-任一父亲节点拥有的路由于节点总数;L_m-网络的最大深度;d-设备实际深度。

父设备所能分配子区段地址数为:

当R_m为1时,

$$Cskip(d)=1+C_m \cdot (L_m - d - 1) \quad (1)$$

当R_m不为1时,

$$Cskip(d)=\frac{1+C_m - R_m - C_m \cdot R_m^{L_m-d-1}}{1-R_m} \quad (2)$$

当Cskip(d)=0时,别的节点不能通过它加入网络,因为它不具备为子节点分配地址的能力;当Cskip(d)>0时,此路由节点可以接收其它节点作为它的子节点,并且为其分配网络地址,每个父节点最多可以分配R_m个地址。

路由地址网络地址分配公式:

$$A_{rou}=A_{parent}+Cskip(d) \cdot n+1 \quad (3)$$

终端设备的网络地址分配公式:

$$A_{end}=A_{parent}+Cskip(d) \cdot R_m+n \quad (4)$$

其中 $1 \leq n \leq C_m - R_m$, A_{parent}为父设备地址。图3中7号协调节点分配网络地址为0000,其余1~6号节点的网络地址分别为:286E, 0002, 0001, 143E, 035F, 286D。

系统组网的过程遵循距离最近原则,终端节点加入到路由节点后,建立终端节点的路由表,其它节点与此终端节点的通信通过查找路由表实现通信,路由节点是终端节点和协调节点之间通信的路径。

3.2 建网软件设计

建网通信路由协议采用AODV算法。AODV中的一个重要协议规程是路由发现。路由发现规

程开始时,请求路由发现节点将广播一个路由请求给它所有的邻近节点,并等待路由应答。如接收到的节点不是目的节点,则继续进行广播,同时建立临时路由表项。若路由请求消息到达目的节点,该节点产生一个路由应答消息发送回请求路由消息的源节点,路由应答消息到达源节点后就建立了新路由。当源节点在传输过程中移动了,它就会重新发起一次路由发现过程,从而建立节点之间的通信路径。

终端传感器节点上电后,ZigBee终端传感器节点会搜索所有在其允许通道上运行的ZigBee协调器节点。根据每个允许的信道中的通道能量和网络数,选择接入其中一个协调器网络。路由节点通过AODV协议建立路由路径,使得终端节点与协调器节点建网成功后,节点之间便可进行数据传输。

ZigBee协议栈在协调节点收到终端传感器节点的网络请求后与终端传感器节点建立网络。协调节点软件流程如图4。

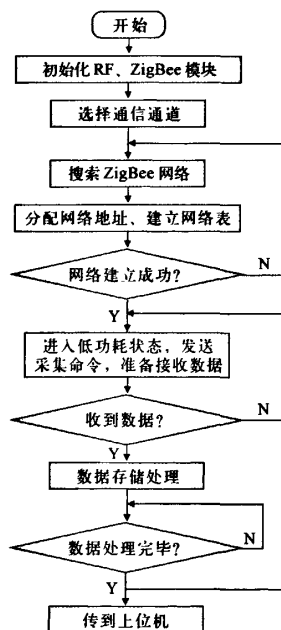


图4 协调节点软件流程

终端传感器节点软件流程如图5。

考虑车厢内部环境参数变化比较缓慢,终端传感器节点数据采样频率设为1 Hz,传感器节点主程序循环检测4种传感器的输入数据,检测数据

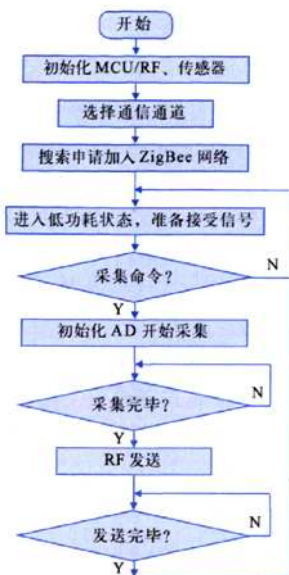


图5 终端节点软件流程

经打包后调用AF_DataRequest函数发送出去。建网步骤如下: (1) 主控节点发送信标帧(用于同步); (2) 主控节点发送一个广播帧; (3) 子节点发送申请加入网络命令帧; (4) 主节点发送应答帧; (5) 主节点分配网络地址分配成功命令帧; (6) 子节点申请协调发送数据命令。

4 上位机监控软件设计及通信试验

上位机监控软件采用Delphi编写, 主要实现对车厢内部1~6号节点的温度、湿度、气压和CO含量的实时监测。列车车厢内部环境无线实时监测界面如图6。经实际试验, 该系统在有房屋等建筑障碍物的情况下, 通信距离为20 m时, 网络终端传感器节点1可与协调节点7直接通信, 丢包率为0; 当通信距离增加至35 m时, 网络节点1开始数据丢包; 通信距离为40 m时, 网络节点1出现断网, 但当在协调节点7与网络节点1中加入路由节点3后, 网络节点1重新申请入网成功, 开始正常通信, 丢包率为0。关闭路由节点3后, 节点1回到断网状态, 数据接收率为0。在有房屋等建筑障碍物情况下, 经过反复试验表明, 该无线传感器网络系统节点之间的可靠通信距离约30 m, 完全满足车内环境监测的应用需要。

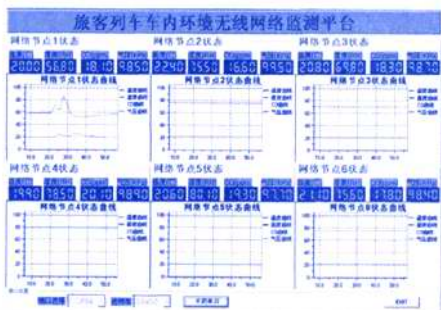


图6 车内环境实时监测界面

5 结束语

系统采用基于ZigBee通信技术的CC2430芯片构建无线自组织树状拓扑网络, 应用AODV路由协议算法, 通过多级中继方式对列车运行过程中的车内环境参数进行综合监测和数据传输。系统可实现自动组网, 监测范围可实时扩展, 安装简便, 解决了有线方式下扩展网络的诸多不便, 具有很强的灵活性; 通信网络能够完成各种数据信息的传送功能, 在30 m通信范围内通信误码率极小, 传输性能稳定可靠, 维护方便, 有很强的实用性。

参考文献:

- [1] Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince W. C. Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, Y. Fun Hu. Wireless sensor networks: A survey on the state of the 802.15.4 and ZigBee standards[J]. Computer Communications, 2007(30): 1655-1695.
- [2] 李文仲, 段朝玉. ZigBee 2006 无线网络与无线定位实战[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [3] 孙 弋. 短距离无线通信及组网技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [4] 金 纯, 罗祖秋, 罗 凤. ZigBee 技术基础及案例分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [5] 盛建强, 吴 方, 赖育晋. 基于 ZigBee 和 ARM 处理器的实验楼宇监控系统[J]. 计算机与现代化, 2009 (12): 137-03.
- [6] 周武斌, 罗大庸. ZigBee 路由协议的研究[J]. 计算机工程与科学, 2009 (6): 122-03.
- [7] 蒋 挺, 赵成林. 紫蜂技术及其应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.
- [8] 黄智伟. 单片无线发射与接收电路设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.