

## • 嵌入式系统工程 •

## 基于 ZigBee 和 MSP430 的商场无线测温系统的设计

包亚萍<sup>1</sup>, 史丽娟<sup>1</sup>, 田峰<sup>2</sup>

(1. 南京工业大学电子与信息工程学院, 江苏南京 210009; 2. 南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210003)

**摘要:** 通过研究 ZigBee 技术, 提出了一种结合 MSP430 单片机、单总线和 .NET 技术实现商场无线测温系统的硬件体系和软件实现方法。主要解决如何在 TI 的 ZigBee 协议栈上实现协调器组建网络, 并与终端节点进行数据传送, 以及上位机实时监控问题。实验结果表明, 无线测温系统精度高, 软件操作方便, 实用性强, 具有良好的人机操作界面, 验证了方案的可行性, 较传统有线测温具有更大优势。最后对该方案的应用进行了总结。

**关键词:** ZigBee; MSP430; .NET 技术; 单总线; 温度传感器; 上位机

**中图分类号:** TP393.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2010) 11-2458-04

## Design of emporium wireless monitoring system based on ZigBee and MSP430

BAO Ya-ping<sup>1</sup>, SHI Li-juan<sup>1</sup>, TIAN Feng<sup>2</sup>

(1. College of Electronics and Information Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Based on the research of the ZigBee technology, a new design of wireless temperature monitoring system combined with MSP430, 1-wire and .NET technology is put forward. The hardware architecture and software realization are presented. ZigBee star network is built, keeping the communication well between coordinator and end device and realizing the real time monitor of host computer are presented. The experimental results validate the feasibility of the scheme. A fine interface between men with machine is given, and compared with the traditional wire system, practical application tells that this wireless system performs much better.

**Key words:** ZigBee; MSP430; .NET technology; 1-wire; temperature sensors; host computer

## 0 引言

随着无线通信技术的不断发展, ZigBee、Bluetooth 蓝牙、UWB 超宽带和 Wi-Fi 等通信技术应运而生。通过它们在芯片组价格, 通信距离, 数据传输速度等对比, ZigBee 技术更适合本系统在低成本、近距离和数据传输速度中等方面的要求。ZigBee 是一种近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率和低成本的双向无线通信技术, 以国际通用的免费频段 2.4GHz 为主要频段, 采用 DSSS(直接序列扩频)技术。基于 ZigBee 无线传感器网络的研发成为近年来国内外竞相发展的一个领域, 推动了低速率无线个人区域网 LR-WPAN 的发展, 改变短距无线网络应用现状, 具有广泛的应用价值。

单总线技术是美国 Dallas 半导体公司近年推出的新技术, 它将地址线、数据线和控制线合为一根信号线, 具有连线简单、成本低廉的特点, 广泛应用于对多点进行测温的场合。但它基于有线连接方式, 扩展性能差、布线复杂; 不适合测温点较多、测温范围较大的系统, 而且单总线通信距离有限。

将 ZigBee 技术、单总线测温技术和 .NET 技术相结合, 采

用超低功耗单片机, 设计一套实用的商场无线测温系统, 通过 ZigBee 无线技术扩大了测温范围, 无线测温代替传统的有线测温或者人工测温, 解决了系统布线难和功耗高等方面不足, 而且具有组网方式灵活、可扩展性强、测温范围广和成本相对较低的特点。在商场的控制室内, 商场工作人员通过上位机能够定时监测、记录和控制房间的室内温度, 达到控制温度和节能的目的, 有效的控制电能的合理分配, 同时也便于监督部门进行监督和检查。

## 1 IEEE 802.15.4/ZigBee 协议

ZigBee 联盟在 IEEE 802.15.4 基础上定义了 ZigBee 协议的 NWK、应用层框架和安全规范。图 1 是 ZigBee 协议栈简单结构。ZigBee 协议栈的每层为其上层提供数据传输服务和管理及维护服务等。①应用层包括应用支持层 (APS)、应用框架 (AF)、ZigBee 设备对象 (ZDO) 和制造商所定义的设备对象。APS 子层负责维护绑定表并在绑定设备间传递信息; ZDO 的任务包括定义设备在网络中的角色, ZigBee 协调器、路由器或终端设备、初始化和响应绑定请求并在网络设备之间建立安全体

收稿日期: 2009-07-09; 修订日期: 2009-09-15。

基金项目: 江苏省教育厅高校自然科学基金项目 (08KJB510015)。

作者简介: 包亚萍 (1965—), 女, 江苏南京人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为信号处理; 史丽娟 (1983—), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络及信号处理; 田峰 (1979—), 男, 山东枣庄人, 博士, 副教授, 研究方向为无线通信、网络信号处理和认知无线电和频谱资源管理。E-mail: shilijuan0505@126.com

系。②网络层支持星状、树状和网状拓扑;主要功能有:设备连接和断开网络时所采用的机制;数据帧信息传输过程中所采用的安全性机制;设备之间的路由发现和路由维护和转交。③安全服务规范,ZigBee提供的安全服务包括密钥建立、密钥运输、帧保护和设备管理,这些服务共同构成了 ZigBee 设备的安全体系。

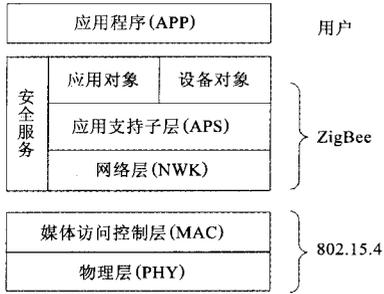


图 1 协议栈结构

本方案完成 ZigBee 网络数据传输的无线收发模块体积小、功耗低,与微控制器连接简单,适合承担无线传感器网络的节点的数据传输任务。

### 2 ZigBee 无线测温系统总体实现方案

本文通过采用 MSP430 单片机+CC2420 无线收发模块结构搭建了一个传感器网络。系统总体结构如图 2 所示,主要由测温点、终端节点、协调器和上位机 4 个部分组成。温度检测系统以单片机为核心,能对温度进行实时控制检测。根据实际要求在商场每层部署多个温度传感器,由单片机采用总线方式控制传感器的工作,通过 RF 无线收发器组成 ZigBee star(星型)射频网络将检测单元测量结果无线传送到中心汇聚节点(协调器),中心节点将结果通过 485 总线经由上位机显示出来,而且可以利用复杂的 star 拓扑结构实现多机互联,用来检测多点温度,进行统一观察。整个系统中协调器主要负责建立 ZigBee 网络和接收各个终端节点的数据,再上传送到上位机;各个终端节点负责采集温度数据并传送给协调器。

为降低成本,系统中大部分传感器终端节点作为子节点,从组网通信上,它只是其功能的一个子集,称为半功能设备(RFD);而协调器节点,控制子节点通信、汇集数据和发布控制,或起到通信路由作用,称之为全功能设备(FFD)。

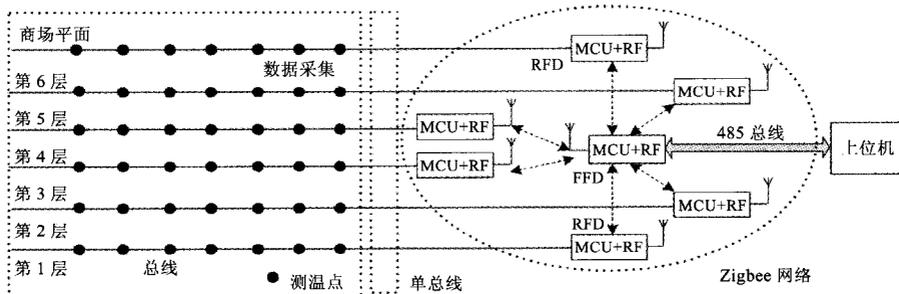


图 2 无线测温系统总体框架

### 3 系统芯片选型、协调器硬件结构

#### 3.1 芯片选型

考虑 AVR、8051 和 MSP430 单片机等在功耗、性价比、外围电路和数据处理速度等方面不同优势,选用 16 位超低功耗单片机 MSP430F449,其资源丰富,数据处理速度快,功耗远低于其它系列产品,并且在恶劣条件下工作性能较稳定。

比较 nRF401、CC1000、CC2420 和 CC2430 四款无线收发芯片在发射功率、接收灵敏度、收发芯片所需的外围元件数量、芯片成本和数据传输等方面优缺点,选取 TI 公司 CC2420 芯片来实现 ZigBee 的应用。虽然 CC2430 集成了 8051MCU,较 CC2420 性能更好,但 MSP430 单片机处理速度和超低功耗等方面的优势更适合本系统的需求。CC2420 包括了 2.4GHz DSSS 射频收发器,其休眠模式和切换到主动模式的超短时间特性,满足无线传感器网络对低成本、低功耗的要求,适合 WSN 的应用。

温度传感器选用 DALLAS 公司 DS18B20 芯片,采用 1-wire 单总线的传输方式,单根信号线既传输时钟又传输数据。数字式传感器,使节点体积小、功耗低和外围电路简单。考虑单片机数据驱动能力不足而且上位机和单片机之间双向通信,选取双向通信存储芯片作为数据缓冲电路,不仅增强驱动能力且布线方便。外扩存储芯片确保有足够的空间存储协议栈和单总线器件自身所带的 ROM 序列号等。

#### 3.2 协调器结构

所有传感器节点中,MSP430 模块为中心模块,通过 I/O 或

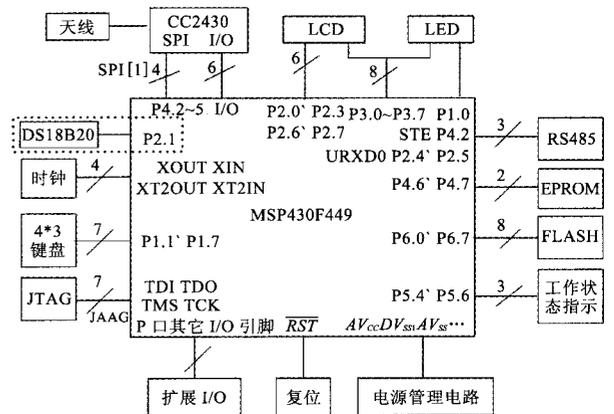


图 3 MSP430 管脚资源使用情况

者总线方式与其它模块相连。考虑到芯片 MSP430F449 和 CC2430 引脚较多,图 3 只给出 MSP430 的管脚资源使用情况。

CC2420 通过 SPI 方式与处理器的通信。CC2420 使用 SDF、FIFO、FIFOP 和 CCA 这 4 个引脚表示收发数据的状态;处理器通过 SPI 接口与 CC2420 交换数据,发送命令等,其中 MSP430 处于主模式,CC2420 处于从模式。MSP430 还有多个 I/O 与 CC2420 相连,主要起查询 CC2420 状态的作用。I/O 资源在当前 ZigBee 平台上使用了一部分,没有使用的 I/O 管脚被引出放置在电路板边缘。因为终端节点作为 RFD 需要采集数据,在硬件设计上需要连接温度传感器 DS18B20。

协调器具有如下功能:组建 ZigBee 网络,启动和组建单总线网络;动态搜索挂载在单总线上的 DS18B20 的 ROM 序列号并存储等。

### 4 软件设计和上位机测试及监控

#### 4.1 无线组网设计

软件设计中难点在于网络的创建,ROM 序列搜索和上位机的监控;主部分程序包含芯片设置、初始化程序,协议栈各层程序,应用程序和输出。设计中采用了二叉树算法实现在线所有单总线 DS18B20 序列号的自动搜索。二叉树深度为 64,每个叶子结点的深度也是 64,叶子节点的个数就是挂载在总线上的 DS18B20 的个数,从根节点到叶子节点所走的路径就是传感器的 ROM 序列号。

以协调器流程图(如图 4 所示)和协调器成功创建新网络的原语信息流程图(如图 5 所示)为例,给出系统部分软件设计。协调器通过 LME-NETWORK-FORMATION.request 原语来启动一个新网络的建立过程,在系统中仅仅是协调器具有组建网络的功能。当协调器的 NLME(网络层管理实体)收到的请求原语有效时,NLME 请求 MAC 子层在指定或默认的信道上执行能量检测扫描,搜索可能存在其它噪声等多种信息的干扰。最后通过 NLME-NETWORK-FORMATION.confirm 证实

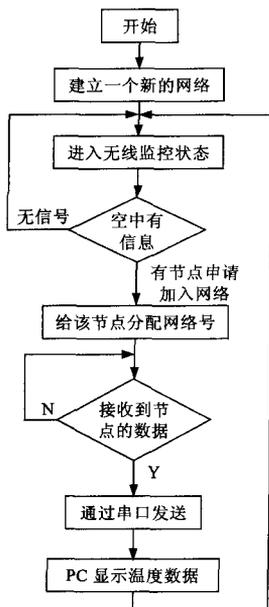


图 4 协调器流程

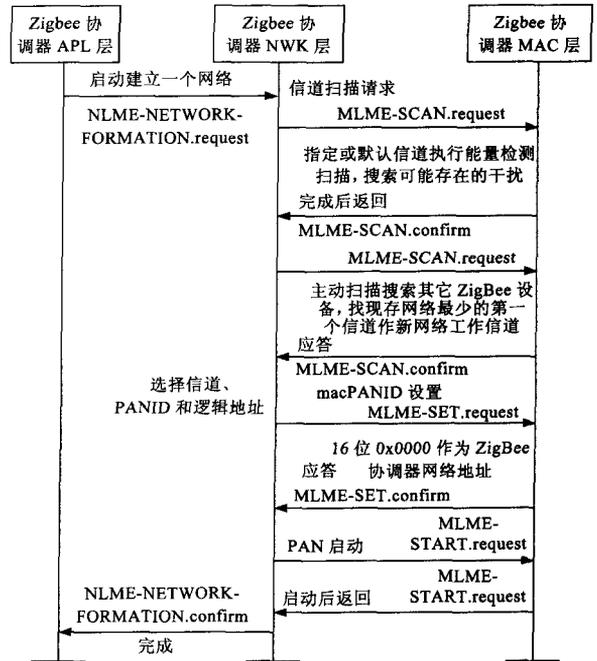


图 5 协调器成功创建新网络的原语信息流程

原语完成 ZigBee 网络的建立。

在组网的基础上实现数据采集和无线传输。通过主程序调用 PingPong(), 实现对 DS18B20 温度数据的采集后,通过 ZigBee 协议栈的无线收发函数 aplSendMSG() 将采集到的数据传送给 FFD, 上位机查询 FFD 的温度数据并显示在上位机监控系统中。PingPong 函数代码如下:

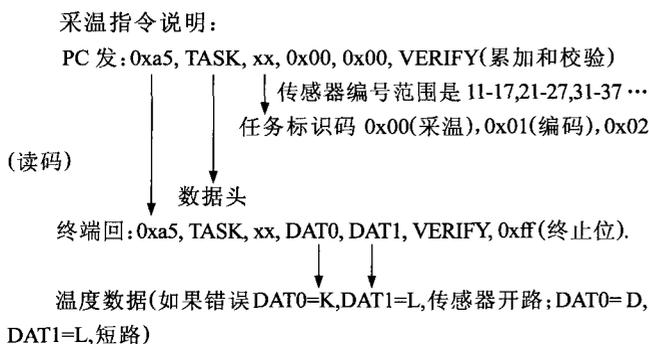
```
void PingPong (void) {
    apsFSM (); //应用层无线数据收发处理
    switch (ppState) {
        case PP_STATE_START_RX: ... break; 开始接收
        case PP_STATE_WAIT_FOR_RX: ... break; 等待接收
        case PP_STATE_SEND: ... 发送
            aplSendMSG (APS_DSTMODE_SHORT, 目标地址的地址模式
                &dstADDR, 目的地址的指针
                2, dst EP 目标端点
                (temp), 温度数据发送
                1, src EP 消息源端点
                &payload[0], 用户数据缓冲区指针
                2, msg length
                apsGenTSN(),
                FALSE); //No APS ack requested
            ppState = PP_STATE_WAIT_FOR_TX; break;
        case PP_STATE_WAIT_FOR_TX: ... break; } } 等待发送
```

#### 4.2 温度检测系统通信协议

在本系统中,基于 VS.NET 平台开发的上位机测试软件可实时显示 DS18B20 采集的温度,并可对 DS18B20 进行编码、读码、单点采温。

串口设置:波特率:2.4KBPS,数据长度:7 字节,校验:累

加和校验(为前5字节和的补码。以下只给出采温指令说明, 编码、读码指令和采温指令大体相似。



### 4.3 上位机监控

为了保证系统安全性, 上位机系统需验证用户名和密码的正确性, 验证无误后才能进入温度监控系统主界面(如图6所示)。主界面由“测温点列表”, “历史数据”, “操作与管理”以及“各楼层编号”选项卡组成, 实现包括温度测量, 历史数据保存与查询, 用户管理, 各楼层测温点温度动态显示等功能。

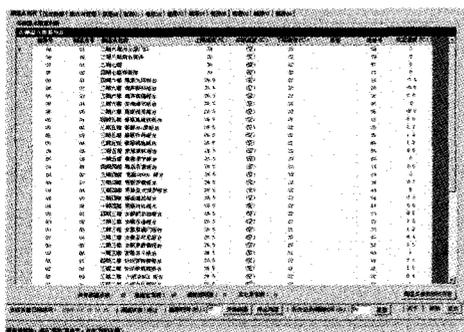


图6 商场无线测温系统上位机主界面

整个系统正常运行后, 选取合适的刷新时间和历史记录间隔时间测温参数, 点击“开始测温”按钮, 系统进入测温状态, 30s左右后, 通过主界面直接读出各测温点温度情况, 包括: 正常, 报警和异常情况3种状态, 及其相应测温点个数等其它信息。还可通过模拟的各楼层的平面图读出各楼层的平面图中测温点的位置、编号和实际温度。

上位机监控软件具有对各楼层测温点温度的实时显示、保存以及超温报警等功能, 软件操作方便, 实用性强, 并且具有良好的人机操作界面。

## 5 实验结果与分析

根据商场每层每个柜台售卖产品种类的不同设置温度报警上下限, 设置系统时间和温度修正值, 同时采用误差修正算法提高了采样温度的准确性。通过测量多个测温点附近实际温度和本系统上位机读出来的测温点相比较, 在10度到40度温度范围内, 系统的误差绝对值不超过0.03, 验证了该方案的可行性, 因此本系统适用在商场无线测温中。如表1所示。

对节点进行点对点测试通信, 无障碍物时有效通信距离为50m左右, 有障碍物时的有效通信距离需要视具体障碍物的阻挡状况, 室内通信有墙阻隔时, 在25m左右的距离是稳定的。

表1 测量温度与实际温度对照

楼层测温点号	地址号	实际温度/℃	测量温度/℃	误差值/℃	相对误差
0001	77	14.7	14.6	-0.1	0.0068
0106	61	25.3	25.6	0.3	0.0119
0205	52	23.0	23.2	0.2	0.0087
0304	43	24.8	24.5	-0.3	0.0121
0403	34	25.0	25.2	0.2	0.008
0502	25	23.5	23.4	-0.1	0.0043
0601	16	23.7	24.0	0.3	0.0127
0702	17	25.5	25.2	-0.3	0.0118
0802	59	26.2	26.5	0.3	0.0114

在本设计中, 因商场室内障碍物较多, 需将协调器放置商场中间楼层, 各终端节点置于障碍物较少且离协调器相对较近的楼梯附近。利用 ZigBee 网络传输基于单总线技术的传感器节点数据的无线测温系统设计, 采用星型网络拓扑和根据上位机需求时唤醒 ZigBee 模块的通信方式, 网络的自组织、自愈能力强, 有效降低了各 ZigBee 终端节点的功耗, 同时通过上位机对现场进行实时监控, 较传统有线测温 and 人工测温具有显著的优点。

## 6 结束语

本系统为一套可行的无线传感器感应、采集、上报、存储、应用、决策的设计方案。系统软件操作方便, 实用性强, 具有良好的人机操作界面, 可以直观的显示各部署点的温度情况。无线测温较传统有线测温系统具有更大优势, 不但解决了网络布线困难、成本高和实时性差等问题, 而且在投资、建设和维护等方面也具有一定优势。根据实际需要选择适当温湿、压力、光照度、烟雾和紫外线等数字式传感器节点, 对监测区域内相应物理信号进行测试, 可将设计方案应用到其它环境监测系统中去。

## 参考文献:

- [1] 瞿雷, 刘盛得, 胡成斌. ZigBee 技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [2] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 刘新军. .NET 精简框架程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] 纪晴, 段培永, 李连防. 基于 ZigBee 无线传感器网络的智能家居系统[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(12): 3064-3065.
- [6] DALLAS SEMICONDUCTOR. DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer [EB/OL]. <http://www.maximic.com.cn>, 2005.
- [7] Chipcon. A true system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE802.15.4/ZigBee [EB/OL]. <http://focus.ti.com/litlit/ds/sym-link/cc2420.pdf>, 2007.
- [8] Zhang Junguo, Li Wenbin, Han Ning. Forest fire detection system based on a ZigBee wireless sensor network[J]. Frontiers of Forestry in China, 2008, 3(3): 369-374.