

摘要：为了解决在复杂环境下有线温度监测不灵活、成本高的缺点，设计了一套基于 ZigBee 的无线温度监测系统。系统选取 TI 公司的 CC2530 作为系统无线通信网络的核心芯片，温度采集模块采用传感器 DS18B20 测量温度数据，通过串口通信把采集的温度数据上传到上位机。通过系统中协调器和终端的软件设计实现网络组网。上位机实时接收温度数据，通过软件程序处理温度数据，将温度实时显示出来，实现温度监测。通过实验表明，该系统具有组网迅速、实时性强和易于开发等优点，为基于无线传感网络的温度监测应用和扩展提供了有价值的参考。

关键词：ZigBee 技术；CC2530；温度监测；DS18B20；上位机；软件

中图分类号：TP206.3

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2018)08-0023-07

收稿日期：2018-07-13

# 基于 ZigBee 技术的无线温度监测系统设计

张盼 霍连松

北京信息科技大学 自动化学院，北京 100192

## 一、引言

温度监测系统中有着广泛地应用，比如：温室大棚的温度监测、工厂车间的温度报警装置等等。在一些特定环境中，温度监测环境范围大，测点距离远，传统的布线方式很不方便，这时就要采取无线方法对温度数据进行采集。ZigBee 协议作为一种全新的无线传感技术应运而生，它以配置快捷、节点耗电低、双向传送数据和控制命令等特点在其他无线通信协议中脱颖而出，成为了众多厂家的首选协议。

ZigBee 可以在一定区域内进行监测，并将所收集的数据发送到中心节点，以便实现区域的监测、跟踪和遥控。大量廉价的节点进行有机的组合，并按照一定的通信标准就构成了 ZigBee 无线网络，每个网络节点都具有自己的位置，发挥一定的作用。ZigBee 网络是大规模的、自组织的、多跳的，在整个网络中基本上设备是固定的，它们都彼此在一定的监测区域发挥着应有作用，由于每个设备都处在末端，有时候会在一些恶劣的环境中，所以这些节点的工作时间要长<sup>[1]</sup>。

基于 ZigBee 的无线温度监测系统能够更便捷、可靠地完成人们的测温要求，与其它技术比较来说，具有成本低、工作时间长的特点，突出的优点是非常简洁，能够快速应用到实际中。

## 二、系统的硬件设计

本系统是利用 ZigBee 技术来实现无线温度监测的目的，那么就需要对 ZigBee 系统进行设计，包括无线通信模块、协调器和终端的设计，搭建完整的硬件电路，进而对环境温度进行智能监测。整体结构如图 1 所示。

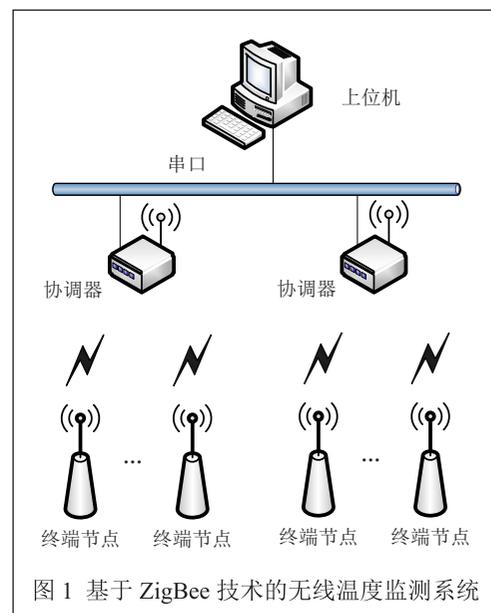


图 1 基于 ZigBee 技术的无线温度监测系统

### 1、无线网络通信模块设计

通信芯片选择的是 TI 公司的 CC2530。CC2530 是一种用于 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee/RF4CE 的单芯片解决方案，具有射频性能好、功耗超低、灵敏度高、抗噪声及干扰能力强等优点，而且成本低廉，只需很少的外置低成本元件即可支持快速、廉价的 ZigBee 节点的构建。CC2530 在一般空旷环境下的最远通讯距离为 100m 左右。

CC2530 芯片集成了可编程闪存、MCU 和 ZigBee RF，其中 MCU 为 8 位单周期 8051 微控制核心，外设资源包括 DMA、定时 / 计数器、看门狗定时器、AES-128 协处理器、8~14 位 ADC、USART、睡眠模式定时器、上电复位电路、掉电检测电路以及 21 个可编程 I/O 引脚<sup>[2]</sup>等。

CC2530 的功耗很低，其睡眠与工作模式间激活转换时间非常短，是超长电池使用寿命应用的理想解决方案，在接收和发射传输模式下的电池损耗分别为 27mA 和 15mA<sup>[3]</sup>。

另外，TI 公司还提供了开源的协议栈，协议栈的底层代码已经封装完毕，只需调用即可，提高了程序开发的效率。

CC2530 芯片的 RF-P 与 RF-N 管脚是一对差分输入输出信号。射频输入和输出电路中使用 2.4GHz 频段的信号，使用一个非平衡天线，连接非平衡变压器，使天线性能更优。基本连接图见图 2。

### 2、协调器节点设计

协调器作为网络的关键点，主要功能是进行网络的组建，并将接收终端节点的温度数据包然后发送给上位机。协调器节点结构如图 3 所示，主要包括 CC2530 核心模块、串口通信模块、电源模块等。

本系统中协调器有着很重要的作用，它负责整个网络的搭建。协调器可以允许终端节点的加入，另外协调器作为数据传输的中枢神经，将温度数据通过串口发送给上位机。电源模块是最基本的模块，提供给协调器进行工作的能量来源。仿真器模块通过 USB 与仿真器接口将主机和 CC2530 通信模块相连，主要负责

将协调器的程序下载，可以在线调试。LED 指示电路模块负责指示协调器的工作状态和运行流程，LED 闪烁一次表示协调器开始工作，连续闪烁四次表示终端节点成功加入网络，来判断当前协调器运行状态，也可以检验协调器是否正常工作。

### 3、终端节点设计

终端模块主要负责将采集的温度数据进行处理并打包，并把温度数据包发送给协调器。除此之外还需要判断协调器发过来的温度控制命令。终端节点组成结构图如图 4 所示，系统

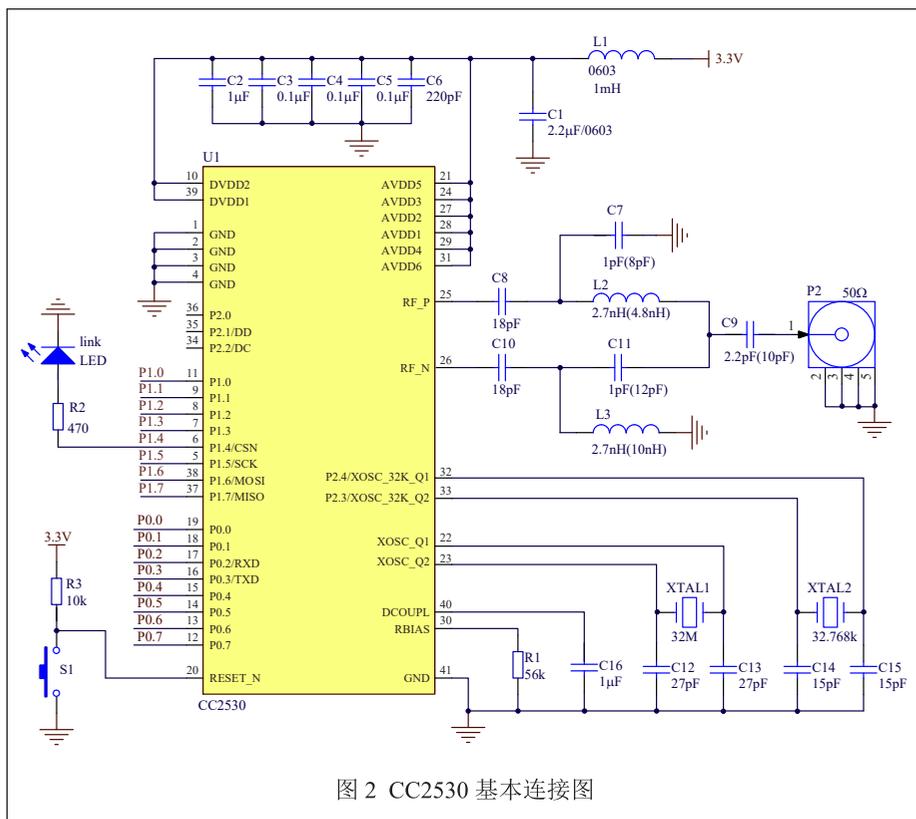
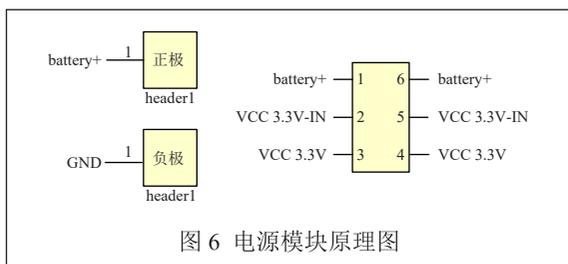
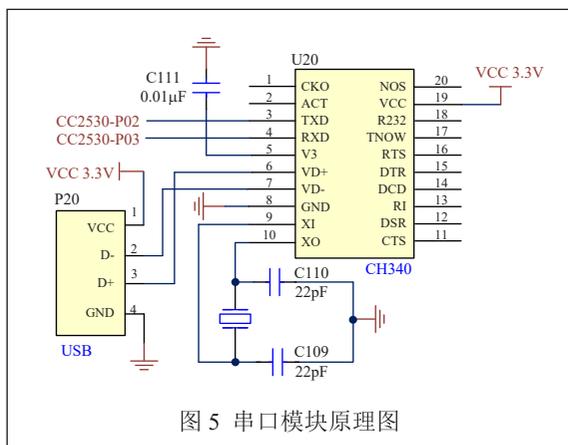
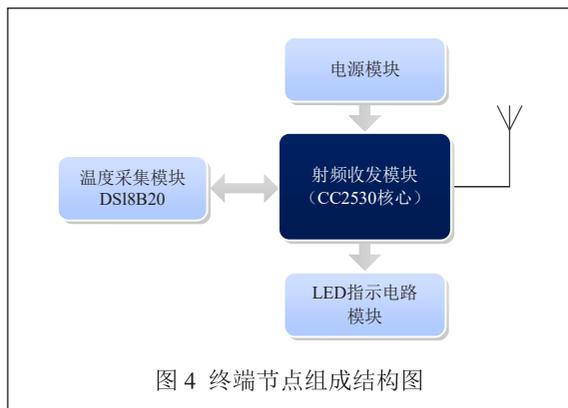
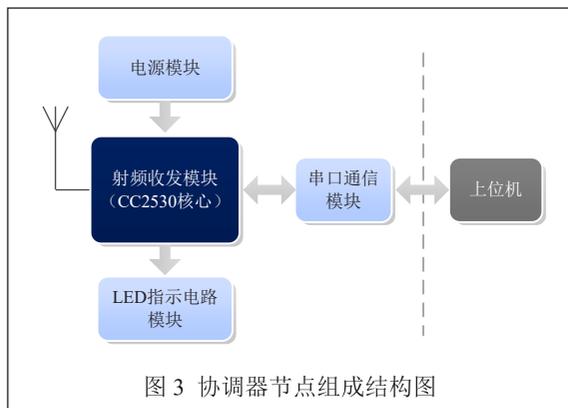


图 2 CC2530 基本连接图



由CC2530无线通信/处理、温度传感器、电源、仿真器、LED指示电路等模块组成。

终端节点作为温度数据采集的主要节点在整个网络中发挥重要作用。终端节点需要采集温度，并且需要处理温度数据。当然终端节点也需要电源来保障其正常工作。终端节点中有LED指示电路模块负责指示其工作状态和运行流程，LED闪烁一次表示协调器开始工作，连续闪烁两次表示未成功加入网络，连续闪烁四次表示成功加入网络，以此来判定当前协调器运行状态，也可以检验终端是否正常工作。

温度传感器采用DALLAS公司生产的DS18B20，测温范围在 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 之间，温度计的分辨率可以从9位到12位选择<sup>[4]</sup>。DS18B20是1-Wire即单总线器件，具有单线接口、体积小和线路简单的特点，处理器和DS18B20仅需一条连接线就可完成数据收发及电源提供（也可以由外部的3.3V电源供电），在一根通信线上可以挂很多的温度计，形成多点分布应用。

传感器DS18B20主要引脚包括接地端、输入/输出端和电源端，它与CC2530的P1.1口相连，用于温度数据的传输，电源接3.3V电源。

#### 4、扩展功能模块设计

##### (1) 串行通信接口设计

本系统中应用到了CH340 USB转接芯片，实现了USB转串口，在开发板上焊接了USB模块方便与PC机进行通信。

串行通信模块原理图如图5所示。CH340芯片中的RTS和DTR引脚分别连接CC2530芯片的TXD(P03)和RXD(P02)。USB模块的2和3引脚分别接到了CH340的管脚VD-和VD+引脚上。

##### (2) 电源模块设计

本系统中的通信芯片具有低功耗的特点，再加上节点的便捷性，采用电池板进行供电，能很好地满足芯片的要求，且能降低开发成本。因此本次设计使用2节5号电池。原理图如图6所示。

### 三、系统的软件设计

系统的软件设计保证系统按照预期效果工作，通过对硬件模块进行程序编写，来达到ZigBee网络的组

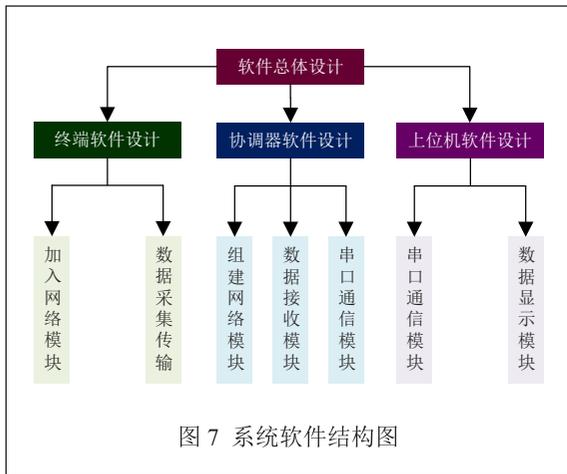


图7 系统软件结构图

建，温度的采集和发送，节点数据的传输和显示。系统的硬件模块主要有协调器、终端两个部分，那么软件设计就要按照这两个部分进行，即协调器软件设计、终端软件设计、上位机软件设计。系统软件结构如图7所示。

### 1、系统软件开发环境

本系统的开发环境是与CC2530配套的IAR Embedded Workbench IDE，Z-Stack为开发者提供了大量的程序代码和API函数接口，提高了开发效率。Z-Stack分为以下几层：AP、HAL、MAC、NWK、OSAL、Security、Service、ZDO<sup>[5]</sup>。我们主要对API层进行调用，把已建立好的项目做修改，添加自己的应用程序，利用移植的方式来开发项目。IAR打开工程后，就可以看到整个协议栈的分布。主要对App中的文件进行修改来达到自己预期的要求，所以说会降低开发周期，非常适合工程项目的开发。

Z-Stack的主函数在ZMain.c中的主要工作是系统初始化，即由启动代码来初始化硬件系统和软件结构需要的各个模块，然后开始执行操作系统实体。

### 2、协调器软件设计

在ZigBee网络中，协调器起着至关重要的作用，完成整个网络的组建工作。它作为网络的中心，是第一个要启动的，通过它来建立数据通道。通电后，首先要进行硬件和软件架构的初始化。完成后，开始扫描信道，选择一个合适的信道，并且选一个PAN\_ID，然后通过广播的方式发送网络ID号、信道等<sup>[6]</sup>。终端

节点的申请入网信号一旦被协调器接收到，终端节点得以加入网络中，并为其分配16位短地址<sup>[7]</sup>。协调器接收到终端传来的温度数据包，并通过串口传输给PC机。协调器不会进入休眠模式，它会一直保持着工作的状态。其工作流程如图8所示。

### 3、终端器软件设计

本系统的终端通电后，节点启动，并不断扫描指定的频道，向协调器发送加入网络的请求，如果没有成功加入，则再次尝试加入网络。加入网络成功后，得到协调器分配的网络地址，没有事件处理时就进入休眠状态，以降低功耗，延长使用时间。当有事件需要处理时，唤醒系统，节点每隔一定的周期采集和读取周围环境的温度，并把采集的数据打包发送给协调器，如果发送成功，节点将会进入休眠状态；如果没有成功，就要不断的发送数据包，直到发送成功。终端设备通信流程如图9所示。

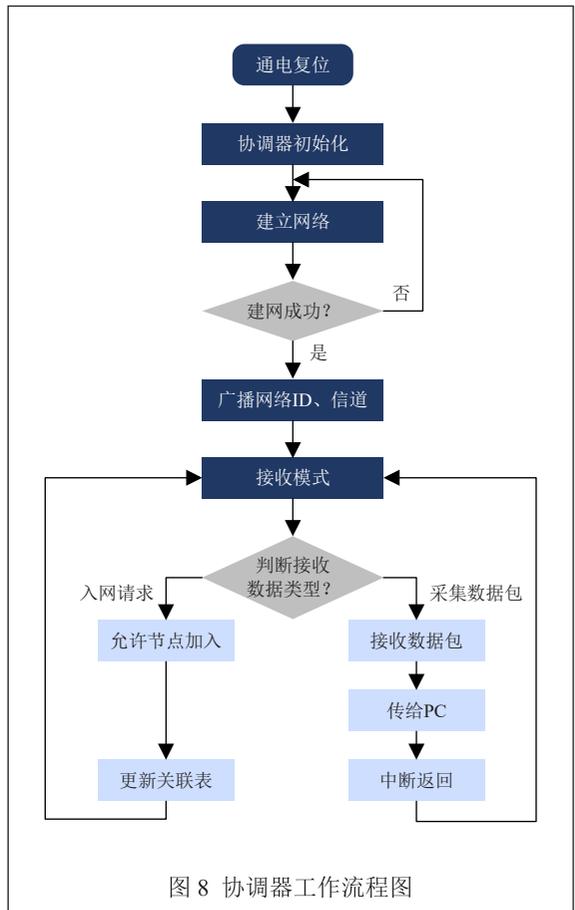
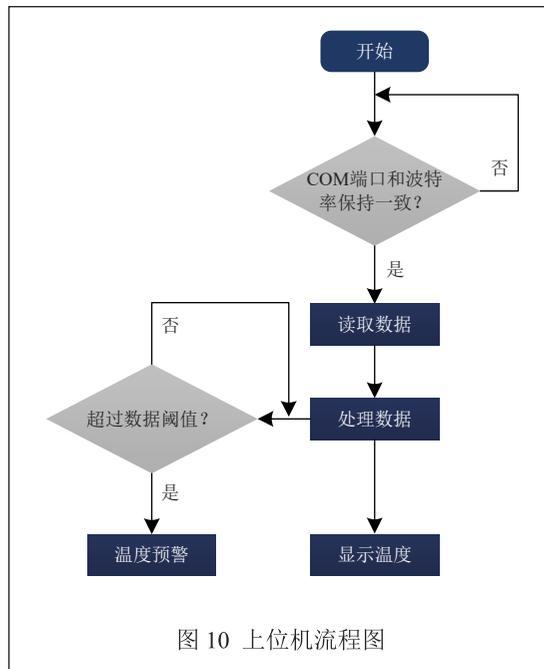
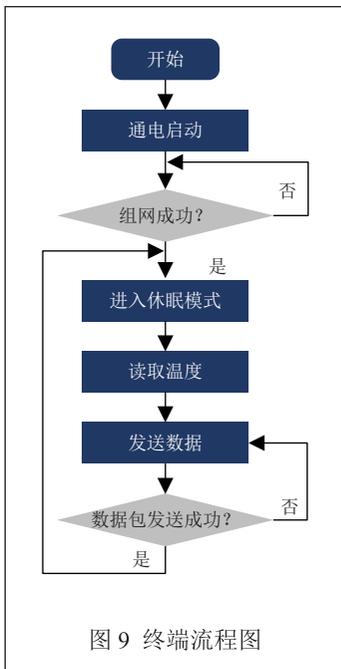


图8 协调器工作流程图



网络和网络地址分配机制，主要是在网络层完成的。网络层利用 MAC 层进行信道扫描、连接和断开连接功能，形成了比较完善的网络机制。

只有协调器具有建立网络的能力。建立一个网络，要选择合适的信道和网络 ID，并且要设置网络地址。当协调器负责的区域中有终端节点加入的时候，终端节点会发出指令将其作为父节点，与其建立网络连接。协调器需要允许该终端节点的加入，为其分配网络地址，

#### 4、上位机软件设计

在系统中，当协调器收集到终端发送来的数据时，对温度数据进行一系列处理，将温度数据通过串口传输给 PC 机。本系统不仅要监测当前环境的温度，同时还要对当前温度进行必要的调节，通过上位机应用程序设定温度的阈值，当温度低于或者高于设定的温度范围时，会提示温度不在正常范围内，需要进行调节。这时应用者就可以了解到当前温度的情况，做好调节温度的措施。上位机软件系统流程图如图 10 所示。

在 VC++ 的 MFC 窗体中集成了串口库，通过插入 Microsoft Communication Control 控件来完成上位机的编写<sup>[8]</sup>。需要注意的是，COM 和波特率一定要设置正确，否则不能进行正常的通信。串口成功打开后，成功接收数据，将温度数据包读到缓冲区 buff 之中，对数据进行处理，将数据显示在指定的位置，当要关闭此系统时，选择退出，此时若成功关闭，整个窗口就会关闭。设计的软件界面图如图 11 所示。

#### 四、系统的调试和测试

##### 1、网络连接测试

在整个 ZigBee 系统中建立网络、加入网络、离开

完成整个网络的搭建。

当一个节点要加入网络时，节点首先使用信道扫描找出所有可以加入的网络，然后选择其中的一个设备作为自己的父节点，并调用 MAC 层连接过程建立父子关系，加入网络。父节点接收到该节点的连接请求后，如果网络可以加入设备，那么将为这个节点分配网络地址，并且回复该节点请求，就可以知道自己是否成功加入网络中。

在本次设计中要达到的预期效果有：协调器在通电启动之后组网过程中 LED 指示灯会闪烁 4 次，表示



图 11 上位机界面图

协调器正在组网，闪烁之后就会一直亮的状态说明已经组网成功，等待终端节点的加入；终端节点通电启动后 LED 指示灯会一直闪烁，扫描当前环境中是否有可加入的网络。当存在网络后终端节点开始申请加入网络，加入成功后 LED 指示灯会一直处于点亮的状态。

测试时，把协调器和终端各自的程序烧进开发板，并且两个板子都用电池供电，能达到预期的效果，则两个节点之间的网络连接已经成功。

## 2、温度监测功能测试

为测试温度监测系统整体效能，搭建了一个简易的 ZigBee 网络，主要是一个协调器、一个终端节点和一台 PC 机。

首先把上位机程序运行起来，用 USB 连接线把协调器与 PC 机连接起来，选择串口 COM3 和 115200 波特率，确保能进行正常的通信。然后给各个节点供电，协调器节点建立网络，发起网络连接；终端节点自动扫描当前环境的网络并加入网络。各节点的指示灯均闪烁，表示工作处于正常状态。终端节点采集到温度数据并发送给协调器，协调器把接收到的数据包做一

定的处理，将数据上传到上位机显示界面。这时将判断当前温度是否处于设计的温度范围内，把上限阈值设为 30.0℃，下限阈值设为 20.0℃，测得的当前温度为 28.8℃，如果当前温度是正常的将会提示温度正常；把上限阈值设为 25.0℃，下限阈值设为 20.0℃，测得的当前温度值为 30.5℃，很明显当前温度不在设定的温度范围内，将会进行温度预警，并提示做好调节温度的措施。测试界面如图 12 所示。

## 五、结束语

本系统设计主要利用 ZigBee 技术，结合温度传感器，组成了一套无线温度监测系统，通过对 Z-Stack 协议栈进行编程，更好地了解底层的编码环境，对 ZigBee 技术的使用更加深入。无线温度监测较传统的温度监测有了进一步的升级，适用的环境也多种多样，尤其是在现场环境比较恶劣、场所比较复杂或是需要监测多点数据的时候更能发挥无线技术的优势。但是该系统比较简单，针对此问题，需要接下来更深一步进行研究。

## 参考文献

- [1] 葛广英, 葛菁, 赵云龙. ZigBee 原理、实践及综合应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [2] 李文仲, 段朝玉. ZigBee 无线网络技术入门与实践 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007, 269-272.
- [3] 王宁. 基于 ZigBee 的传感器网络研究 [D]. 河北: 河北理工大学, 2007.
- [4] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer[online]. www.dalsemi.com.
- [5] 王黎丽, 陈曾杰. 基于 ZigBee 的温度监测系统 [J]. 中国新技术新产品, 2011, (6): 12.
- [6] 秦霆镐, 豆晓强. ZigBee 技术在无线传感器网络中的应用 [J]. 仪表技术, 2007, (1): 53-55.
- [7] 高守玮, 吴灿阳. ZigBee 技术实践教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [8] 姜仲, 刘丹. ZigBee 技术与实训教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 15-25
- [9] Stephen Prata.C++ Primer Plus[M].Developer Library, 2012.

## Design of An Wireless Temperature Monitoring System Based on ZigBee

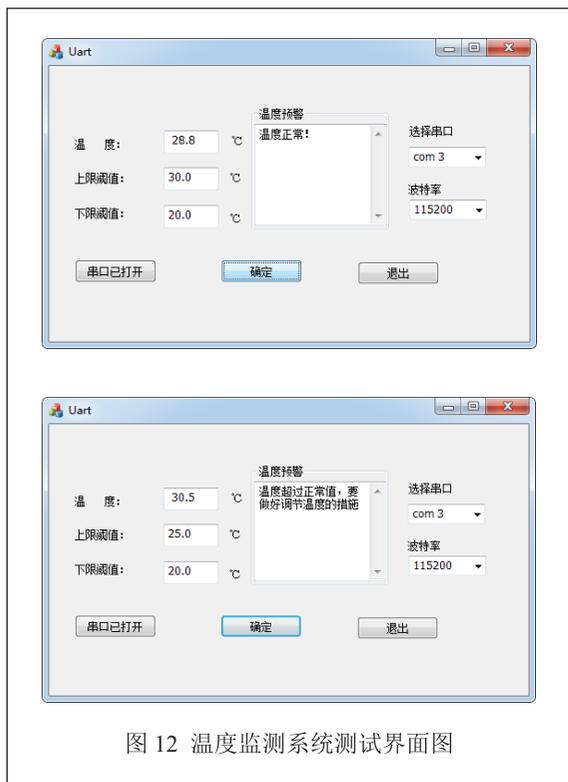


图 12 温度监测系统测试界面图

ZHANG Pan, HUO Lian-song

*(School of Automation, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)*

**Abstract:** In order to solve the problems of inflexibility and high cost of wired temperature monitoring systems in complex environment, a wireless temperature monitoring system based on ZigBee is designed, in which CC2530 of TI company is selected as the core chip of the wireless communication network, DS18B20 as the temperature acquisition module, and the collected temperature data is upload to the upper computer through serial communication. Network networking is realized through software design of coordinators and terminals in the system. The upper computer receives the temperature data in real time, processes the temperature data through the software program, displays the temperature in real time and then realizes the temperature monitoring. The

experiments show that the system has the advantages of fast networking, strong real-time and easy to develop, and provides valuable reference for the application and expansion of temperature monitoring based on wireless sensor networks.

**Key words:** ZigBee technology; CC2530; temperature monitoring; DS18B20; upper computer; software

#### 作者简介

张盼, 北京信息科技大学, 研究生, 研究方向为检测与自动化装置。

通讯地址: 北京市海淀区北京信息科技大学小营校区

邮编: 100192

邮箱: 421248039@qq.com

霍连松, 保定助成人力资源有限公司, 助理工程师, 研究方向为数据通信。