

唐英姿,蒋 峰. 远程无线高精度温室大棚环境监控系统设计[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):217-222.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.058

远程无线高精度温室大棚环境监控系统设计

唐英姿¹, 蒋 峰²

(1. 广西师范学院, 广西南宁 530001; 2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要:温室大棚种植技术对现代化的农业生产具有重大的意义,是一种全新的农作物种植技术。为实现对温室大棚的多通道、高精度控制,设计了1种基于ARM处理器、多级组网模式的远程无线高精度温室大棚环境监控系统。该系统以数字传感器采集温室大棚环境数据,通过ZigBee无线通信技术以及全球移动通信系统(GSM)技术实现与远程电脑(PC)终端以及无线手持监控终端的远程通信控制。试验表明,该系统具有环境参数控制精度高、响应时间快、无线通信距离远以及操作方便等优点,为实现农业的集团化种植及精准控制提供了借鉴。

关键词:温室;ZigBee;高精度;GSM;环境监控

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0217-06

温室大棚突破了传统农作物种植受气候、自然条件、地域环境等多种因素制约的限制,对现代化的农业生产具有重大的意义,是一种全新的农作物种植技术^[1]。对于温室大棚里面的农作物而言,大棚中的温度、空气湿度、光照度、CO₂浓度等因素将严重影响产量,因此,实现对这些因素的智能控制是当前温室大棚种植的关键问题和研究热点^[2],对中国这个人

口大国的农业现代化生产以及解决人们的菜篮子需求具有深远意义。目前,我国温室大棚控制系统主要有2种模式:(1)利用单片机为控制核心的独立控制系统模式^[3-4],该模式控制简单,实时性差,不能远距离控制,且人机界面不友好,操作复杂。(2)利用无线网络^[3-4]构成的智能控制系统模式,但这种模式主要是以1个大棚为主,缺乏对多个大棚的集约化控制,且对面积过大的大棚而言,其数据采集量不够,控制精度不高,同一大棚内其环境参数变化较大,误差较高。本研究根据现有温室大棚智能控制技术的现状^[5-8],结合无线传感技术,设计了1种基于ARM处理器的、多通道、远程无线高精度温室大棚环境监控系统,该系统通过ZigBee协议进行无线组网。

收稿日期:2016-10-21

基金项目:湖南省重点研发计划国际与区域科技合作项目(编号:2016WK2023);湖南省教育厅科学研究项目(优秀青年项目)(编号:15B251);中南林业科技大学引进高层次人才科研启动基金(编号:104-0357)

作者简介:唐英姿(1968—),女,福建安溪人,讲师,研究方向为电工电子技术、自动控制技术。E-mail:tangyingzi@163.com。

通信作者:蒋 峰,湖南衡阳人,博士,副教授,研究方向为嵌入式系统应用、生物信息技术、物联网技术。E-mail:j09mail@163.com。

with realistic shaped particles [J]. Powder Technology, 2013, 248 (2): 103-120.

[11] Lemieux M, Léonard G, Doucet J, et al. Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender using the discrete element method [J]. Powder Technology, 2008, 181 (2): 205-216.

[12] 李少华, 张立栋, 张 轩, 等. 回转式干馏炉内影响颗粒混合运动因素的数值分析 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31 (2): 32-38.

[13] 李少华, 朱明亮, 张立栋, 等. 回转装置内三组元颗粒径向混合评价方法分析 [J]. 化工进展, 2013, 32 (6): 1224-1229.

[14] 李少华, 张 轩, 张立栋, 等. 回转窑内颗粒轴向混合运动的数值模拟 [J]. 中国粉体技术, 2011, 17 (2): 23-26.

[15] 赵永志, 张宪旗, 刘延雷, 等. 滚筒内非等粒径二元颗粒体系增混机理研究 [J]. 物理学报, 2009, 58 (12): 8386-8393.

[16] Cleary P W, Sinnott M D. Assessing mixing characteristics of particle-mixing and granulation devices [J]. Particuology, 2008, 6 (6): 419-444.

[17] 韩燕龙, 贾富国, 唐玉荣, 等. 颗粒滚动摩擦系数对堆积特性的影响 [J]. 物理学报, 2014, 63 (17): 165-171.

1 系统总体架构组成

为实现对多个大棚的集约化控制,整个系统由无线传感

[18] 刘 扬, 韩燕龙, 贾富国, 等. 椭圆颗粒搅拌运动及混合特性的数值模拟研究 [J]. 物理学报, 2015, 64 (11): 264-271.

[19] 贾富国, 韩燕龙, 刘 扬, 等. 稻谷颗粒物料堆积角模拟预测方法 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (11): 254-260.

[20] Lacey B C. Developments in the theory of particle mixing [J]. Journal of Applied Chemistry, 1954, 4 (5): 257-268.

[21] 陈志平, 章序文, 林兴华. 搅拌与混合设备设计选用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[22] Sudah O S, Coffin - Beach D, Muzzio F J. Quantitative characterization of mixing of free-flowing granular material in Tote (bin) - blenders [J]. Powder Technology, 2002, 126 (2): 191-200.

[23] McCarthy J J, Khakhar D V, Ottino J M. Computational studies of granular mixing [J]. Powder Technology, 2000, 109 (1/2/3): 72-82.

[24] 朱明亮. 多组元颗粒径向混合实验研究 [D]. 吉林: 东北电力大学, 2013.

[25] 江茂强. 双锥型混合器内颗粒混合及增混机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

数据采集节点及执行终端、路由节点、协调器(网关)、上位机数据中心以及手持终端组成。无线传感数据采集节点主要用于监测大棚中的温度、空气湿度、光照度、 CO_2 浓度,为了防盗还增加了人体感应监测功能;执行终端主要根据指令实现对风机、喷灌装置、卷帘以及报警器等终端的直接控制;路由节点主要允许扩展网络覆盖的物理范围和通信数据报文的路由,完成中继数据,实现多个大棚的多通道集约化控制;协调器(即网关)主要用于网络的建立、数据汇集和维护,实现通信协议的转换,完成对采集数据的远程监控以及对执行终端的远程控制;网关通过全球移动通信系统(GSM)模块实现对上位机以及手持终端的远程通信。系统中的采集节点、执行节点、路由以及网关的通信都采用 ZigBee 协议实现。

为实现多通道集约化控制,整个系统拟采用树型网络拓扑结构。树型拓扑结构包括 1 个协调器设备以及若干路由器

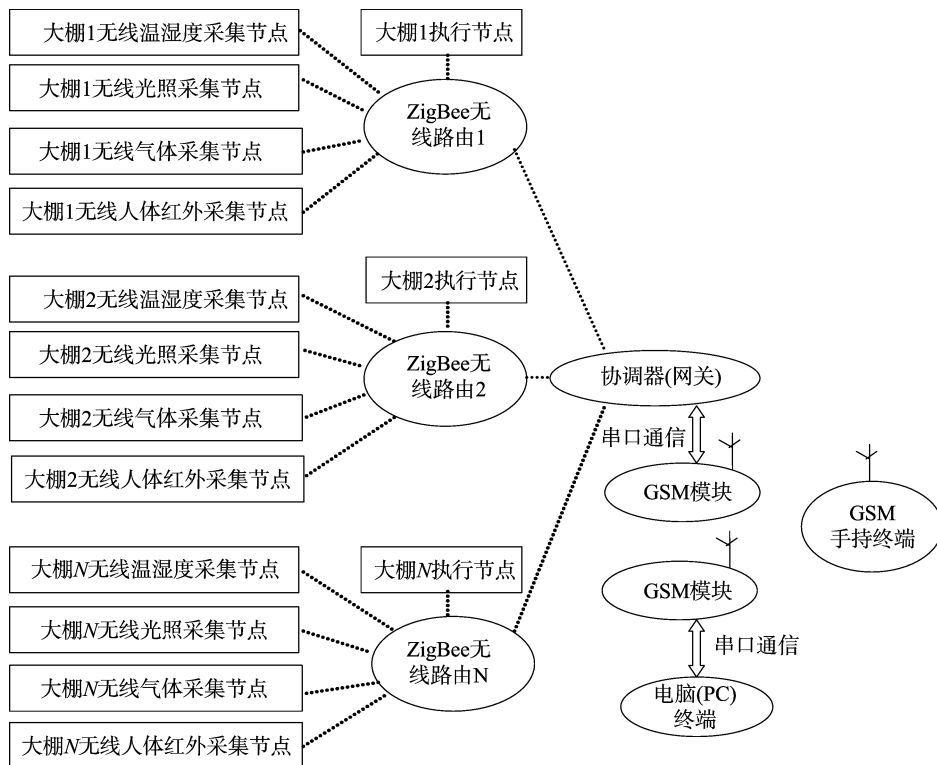


图1 多通道、远程无线高精度温室大棚环境监控系统的结构框

2 系统硬件设计

根据系统的整体组成架构,整个系统的硬件由数据采集执行终端、无线收发模块、路由模块、GSM 通信模块、网关处理模块等组成。如前文所述,系统是通过 ZigBee 协议进行组网的,设计中选用 TI 公司生产的 ZigBee 协议处理芯片——CC2530 实现。由于该芯片内嵌 1 个增强型的 8051 单片机内核,故还可将其用作数据采集执行终端的控制器。因此,整个系统可以集成为 3 个部分:无线数据采集执行终端、路由模块、网关处理控制模块。

2.1 无线数据采集执行终端

无线数据采集执行终端主要实现对温室大棚中的空气温湿度、 CO_2 浓度、光照度以及人体感应监测的数据采集;实现对风机、喷灌装置、卷帘以及报警器等终端的直接控制,并通

设备和终端设备。协调器设备连接一系列的路由器设备和终端设备,其子节点路由器设备也可以连接一系列的路由器设备和终端设备,这样可以重复多个层级。

在树型拓扑结构中,协调器设备和路由器设备都可以包含自己的子节点,而终端设备不能有自己的子节点。将包含同一个父节点的节点称为兄弟节点,有同一个祖父节点的节点称为堂兄弟节点。每个节点都只能和其父节点和子节点之间通信。如果需要一个节点向另一个节点发送数据,那么信息将沿着树的路径向上传递到最近的祖先节点然后再向上传递到目标节点。这种拓扑方式的缺点就是信息只有唯一的路由通道。另外信息的路由是由协议栈层处理的,整个过程对于应用层是完全透明的。整个系统的结构框如图 1 所示。

过 ZigBee 协议实现与远端的通信,其终端节点的硬件组成如图 2 所示。

为简化设计,温湿度采集选用 SHT10, SHT10 温湿度传感器的工作电压在 2.4 ~ 5.5 V,采用贴片形式封装,体积小,功耗低。SHT10 既可采集温度,也可采集环境的湿度数据,直接输出数字量,便于和中央处理器(CPU)之间的连接。SHT10 测试相对湿度(RH)的精度为 $\pm 4.5\%$,温度测试精度为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度高,非常适合温室大棚环境的温湿度监测。SHT10 通过 SCK、DATA 引脚与 CPU 进行连接, SCK 引脚为数据的传输时钟, DATA 引脚为数据读写引脚。

CO_2 浓度的监测选用传感器 S-100H。S-100H 传感器是当前最小、最轻的使用非分散红外线(NDIR)技术的 CO_2 传感器模块。该模块使用简单、方便,可以采用插针进行插拔,与设备连接方便,且能进行 UART、I2C 总线方式的输出,

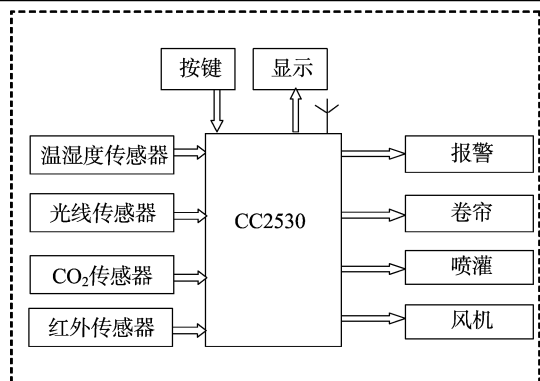


图2 无线数据采集、执行终端的整体框架

方便与 CPU 的连接和数据读取。S-100H 功耗低,且具有自动校准模式,使其能长期稳定、高精度地工作。S-100H 能检测的量程最大可达 10 000 $\mu\text{mol/mol}$,响应时间短,使用寿命可达 10 年。

光照度采集模块选用 HA2003,量程为 200 ~ 20 000 lx,其内部通过光电转换模块,将光照度转换为电压值,然后通过信号调理电路将该输出电压值选定在 0 ~ 5 V。该模块精度高、体积小、响应速度快、寿命长,适用于温室大棚的光照度监测。

人体感应模块选用的是热释电红外传感器模块。该模块由红外传感器控制芯片 BIS0001 以及被动式红外 (PIR) 探头组成,是 1 种能检测人所发射的红外线而输出电信号的传感模块。热释电红外传感模块有 3 个引脚:1 脚接地,3 脚接电源正极,2 脚为信号引脚,高电平有效;且该模块还能通过自带的电位器进行感应灵敏度以及输出信号的延时调整。

无线通信以及数据采集和执行控制都由 TI 公司生产的 ZigBee 协议处理芯片——CC2530 实现。CC2530 内部集成了 1 个增强型的 51 单片机内核,具有程序存储器和 8 kB 的随机存储器 (RAM),还集成了射频 (RF) 收发器等模块。它是 1 个 IEEE 802.15.4 标准的 2.4 GHz 射频收发器^[9],是 1 个真正的片上系统 (SoC) 解决方案,CC2530 具有不同的运行模式,使得它尤其适应超低功耗要求的系统。

根据器件手册,为增加其工作的稳定性,CC2530 芯片内的 1.8 V 稳压器须外接去耦电容,故在 40 脚接 1 个 1 μF 的电容进行去耦。引脚 32、33 以及 22、23 用于外接电容和晶振以分别构成 32.768 kHz、32 MHz 的振荡电路。引脚 26、25 为差分信号输入引脚,因此如果设计时使用了不平衡单极子天线,则须用巴伦匹配电路进行阻抗匹配,本研究选用分立电感和电容来实现阻抗匹配。具体应用电路如图 3 所示。

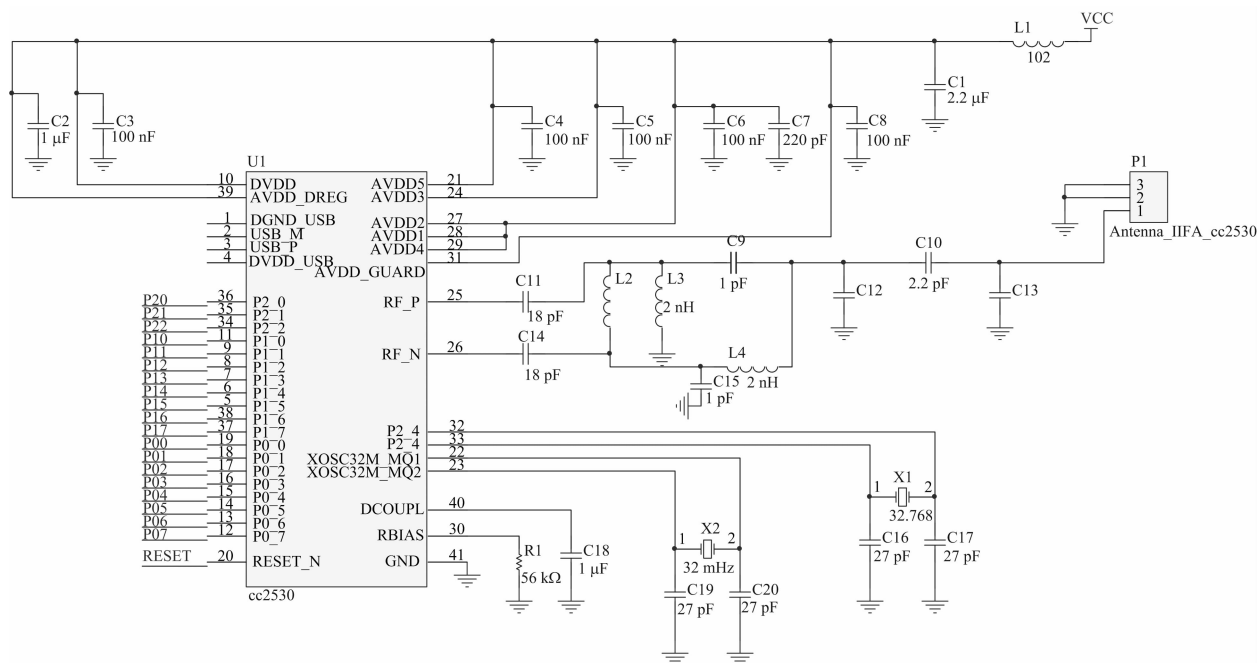


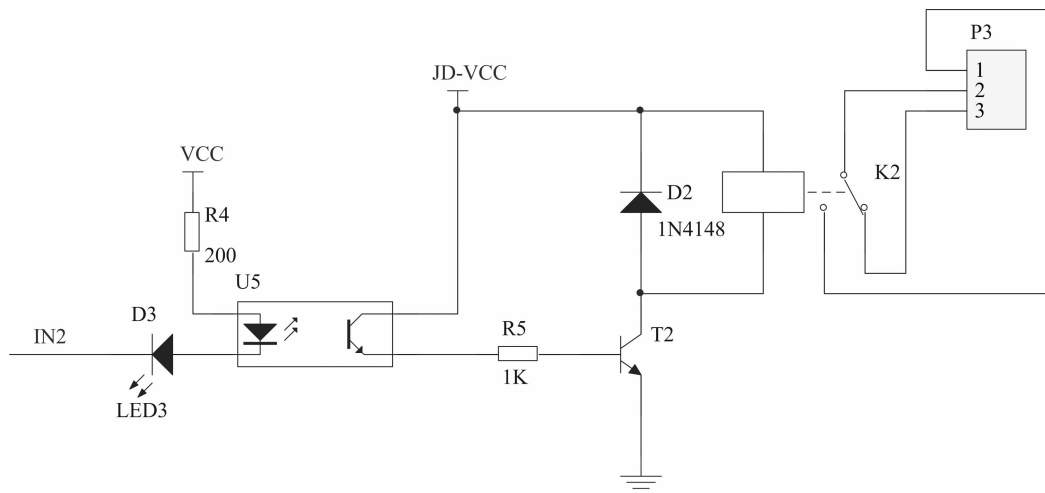
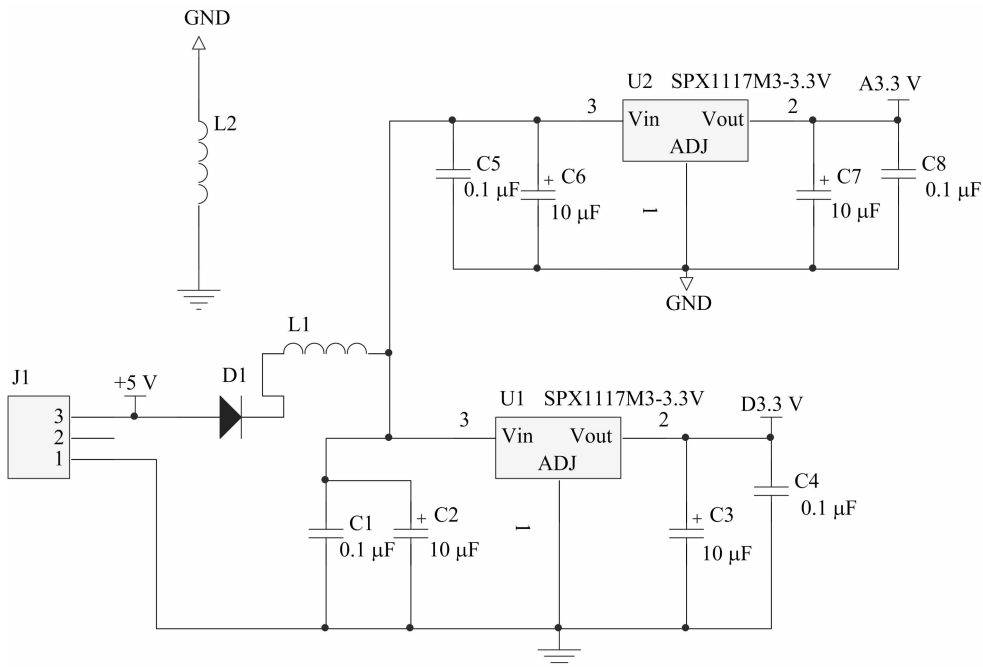
图3 CC2530 芯片简单外围应用电路

需要注意的是:CC2530 芯片的工作电压为 3.3 V,为实现电源的匹配,须设计电源匹配电路完成 5 V 到 3.3 V 的转换,设计中选用 SPX1117-3.3 芯片实现,其电路如图 4 所示。此外,为了降低环境干扰,进行电路布线时,芯片的下方,特别是天线的四周尽量不要走电源线;在芯片电源输入端就近放置滤波电容。

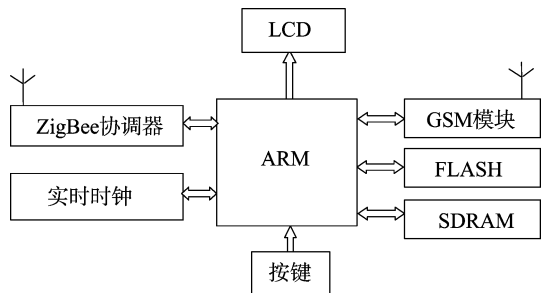
除了报警外,整个终端的执行控制都由弱电控制强电实现,须用光耦进行强、弱电之间的隔离,从而提高系统的稳定性。其通用的控制驱动电路如图 5 所示。

2.2 网关处理控制模块

网关用于完成数据传输格式的转换,实现与远程终端的通信与管理。本研究所设计的网关由按键、液晶显示器 (LCD)、ARM 处理器、GSM 模块以及 ZigBee 模块等组成,其工作过程如下:通过协调器接收路由器传送的数据信息,并将其通过串口送入 ARM 处理器进行处理,然后通过串口将数据传送给 GSM 模块,由 GSM 模块送给远端的监控中心和手持用户;远端的监控中心和手持用户在收到数据后,可以根据温室大棚环境的实际情况,通过远端的 PC 机和手持终端发送控制命令,由 GSM 模块接收送入网关的 ARM 处理器,处理器根据指令的定义进行处理并最终通过协调器发送给各个温



室大棚的控制终端,实现对多个温室大棚的控制。此外,如果现场工作人员想实现对温室大棚的直接控制,可以通过网关或者执行节点的按键进行操作。网关的组成结构如图 6 所示。



考虑到设计成本以及系统的复杂程度,ARM 处理器选用 S3C2440。S3C2440 内部集成了 USBHost、UART、SPI 等多种控制器,并拥有丰富的通用输入/输出 (GPIO) 等外围资源。

设计中闪存 (FLASH) 选用 K29F2808, 同步动态随机存储器 (SDRAM) 选用 HY57V561620CTP - H 实现。设计中, S3C2440 采用 NAND Flash 启动模式, 其映射空间为 nGCS0; 复位时, NAND Flash 控制器自动装载启动代码。S3C2440 有 3 个串口, 它通过串口分别与协调器和 GSM 模块进行通信。

3 系统软件设计

根据系统的组成以及实际需要,为方便操控,整个系统的软件根据其组成架构可以由网关控制程序、ZigBee 无线通信程序、GSM 通信程序、多点数据处理程序、底层的数据采集以及驱动程序等模块组成。网关控制程序主要是嵌入式操作系统的移植,下面将着重介绍操作系统的移植、ZigBee 无线通信程序、GSM 通信程序以及多点数据处理程序。

3.1 Linux 操作系统移植

Linux 操作系统的移植包含 Bootloader 启动、Linux 内核

裁剪、文件系统以及应用程序。常用的 Bootloader 有 U-Boot、vivi、grub 等,本设计中选用 U-Boot。其移植过程如下:解压下载的 U-Boot 压缩包;进入 board/samsung 目录复制 smdk2410 文件并将其文件名修改为 mini2440,然后进入该目录,将目录下的文件 smdk2410.c 名字修改为 mini2410.c,并对 Makefile 中的文件也进行相应修改;接着进入 include/configs 目录,复制 smdk2410.h 文件并将其重命名为 mini2410.h。打开根目录下的 Makefile 文件,修改文件定位,然后执行 make 命令,编译后下载 bin 文件到开发板即可。

下载 Linux2.6.32 版本进行内核裁剪,选择以菜单方式进入内核定制界面,根据网关的实际需要,对其进行配置后,进行编译,在 ./arch/arm/boot 的目录下可以看见所生产的内存映像文件 zImage。对该文件使用 mkimage 工具对其添加文件头,生成 uImage 文件,然后将该文件下载到开发板即可。

文件系统选用 yaffs。该文件系统载入 (Mount) 后,会在内存中建立 1 个系统的映象。选用 BusyBox 工具根据网关的实际需要进行文件配置,选用 mkyaffs2image 制作出适合本研究中网关运行的文件系统。

3.2 ZigBee 无线通信程序

本研究的数据采集和执行节点、路由以及协调器都选用 ZigBee 无线通信技术。ZigBee 协议的无线通信程序的核心就是 ZigBee 协议的启动 (包括 Router 的启动和 Coordinator 的启动)。ZigBee 协议栈的启动包括初始化硬件、初始化操作系统及任务分配、事件触发及处理 3 个过程。其启动过程按顺序调用函数:硬件初始化程序 (根据系统的实际组成编写调用);osal_init_system(void);osal_start_system(void) 实现。其中,函数 osal_init_system(void) 用于初始化操作系统,并通过调用 osalInitTasks(void) 函数进行任务的划分并分配任务的 ID 号 [通常情况下,用户自己建立的任务须在 osalInitTasks(void) 函数中进行定义并分配];osal_start_system(void) 用于启动操作系统并通过调用函数 osal_run_system(void) 进行事件的轮询;osal_run_system(void) 通过判断 tasksEvents[idx] 的值进行事件的处理。ZigBee 协议启动流程如图 7 所示^[9]。

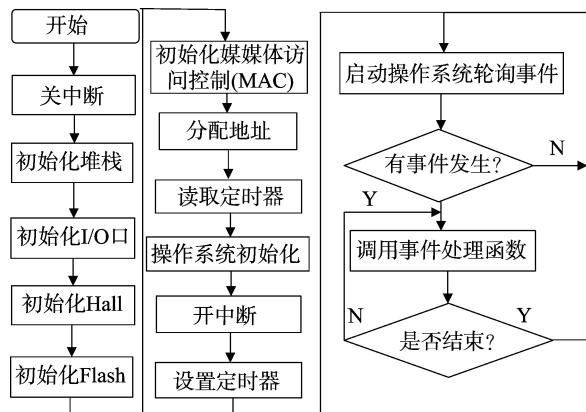


图7 ZigBee 协议栈启动流程

当温室大棚环境执行控制终端接收到触发变量 AF_INCOMING_MSG_CMD 的事件,将调用事件处理函数,并根据无线手持遥控终端所发送的 Cluster ID 不同转入不同的处理程序,并最终实现温湿度、报警、滴灌等控制。温室大棚环境执行控制终端接收数据的程序流程如图 8 所示^[9]。

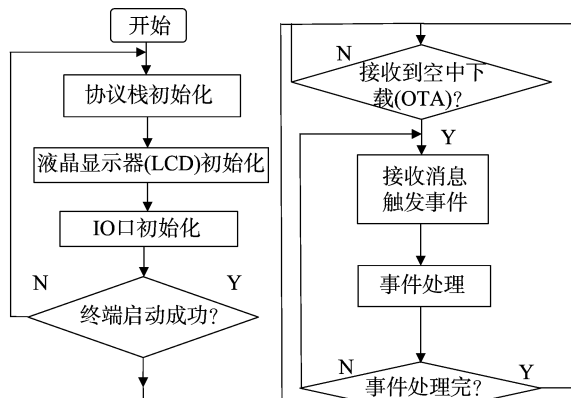


图8 温室大棚环境执行控制终端指令集接收数据的程序流程

3.3 GSM 无线通信程序

温室大棚环境的远程无线控制,选用 GSM 通信模式。根据 GSM 的通信原理,须采用指令集(AT)命令进行操作,来实现无线的短信收发^[10]。GSM 通信有 2 种模式:TEXT 模式以及 PDU 模式^[11]。PDU 模式能够发送汉字和英文字符,采用 unicode 编码,但是其实现较复杂,设计周期长;TEXT 模式虽只能发送英文字符,但不需要进行编码,实现简单。设计中选用 TEXT 模式,通过命令“AT+CMGF=1”实现。

具体操作步骤如下:(1)建立握手连接;(2)设置通信速率;(3)设置通信模式;(4)设置短信中心码;(5)设置数据接收模式。其初始化程序如下,其中 Send_Command() 函数中第 1 个参数表示 AT 指令码,第 2 个参数表示指令码的字符长度:

```

void GSM_Init(void)
{
    Send_Command(Command_ATE,5);//设置回显
    delay1(1 000);
    Send_Command(Command_AT,3);//建立连接
    delay1(10);
    Send_Command(Command_AT_IPR,12);//设置波特率=9 600
    delay1(1 000);
    Send_Command(Command_AT_CMFG,10);//设置为 text 格式
    delay1(1 000);
    Send_Command(Command_AT_CSCA,23);//设置为短信中心号码格式
    delay1(1 000);
    Send_Command(Command_AT_CNMI,14);//设置为中断方式接收短信,
    delay1(1 000);
}
  
```

GSM 其短信接收流程如图 9 所示。

短信发送程序的代码如下:

```

void Send_Message(void)
{
    Send_Command(Command_AT_CMGS,20);//发送到指定号码
}
  
```

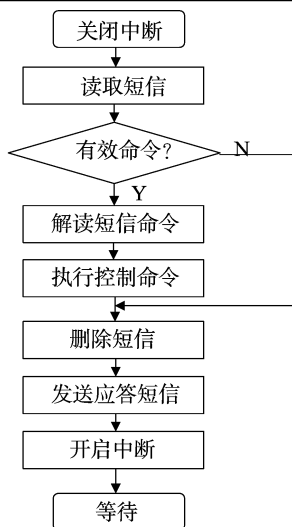


图9 短信接收程序流程

```

delay1(2 000); //等待回复输入符号
Send_Command(Command_Control,33);
delay1(1 000);
Send_Command(Command_AT_End,1); //发送短信结束符
delay1(100);
}

```

3.4 多点数据处理程序

为提高温室大棚环境监测数据的精度,实现对其精准数字控制。在温室大棚中根据温室面积的大小,按照数据传感器的采集范围,在其出入口处、大棚中部位置的空间中部以及顶部、大棚 1/3 位置处的空间中底部、大棚 2/3 位置处的空间中底部都布置了数据采集传感器。因此,须对同一物理量不同位置所采集的数据进行多点数据处理。本研究采用均值数据处理算法来获取精度更高的采集数据。

4 测试

系统设计完成后,通过手机进行了远程温室大棚的温度采集测试报警试验,设定温度上限为 32℃,温度下限为 25℃。实测结果见图 10,分析可知:

(1)12:36、15:36 测试的 2 次,收到了高温报警短信,而收到 2 条的原因是因为温度一直没有降下来,所以报警会一直持续。

(2)21:35 收到了 1 次高温报警,之后启动风机进行降温,当降到 25℃ 以下后,收到的短信显示高温报警解除。

5 结论

本研究所设计的远程无线高精度温室大棚环境监控系统

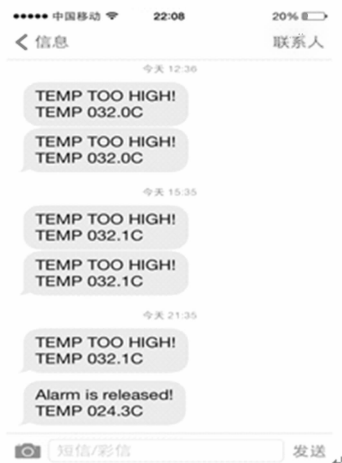


图10 短信温度报警测试效果

具有环境参数控制精度高、响应时间快、操作方便以及无线通信距离远等优点,特别是多级的组网结构以及多点的数据采集方法,增强了该系统的多通道控制能力以及数据采集的精度,为实现农业的集团化种植以及精准控制提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 黄伟锋,叶 祥. 温室环境多点数据嵌入式智能监测系统[J]. 农机化研究,2010,32(6):133-136.
- [2] 刘 方,栗震霄. 我国农业温室控制系统控制模式的研究[J]. 农机化研究,2008(10):223-226.
- [3] 曹 新,董 玮,谭一酉. 基于无线传感网络的智能温室大棚监控系统[J]. 电子设计应用,2012,38(2):84-87.
- [4] 宋蛰存,陈 宁,李迪飞. ZigBee 无线传感技术在森林火灾监测中的应用[J]. 自动化仪表,2011,32(4):50-52.
- [5] 许 明,闫 旻. 基于 ARM11 和 Win CE 的温室大棚嵌入式监控系统设计[J]. 仪表技术与传感器,2013(3):88-90.
- [6] 祝 敏. 基于 CAN 总线的大棚温湿度监控系统的设计[J]. 自动化与仪器仪表,2010(1):57-60.
- [7] 李世红,陈 斌,胡慧铺. 基于 CAN 总线和 GPRS 的温室大棚监控系统的设计[J]. 浙江农业学报,2014,26(4):1090-1094.
- [8] 廖建尚. 基于物联网的温室大棚环境监控系统设计方法[J]. 农业工程学报,2016,32(11):233-243.
- [9] 蒋 峰,赵 伟. ZigBee 技术在温室无线监测系统中的应用[J]. 农机化研究,2013,35(9):218-222.
- [10] 侯 波,徐小华,胡晓飞. 基于 LabVIEW 和 GSM 的温室大棚环境远程监控系统设计[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):393-395.
- [11] 韩 剑,莫德清. 基于 Android 与 GSM 的温室大棚远程监控系统[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):397-399.