

陈磊,许燕,李建军,等. 基于灰色预测的温室大棚智能控制系统研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):428-431.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.124

基于灰色预测的温室大棚智能控制系统研究

陈磊¹, 许燕^{1,2}, 李建军¹, 魏正英^{1,2}, 周建平^{1,2}

(1. 新疆大学, 新疆乌鲁木齐 830047; 2. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西西安 710054)

摘要:发展自动化与智能化的温室大棚智能控制系统,对温室大棚内的设备进行科学合理的设计,不但能节省人力物力,提高作物产量,而且也是应对水资源短缺和农业现代化的必然选择。通过采集温室大棚内的温度、湿度、光照、CO₂ 浓度等温室大棚数据,结合 ZigBee 和 GPRS 技术研发了一种远程智能控制系统,并设计了灰色预测策略,实现了无人值守的智能及远程监控。结果表明,该系统鲁棒性高,智能控制快,具有较高的应用推广价值。

关键词:ZigBee; GPRS; 灰色预测策略; 远程监控

中图分类号: S126; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2016)08-0428-04

高性能的温室大棚控制系统应适时适量地进行科学灌溉,用较少的水取得较高的产出效益,可缓解我国水资源不足,实现农业增产增效、农民增收^[1]。我国的温室大棚种植面积已居世界第一,但自动化、智能化程度与发达国家相比有很大的差距^[2]。现阶段新疆地区的温室灌溉控制很多采用手动控制,费时费力,浪费水资源^[3]。研制经济、稳定和高效的温室大棚智能控制系统对当地的农业发展有着重要的意义。本系统通过对温室大棚内的作物信息进行实时采集,结

合 ZigBee 和 GPRS 技术、农业专家知识库及模糊控制策略可实现智能化远程控制。

1 系统总体设计

系统主要由上位机服务器、ZigBee 无线通信网络、信息采集单元、命令执行单元、模糊灌溉控制策略、农业专家知识库、GPRS 数传模块、远程监控端组成,系统的示意图如图 1 所示。

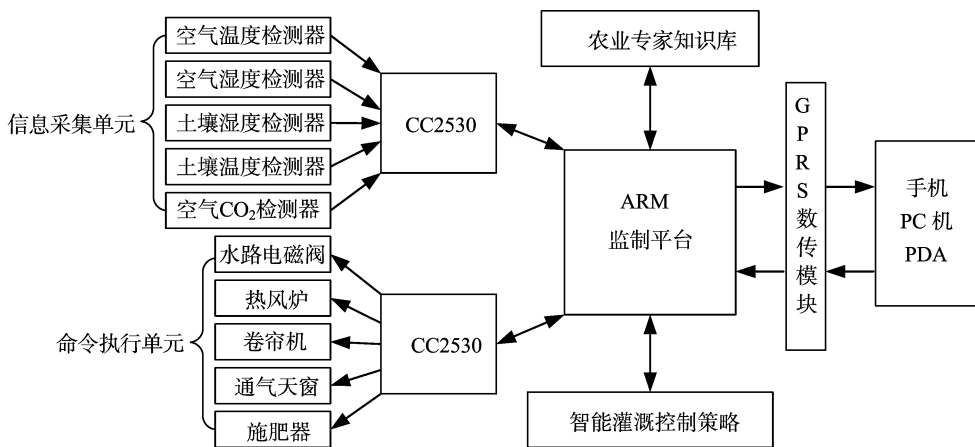


图1 温室大棚智能控制系统框架示意

系统采用传感器技术、信息处理技术和网络通信技术分别对 ZigBee 无线网络系统结构和智能灌溉控制系统监控平台进行了开发,监测节点借助部署于温室的各个检测器获农情信息,采用无线模块将数据包无线发送至系统监控平台,经过系统监控平台的数据处理、分析、智能诊断和灌溉决策,发

出相应的控制命令,实现对灌溉设备的远程监测和控制。用户也可借助于 GPRS 数传模块通过手机软件、电脑客户端等远程查看、控制现场设备。

2 系统硬件设计

本系统的硬件主要由 ARM11 中央控制模块、ZigBee 无线模块、GPRS 数传模块、土壤及空气温度采集模块、CO₂ 检测器等构成。

2.1 通信节点的结构设计

本系统采用 ZigBee 无线网络及 GPRS 数传模块构成无线通信系统。系统采用美国德州仪器生产的 CC2530 芯片,其内部是 1 个单周期的 8051 单片机兼容内核,采用标准的 QFN 封装,集微处理器、内存和无线电模块于一体,可编程输出功

收稿日期:2016-03-07

基金项目:新疆维吾尔自治区高新技术研究发展资助项目(编号:201413102)。

作者简介:陈磊(1990—),男,新疆库尔勒人,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统与农业灌溉。E-mail:leichenxj@sina.com。

通信作者:许燕,博士研究生,研究方向为嵌入式系统与物联网技术。E-mail:liuliuxu_z@163.com。

能典型值为 +4.5 dBm,通过直接连接天线实现 MCU 与其他无线设备之间的通信。内核电流最大损耗为 33.5 mA,外设电流最大损耗为 90 μ A,在睡眠模式下的损耗仅为 0.4 μ A,CC2530 不同运行模式的超低功耗性能,有利于延长供电电源的使用寿命^[4]。

ZigBee 无线网络数据传输模块实际上是一个微型的嵌入式系统,主要由监控节点、中央控制器所组成,各个节点设备的硬件配置如图 2、图 3 所示。监控节点对温室大棚内的传感器数据进行实时获取和信息的无线发送,并负责接收控制命令,实现对电磁阀和精量灌溉控制机等灌溉执行机构的控制;中央控制器是整个 ZigBee 无线网络的核心,负责组建和维护整个无线网络,监控节点加入 ZigBee 网络进行数据信息的汇总,发送灌溉控制命令。

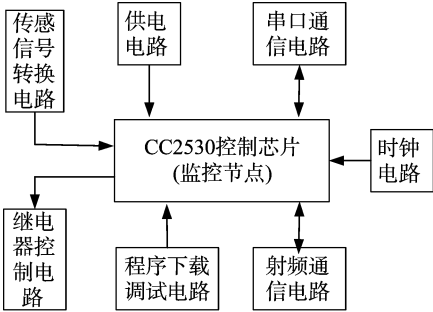


图2 监控节点硬件配置

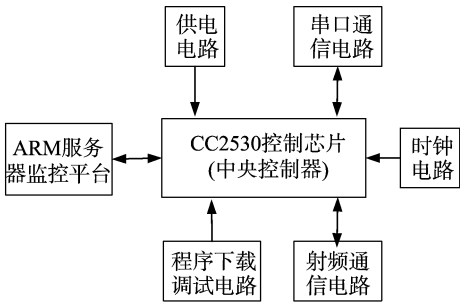


图3 中央控制器硬件配置

2.2 射频电路设计

ZigBee 射频通信电路主要用于数据的无线发送和接收,天线性能的好坏直接影响无线通信距离的远近^[5]。天线的辐射图、带宽、阻抗匹配、增益、尺寸大小和成本等参数都成为天线选型和设计的重要指标。目前,国内普遍的 ZigBee 开发板都采用的 2.4 GHz 的同轴电缆天线——非平衡天线,在 2.4 GHz(ISM)频段上,综合 PCB 天线、芯片和鞭状天线的各项性能和温室大棚环境因素,系统选用鞭状天线,该天线属于单端天线,又称不平衡天线,向各个方向的辐射性能近似相同。射频电路如图 4 所示。

2.3 土壤温湿度检测器

传感器的作用主要用于将大棚土壤的温度、湿度等环境参数的变化转化为电信号,经放大器放大、ADC 转换器转换,进而获取参数具体值。考虑到 CC2530 芯片自带的 A/D 转换器输入的模拟量是电压信号,参考电压为 3.3 V,而通用传感器输出的电信号是 4 ~ 20 mA 的电流信号,因此为实现 A/D 转换功能,在信号输入的前端配置了 150 Ω 排电阻将电流信

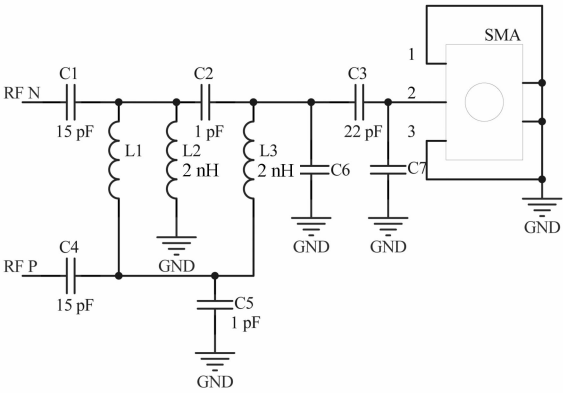


图4 射频电路原理

号转化为电压信号,使得输出的模拟电压都在 0 ~ 3.3 V 之内,这样不需外加专用的模数转换芯片,既节省了成本,又遵循了在射频通信电路中尽可能少布置模拟电路的原则^[6]。本系统采用 ADC0809 芯片可保证传感器每次测量误差尽可能小,程序中取 10 次传感器数据采样的平均值作为 1 次数据采集值。

3 服务器监控平台设计

系统采用飞凌公司的 ARM11 - OK6410 作为服务器控制平台,以嵌入式 Linux 作为操作系统,在源系统的基础上进行 U - boot 移植、内核裁剪、制作根文件系统、加载驱动文件等操作^[7],使系统在运行过程中具有较高的工作效率。系统的软件结构图如图 5 所示。

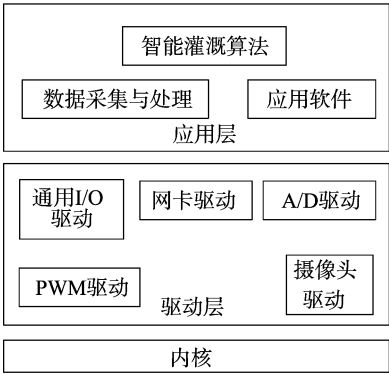


图5 系统服务器监控平台软件结构

3.1 通信协议设计

本系统采用奇趣科技公司的 QT 开发软件对 ARM 开发板上的应用程序进行图形化设计,通过 Eclipse 开发工具研制的手机 APP 软件与 ARM 上的网关以数据通信协议与现场服务器进行无线通讯。现场 ZigBee 节点与中央控制器进行通信的流程如图 6 所示。

本数据协议包括数据的格式、顺序和速率,数据传输的确认或拒收,差错检测,重传控制和询问等,能保证数据通信网中通信双方能有效、可靠通信。系统传输的数据量小和传输速率低,采用基本型通信控制协议^[8],针对具体的功能要求设计了表 1 的数据通信格式,便于对无线数据信息的校对和处理。

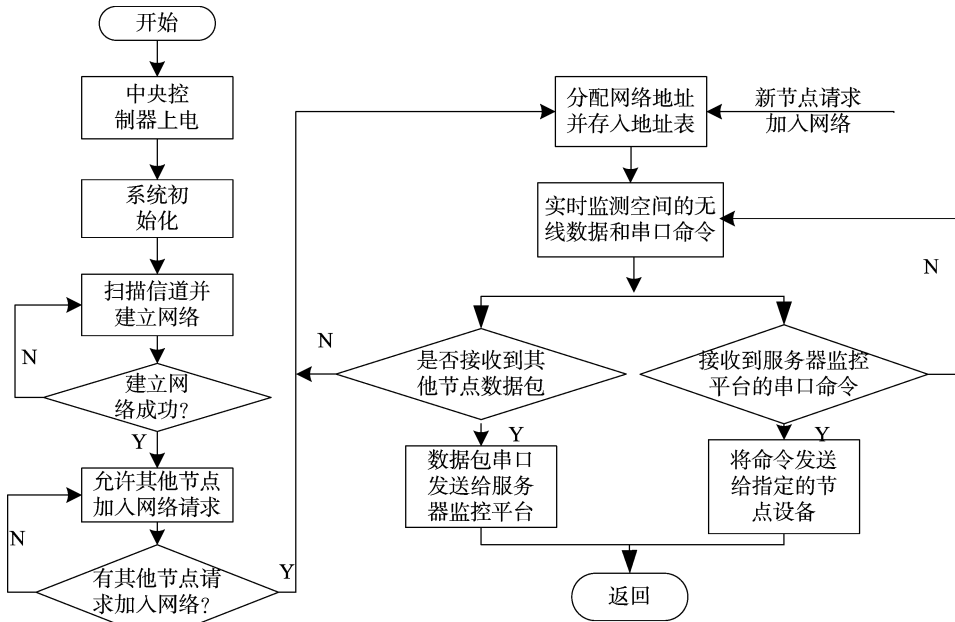


图6 中央控制器的控制流程

表 1 监控节点传感数据信息无线发送通信格式

名称	含义	字节数
帧头	&	1
命令类型	WSN	3
命令 ID	“R/C” + “XX”;	
R - 读 C - 控制	3	
命令状态	S - 成功	1
网络短地址	0x——	2
传感器数据	4 路传感数据,	
低位在前高位在后	8	
父节点地址	0x——	2
PANID	0x2888	2
帧尾	#	1

3.2 数据采集单元工作原理

系统在上电后,进行串口和定时器的初始化。根据采集的间隔时间,设置相应的定时器初值并启动定时器。进入定时器溢出中断后,开始 A/D 初始化,选择通道并启动 A/D 转换。等待转换完成后,将数据传给 CC2530,CC2530 通过多次采样求平均值来减小误差,保证数据的准确性,接着无线发送到中央控制器,其他通道亦是如此,直到所有通道完成 A/D 转换。全部转换完毕,再次设定初值,循环往复的采集数据发送给中央控制器。

3.3 灰色预测智能控制策略

灰色预测控制将灰色预测理论和控制理论相结合形成一种新型的控制方法,灰色预测控制通过已知的行为数据序列寻找系统的发展规律,进而根据规律对系统的未来行为进行预测,并按系统预测的未来行为确定相应的控制决策进行预控制。灰色预测控制只需要很少的系统原始信息参数数据,通过建立灰色预测模型来精确控制系统,本系统通过对土壤墒情及空气信息进行采集,通过灰色预测算法可使灌溉水得到有效利用,进而实现节水。

本系统通过采集土壤墒情信息,建立水开度的灰色模型,本模型是由 1 组灰色微分方程组成的动态模型,记为 $GM(n,$

$h)$,其中: n 为微分方程的阶数, h 为变量个数。系统采用灰色模型中应用最广泛的 $GM(1,1)$ 模型^[9],即控制系统的反馈信号是由管道水流量 q 为变量的一阶模型决定的,具体建模过程如下。

设由传感器检测到的当前水路流量数据行向量为:

$$q^{(0)} = [q^{(0)}(1), q^{(0)}(2), \dots, q^{(0)}(n)]; \quad (1)$$

对水路流量原始数据进行累加生成操作 (AGO), 得到 $1 + AGO$ 序列:

$$q^{(1)} = [q^{(1)}(1), q^{(1)}(2), \dots, q^{(1)}(n)]; \quad (2)$$

其中:

$$q^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k q^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n。 \quad (3)$$

对序列 $q^{(1)}$ 进行紧邻均值生成操作,得到的 $q^{(1)}$ 紧邻均值生成序列 $Q^{(1)}$:

$$Q^{(1)}(k) = 0.5[q^{(1)}(k) + q^{(1)}(k+1)], k = 2, 3, \dots, n; \quad (4)$$

可得 $GM(1,1)$ 的灰色微分方程:

$$q^{(0)}(k) + aQ^{(1)}(k) = u; \quad (5)$$

相应的白化方程为:

$$\frac{dq^{(1)}}{dt} + aq^{(1)}(t) = u。 \quad (6)$$

式中: a 为发展系数, u 为灰色作用量。

a 和 u 可用最小二乘法求得:

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n; \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Q^{(1)}(2) & 1 \\ -Q^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Q^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$Y_n = [q^{(0)}(2), q^{(0)}(3), \dots, q^{(0)}(n)]^T; \quad (9)$$

白化方程的解为:

$$q^{(1)}(t) = \left[q^{(1)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}。 \quad (10)$$

相应的灰色微分方程的时间响应序列为(k 时刻的值):

$$\hat{q}(k+1) = \left[q^{(1)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a}, k=1,2,\dots,n; \quad (11)$$

对序列 $\hat{q}^{(1)}$ (水流量的预测值)进行累减生成操作,即累加生成的逆运算,记为 AGO ,可得预测序列 $\hat{q}^{(0)}$:

$$\hat{q}^{(0)}(k+1) = \hat{q}^{(1)}(k+1) - \hat{q}^{(1)}(k), k=1,2,\dots,n; \quad (12)$$

$k+m$ 时刻的预测值:

$$\hat{q}^{(0)}(k+m) = \left[q^{(1)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-a(k+m+1)} (1 - e^a), k=1,2,\dots,n. \quad (13)$$

式中: m 为系统超前时间。

在灌溉控制系统中,为了能够更加精确地控制水路流量,往往需要预测很多步的水路流量信息。将式(13)中的 $k+m$ 时刻的水路流量预测值作为控制系统的比对信号,当模型的精度低时,减小预测值在系统控制回路中的作用,当模型的精度高时,增大预测值在系统控制回路中的作用,这样就可以减小预测所带来的误差对系统产生的影响,从而提高控制的精确性。

3.4 灰色预测智能控制工作原理

系统将采集到的信息通过无线网络发送至系统的监控平台中,系统的灰色预测智能控制策略将采集到的信息进行分解、处理、保存,并下发相关的控制命令,从而实现智能化控制。灰色预测智能控制器的工作流程如图 7 所示。

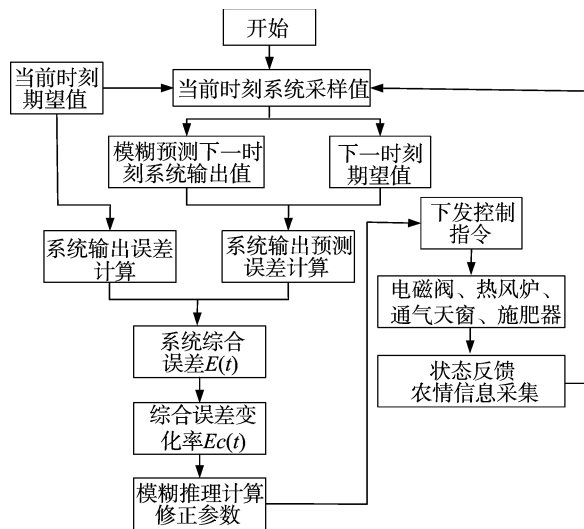


图7 灰色预测智能控制器工作流程

4 远程用户控制软件

由于温室大棚内具有较高温度、湿度,农民若高频率地对电磁阀进行现场控制,常年累月容易患关节炎等疾病。因此研制出借助 GSM 网络和 Android 系统的手机软件来控制现场设备有效地解决了上述难题。本系统在每块园区都安装有命令执行器,可对不同大棚内的水量、肥量电磁阀进行远程控制。同时 ARM 监控平台把实时采集的数据保存在 SD 卡中,

用户可实时查看 6 个月内的各温室大棚作物信息及电磁阀、通气天窗、热风炉、卷帘机、施肥器的控制信息(图 8)。



图8 远程用户手机客户端工作

5 结论

本研究针对新疆农业温室大棚灌溉自动化程度低、不能按需灌溉、水肥不能同时施加以及大棚内设备控制等问题,设计开发了灰色预测智能控制系统,研究了系统所需的数据采集模块、控制策略和控制方式、网络通信。然后以 ARM 和单片机为控制核心,开发了系统的软件、硬件,并对主要功能模块的实现方法进行了深入研究,最终确定了控制系统方案,并对系统功能进行了软件、硬件联合调试和现场测试,可以实现对水肥比例的精确控制,系统运行稳定、可靠,达到了预期的设计要求。

参考文献:

- [1] 张晓文,苏伯平. 设计农业精准灌溉监控系统研究与开发[J]. 中国农机化,2005(1):30-32.
- [2] 陈 辉. 基于 ZigBee 与 GPRS 的温室番茄远程智能灌溉系统的研究与实现[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [3] 苏 荟. 新疆农业高效节水灌溉技术选择研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [4] 张 京,杨启良,戈振扬,等. 温室环境参数无线传感器网络监测系统构建与 CC2530 传输特性分析[J]. 农业工程学报,2013,29(7):139-147.
- [5] 贾 林,张晓东,周太成. 微型多频段可折弯鞭状天线[J]. 通信与广播电视,2005(3):55-59.
- [6] 龚文超,吴猛猛. 基于 CC2530 的无线监控系统设计与实现[J]. 电子测量技术,2012,35(6):33-36,49.
- [7] Bakos J D. The Linux/ARM embedded platform[J]. Embedded Systems,2016:1-47.
- [8] Gislason D. ZigBee wireless networking[M]. Boston:Newnes,2008.
- [9] Wang M D, Kong B. Grey predictive theory and extension strategy - based excitation control for generator[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems,2016,79:188-195.