

基于 WSN 和 PLC 的远程温室监控系统设计

宋伟伟, 李明*, 杨艳娟 (西南林业大学, 云南昆明 650224)

摘要 针对传统温室环境监控存在的地域、距离限制以及监控系统布线冗余、数据时延性等问题, 设计基于无线传感器网络(WSN)和可编程控制器(PLC)的温室监控系统。首先以 CC2530 芯片为核心, 搭建了基于 ZigBee 的星型拓扑无线传感器网络。然后设计 WSN 与 PLC 的通信协议, 实现环境检测数据的实时动态传输。最后, 提出 PLC 现场控制的温湿度模糊控制策略, 以应对温室控制的强非线性。该系统传感网络组网灵活, 温室数据实时远程发布, 为物联网和 PLC 现场控制系统融合提供了一种有效途径。

关键词 温室; WSN; PLC; 远程监控

中图分类号 S 126 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)02-0246-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.02.072



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Design of Remote Greenhouse Monitoring System Based on WSN and PLC

SONG Wei-wei, LI Ming, YANG Yan-juan (Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

Abstract In order to solve the problems of traditional greenhouse environment monitoring, such as the area, distance limitation, wiring redundancy and data delay, the greenhouse monitoring system based on wireless sensor network and programmable controller was designed. First, the CC2530 chip was the core, and a star topology wireless sensor network based on ZigBee was built. Then the communication protocol between WSN and PLC was designed to realize the real-time dynamic transmission of environmental detection data. Finally, the fuzzy control strategy of temperature and humidity for PLC field control was proposed to deal with the strong nonlinearity of greenhouse control. The sensor network was flexible and the greenhouse data was released remotely in real time, which provides an effective way for the integration of the field control system of the internet of things and PLC.

Key words Greenhouse; WSN; PLC; Remote monitoring

智能温室是近年来逐步发展起来的一种资源节约型、环境友好型设施农业技术, 其保留了温室传统功用, 使培植作物不受或少受恶劣气候的影响, 促进高产稳产, 又极大地提高了温室管控的科学性, 减少劳力付出^[1]。PLC 作为一种可编程软性控制器, 改变程序即可改变工作逻辑, 凭借体积小、性能稳定、维护方便等优点被大量应用于智能温室监控系统中。许多实际应用中均以 PLC 作为温室系统的下位机控制器, 依据环境数据实时驱动执行机构来改善温室环境^[2-4]。陈立定等^[5]则在 PLC 系统中接入网关 GPRS 模块, 以实现 PLC 数据的远端发布。

WSN 即无线传感器网络是一种短距离分布式传感网络, 网络末梢连接用以感知环境的传感器并能彼此无线通信。其中 ZigBee 技术是 WSN 领域内较为流行成熟的技术^[6], 具有功耗低、容量大、可靠安全等特点。WSN 在智能家居^[7]、医疗护理、灾害监控等领域^[8]广泛应用, 目前, WSN 已逐渐被应用在温室监控, 主要用于环境数据采集, 使传感器具有较大的自由度和可移动性, 摆脱了有线连接的限制^[9-10]。笔者采用以微处理器为核心的计算机集散监控模式, 引入模糊控制策略和基于 ZigBee 的 WSN, 以搭载了人机交互界面的 PC 作为远端监控的上位机。该系统设计具有良好的适应性、稳定性和鲁棒性, 传感网络组网灵活, 解决了温室内布线复杂、线材腐蚀问题。温室数据时时远程发布, 打破了监控距离的限制, 为物联网和 PLC 现场控制系统融合提供了一种

有效途径。

1 温室监控系统设计整体架构

温室监控系统整体架构分为 3 层: 物理层、网络层、应用层(图 1)。

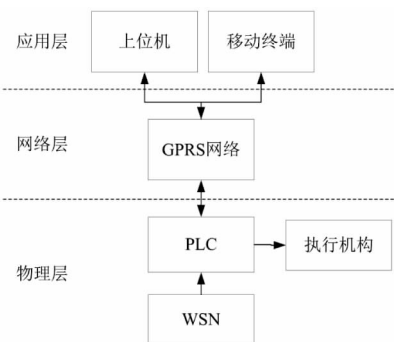


图 1 温室监控系统

Fig.1 The architecture of greenhouse monitoring system

物理层由 WSN、下位机主控制器 PLC 和执行机构组成。WSN 基于 ZigBee 技术将多个节点搭建成网络拓扑结构传输信息从而实现“范在”传感。PLC 依据环境数据驱动执行机构实时改善温室环境。网络层是通过 GPRS 模块提供的无线远程通信和互联网技术, 将采集到的环境因子和执行机构工作情况高速迅捷地传至远端。应用层的上位终端搭载人机交互界面, 移动终端可主动查询温室数据和接收自动报警, 从而实现对 PLC 工况和温室环境的全面监控。温室监控系统运作流程见图 2。

终端节点与协调器通过 ZigBee 网络无线双向通讯, 多组终端节点利用布置在其上的传感器周期性收集环境数据, 无线射频模块将数据通过 ZigBee 网络传输至协调器的射频天线。协调器作为 WSN 感知层的枢纽, 汇集信息后通过串口

基金项目 西南林业大学科技创新基金项目(K17010); 国家自然科学基金项目(31760182, 31100424)。

作者简介 宋伟伟(1994—), 男, 山东邹平人, 硕士研究生, 研究方向: 农业机械化。* 通信作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事人工智能与智能优化算法研究。

收稿日期 2018-10-13

打印方式输出数据与 PLC 进行串口通信,RS232/RS422 转化模块,将其转化为可被 PLC 识别的协议。

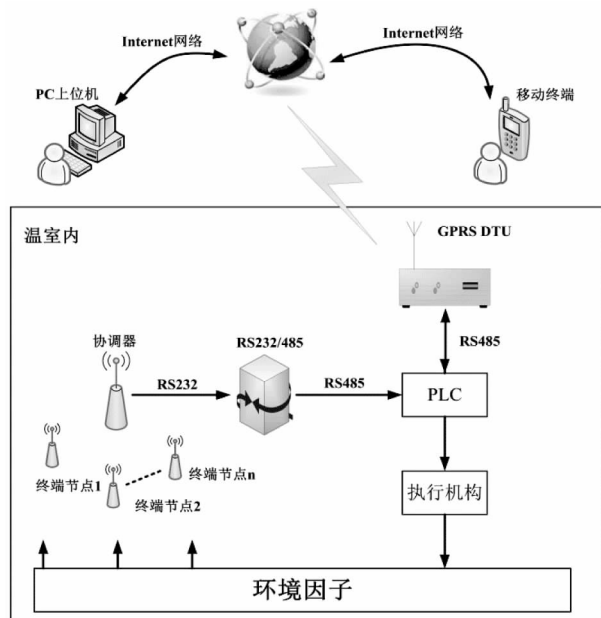


图 2 温室监控系统运作流程

Fig.2 Operation flow of greenhouse monitoring system

PLC 作为下位机的主控器,一方面依据模糊控制策略和预设的参数值驱动执行机构来改善温室环境,另一方面将收集的原始环境数据并加上执行机构的驱动情况通过串口发送至 GPRS 网关,并令其以 GPRS 模块以宽频移动数据的形式发送至搭载有组态软件的 PC 机监控端数据库。用户可通过上位机查看图形化实时信息、历史数据、执行器工作状态、故障报警并可以手动自动模式切换,允许用户介入实施补偿动作。用户可以在脱离上位机的情况下使用移动终端主动查询温室数据,从而保证远距离监控温室环境和机构工作情况的设计目的。

2 温室监控系统的硬件设计

硬件系统是温室监控系统的物理基础,支撑着温室系统的正常运作和功能实现。由于温室小气候的复杂多变,长期高温高湿的极端环境,都对监控硬件的精确性、可靠性、耐久性提出了更高的要求。

2.1 WSN 数据采集 WSN 采用基于 ZigBee 技术的短距离无线通信技术。其特点是短距离、低功耗、低复杂度、自组织、低传输速率,易于嵌入多种设备。ZigBee 的技术特性决定它是无线传感网络的最佳选择。ZigBee 无线通信核心部分采用 TI 公司推出的 SOC 芯片 CC2530,使用三端稳压芯片 SC1033 提供 3.3 V 供电电压。该芯片是真正的片上系统解决方案,仅需少许外围电路即可实现信号收发。

培植作物受诸多环境因子的影响。温湿度是作物生长过程中最为重要的影响因子,且在温室的密闭空间内二者还存在一定程度的相互耦合。光照是作物生长的必要条件,直接决定作物是否进行光合作用及进程的强弱。根据植物生理特性、温室气候特征并结合传感器成本、量程、精度等因素选用数字温湿度传感器 DHT11 和光强传感器 BH1750。

DHT11 以单总线输出连接至终端节点 CC2530 的 P0_7, BH1750 以 I2C 总线连接 P0_6、P0_5。

2.2 控制执行设备 控制设备选用可编程逻辑控制器 PLC。PLC 具有可靠性高、体积小、抗干扰能力强等优点,而且是一种软性系统,改变程序即可改变控制逻辑,以达到不同的温室环境效果,为该温室控制系统的普适性提供可能。

PLC 既要求能单独执行控制功能,又需具备一定的通讯能力以“上达下听”。西门子 S7-200 224XP CN 是一款业内流行的 PLC,具备两路 RS-485 通信接口,符合设计要求。该 PLC 还具备 14 入/10 出的开关量 I/O 口,及 2 入/1 出的模拟量 I/O,以及实时时钟,该 PLC 满足通信和数据采集需求,且具备足够的扩展性。

PLC 加装 RS232/RS485 转化模块,用以 232 协议和 485 协议的转化,将 ZigBee 协调器收集到的数据通过串口传至 PLC。PLC 的另一 RS-485 通讯端口可直接与专业的 GPRS 网关模块通讯,实现数据远端发布和接收远端用户指令。

2.3 网关通讯设备 广域网网关通讯模块采用广州巨控 PLC 专用 GPRS DTU。该模块通用分组无线业务,利用公用运营商 GPRS 网络为用户提供无线长距离数据传输功能。提供 RS485 接口,可直接连接串口设备,实现数据透明传输功能。GPRS DTU 模块采用工业级高性能嵌入式处理器,抗干扰强,传输稳定。支持各种复杂协议,如欧姆龙、三菱、西门子 PPI 等,多包并发采集,智能压缩技术,相对透传 GPRS 降低 50% 流量。

3 温室控制的软件设计

3.1 PLC 的模糊控制策略设计 温室控制具有滞后性、非线性、耦合等特点,为避免系统失控,引入模糊控制策略。模糊控制是以专家经验为指导,不需精准的数学模型,具有鲁棒性和适应性。

温室系统中较难控制的有温度和湿度 2 项环境因子,该系统以温度为例,将其作为被控对象,设计模糊控制器。系统设计的模糊控制器选取双输入单输出的方式,故称之为二维模糊控制器。确定温度偏差 e 和温度偏差变化率 e_c 作为输入变量,并确定 u 为控制器的输出变量,控制执行机构运作改善室内环境。温室监控系统模糊控制策略示意图 3。

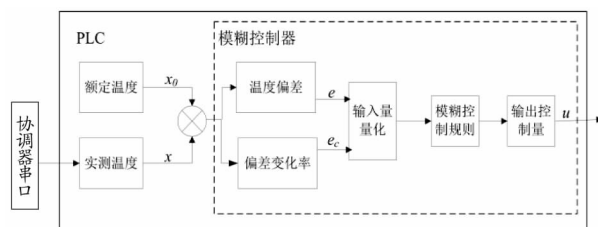


图 3 温室监控系统模糊控制示意

Fig.3 Fuzzy control of greenhouse monitoring

设定最适于作物生长的额定温度 x_0 , 传感器实测的温室温度为 x 。则温度偏差:

$$e = x - x_0;$$

设定当前时刻温度偏差 $e_{(i)}$ 和前一个采样周期温度偏差为 $e_{(i-1)}$, 则偏差变化率:

$$e_c = e_{(i)} - e_{(i-1)}$$

温度偏差 e 基本论域为 $[-4, 4]$, 偏差变化率 e_c 的基本论域为 $[-2, 2]$, 输出控制量 u 的基本论域为 $[-4, 4]$, 模糊子集为 $\{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ 。依据温室现场人员长期操作经验和有关温室温度数值控制的研究成果, 得到控制规则见表 1。

表 1 模糊规则控制
Table 1 The table of fuzzy rules

$e_c \backslash e$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PS	PS	PS	ZE
NS	PB	PS	PS	ZE	NS
ZE	PS	PS	ZE	NS	NS
PS	PS	ZE	NS	NS	NB
PB	ZE	NS	NS	NS	NB

该系统运用博图 V13 软件编写温度模糊控制程序, 湿度的模糊控制过程与温度类似, 在此不再赘述。温室内光照强度通过采集值与系统预设额定值相比较的形式来决策和判断, 进而驱动执行机构改善温室环境。

3.2 WSN 网络设计 WSN 网络使用 ZigBee 技术构建, 运行 ZigBee 协议栈 Z-Stack。Z-Stack 使用瑞典公司 IAR 开发的 IAR Embedded Workbench for MCS.51 作为其集成开发环境。用户通过协议栈调度程序, 使用 C 语言开发具体应用, 编译成功后, 使用 SmartRF Flash Programmer 下载到相应的 ZigBee 节点设备。WSN 网络的设计主要由网络建立、数据接收和数据处理 3 部分组成。

(1) 协调器作为 ZigBee 无线传感网络的枢纽, 起到建立和管理网络的功能。在系统初始化后, 协调器在 DEFAULT_CHANLIST_LIST 的里扫描默认信道集并选择噪声最小的通道作为所建的网络信道。采用 ZDAPP_CONFIG_PAN_ID 参数指定网络编号 PANID。在参数配置好后, 调用 ZDO_Start_Device 启动协调器建立网络。

终端节点通过函数 NLME_NetworkDiscoveryRequest() 扫描发现协调器所建网络, 扫描结果由 ZDO_NetworkDiscoveryConfirmCB() 函数返回并调用 NLME_OrphanJoinRequest() 函数加入网络。

(2) 传感节点将数据传输至协调器后通过协议栈的 OS-AI 将数据封装成一个消息并置于消息队列中。通过 AF_INCOMING_MSG_CMD 标识收到新数据的消息 ID。当需要从消息队列中得到消息时, 调用 MSGpk = (afIncomingMSG_PACKET_t *)osal_msg_receive(GeneriAPP_TaskID) 函数。

(3) 协调器需要通过串口与 PLC 进行交互, 因此协调器代码需要包括串口初始化和串口接受数据的处理。串口初始化使用 Init_UART(void) 函数, 初始化函数中 uartConfig.baudRate=Hal_UART_BR_9600, 将波特率设置为 9 600, PLC 需与其一致。

当协调器接收到终端节点无线数据 AF_INCOMING_MSG_CMD 时, 调用函数 GenericAPP_MessageMSGCB() 将接收到的数据通过 RS232 串口发送给 PLC。函数 GenericAPP_

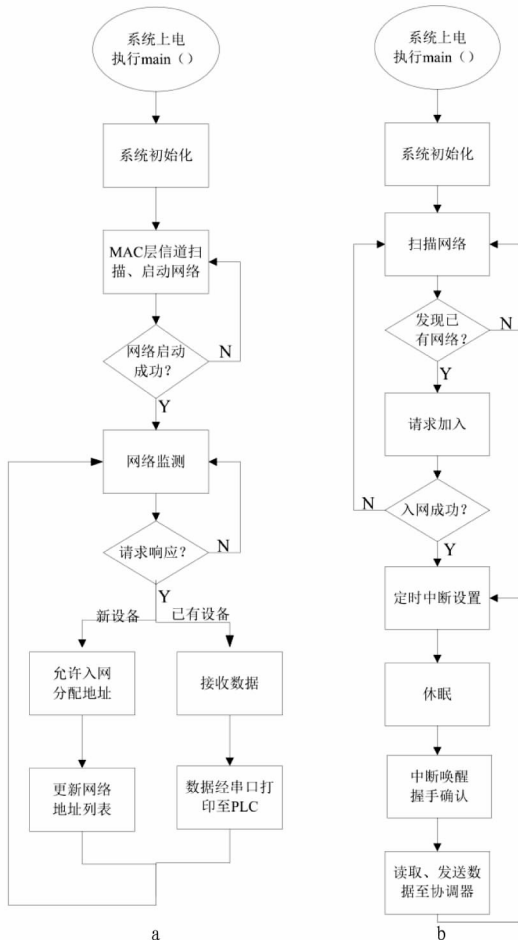
MessageMSGCB() 部分代码实现:

```

Unsigned char buffer[10];
Switch( pkt->clusterId)//判断簇 ID
{
case GENERICAPP_CLUSTERID://收到广播数据
Osai_memcpy( buffer, pkt->cmd.data, 10)//复制数据到缓冲区
HalUARWrite(0,buffer,10); //串口输出数据
Break;
}

```

ZigBee 节点在上电初始化后, 启动轮转查询式操作系统, 并执行自定义用户事件以实现相应功能, ZigBee 节点程序流程见图 4。



注: a. 协调器, b. 终端节点
Note: a. Coordinator, b. End-Device

图 4 ZigBee 节点程序流程

Fig.4 Program flow of the ZigBee node

WSN 与 PLC 连接通讯, 故需要对 PLC 进行通讯接口设计。PLCS7-200 系列 PLC 支持 PPI、MPI、Profibus、自由口通信等通信模式。由于其自由口通信方式灵活, 可开发出基于串口传输的接口。该设计将 PLC 的 Port 口设置为自由口通信方式, 并设置其波特率为 9 600 bit/s, 从而实现与协调器通信。使用发送指令 XMT 和接收指令 RCV 实现数据的发送和收发。自由口通信模式设置指令主要包括自由口接收发

送初始化、接收中断:

LD SM0.0

RCV VB100,0//接收中断

以及发送中断:

LD SM0.0

XMT VB150,0//发送中断

3.3 GPRS 网关驱动 GPRS DTU 遵循内嵌好的 TCP/IP 协议,通过提供的 RS485 接口与 PLC 通讯连接。对 GPRS DTU 的驱动程序进行简单编写即可实现数据发送接收。GPRS 通讯流程见图 5。

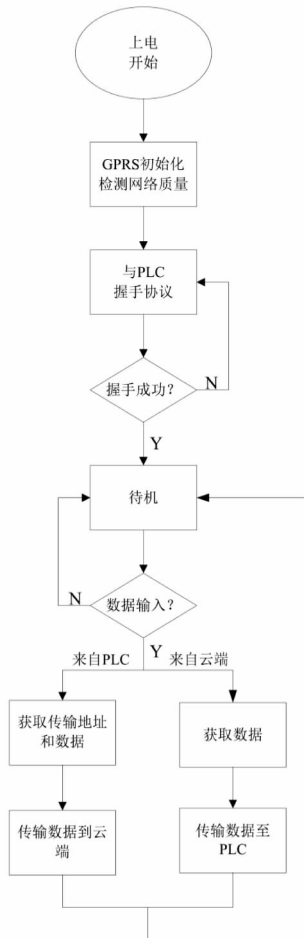


图 5 GPRS 通讯流程

Fig.5 GPRS communication flow

3.4 上位机设计 上位机搭载组态软件实现 PLC 的远程监控,可以修改 PLC 数据,查看温室环境数据、执行机构工作情况、历史数据报表等。该系统使用 WINCC 组态,支持 OPC,无需固定 IP 和任何端口映射。

上位机安装巨控 OPCSERVER,使用 OPC 管理器配置监控端,将网关变量更新到本地 OPC 服务器。使用 WINCC 组态软件开发工程,将组态软件的变量关联到对应的 OPC 寄存器,这样 WINCC 即可通过 OPC 接口从 OPCSERVER 访问远程 PLC 变量。

4 小结

该研究在智能温室的基础上,针对温室内多种环境因子数据实现采集,通过 PLC 预设策略实施智能调控,远端 PC 可通过组态界面监控实时数据。在温室监控系统设计中,采用了 2 种无线数据传输技术。在近端对室内环境因子的采集采用 ZigBee 技术搭建了 WSN,通过自组网的双向无线通讯,增大了移动自由度,摆脱了有线连接的限制,解决了线材易腐蚀的问题。在远端采用 GPRS DTU 模块将温室数据远程发布,打破了 PC 和温室一对一的监控。温室控制层引入模糊控制策略,使之具有较佳的鲁棒性、适应性和容错性。同时该系统使用的短距离无线感应和远距离无线传输方案相结合,契合物联网发展的大背景。

参考文献

- [1] 胡建.现代设施农业现状与发展趋势分析[J].农机化研究,2012(7):245-248.
- [2] 谢永辉.基于 PLC 的智能温室控制系统的设计[D].济南:山东大学,2008:31-33.
- [3] 王治军,李浙昆,韩子伟,等.基于 PLC 的温室智能控制系统研究开发[J].安徽农业科学,2015,43(23):354-356.
- [4] 韩贵黎,蔡宗慧.基于 PLC 和物联网感应的智能灌溉节水系统设计[J].农机化研究,2017(12):215-218,263.
- [5] 陈立定,冯景辉.基于 PLC 和 GPRS 的远程环境监测系统设计[J].自动化与仪表,2010(4):26-28,36.
- [6] 李文仲,段朝玉.ZigBee 无线网络技术入门与实战[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [7] 孟祥敏,侯德文.基于 Zigbee 技术的智能家居系统的研究[J].信息技术与信息化,2009(2):35-36.
- [8] 林瑶瑶.基于 ZigBee 的现场参数无线检测装置的研究与设计[D].大连:大连理工大学,2009.
- [9] 陈智伟,苏维均,于重重,等.基于 WSNs 的农业温室监控系统的设计[J].传感器与微系统,2011,30(7):82-84.
- [10] 付玉志.基于 ZigBee 技术的智慧农业实时采集和远程控制系统[D].杭州:浙江大学,2015.