

基于 WSN 和嵌入式系统的农业温室智能控制器设计*

肖 薇,王向东,李树江

(沈阳工业大学 信息科学与工程学院,辽宁 沈阳 110870)

摘 要: 为实现温室系统的智能控制,设计了一个智能温室环境监控系统。以 ARM9 嵌入式中央处理器为核心,将各类传感器采集来的数据通过无线传感器网络发送到中央处理器,采取层次分析智能控制策略,以作物的干物质含量最高为目标进行自动控制。通过自动、手动、GUI 人工干预等多种方式调整执行机构,从而闭环控制温室内小气候环境。经实验表明系统对温室环境控制有效。

关键词: 嵌入式系统; WSN; 智能控制

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)21-0065-04

Design of agriculture greenhouse intelligent controller based on WSN and embedded system

Xiao Wei, Wang Xiangdong, Li Shujiang

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to achieve the intelligent control of greenhouse system, this paper designed an intelligent greenhouse environment monitoring system. Take ARM9 embedded processor as the core, sent all kinds of data collected by sensor through the wireless sensor network (WSN) to central processor. Adopt analytic hierarchy process intelligent control strategy, make the highest crop dry matter content as a target for automatic control. By automatic, manual, GUI human intervention and other ways to adjust actuating mechanism, closed-cycle control the greenhouse microclimate environment thereby. The experiments show that the system of greenhouse environment control is effective.

Key words: embedded system; WSN; intelligent control

农业温室智能控制是指对人工建造的设施,通过调节和控制局部范围内环境因素,为作物生长提供最适宜的环境条件,使作物处于最佳生长状态,从而获得高产优质的农产品^[1]。温室大棚的应用,解决了长期困扰我国北方地区的冬季蔬菜供应问题。因此,加快发展现代农业,在工业化、城镇化深入发展中同步推进农业现代化,被作为我国“十二五”时期的一项重大任务^[2]。但目前我国大棚应用中普遍存在如下问题:(1)测量设备采用温湿度计人工读取,精度低、偶然误差大、占用人工成本高。(2)采集数据采取有线方式传输数据,布线困难、可重塑性小、影响植物生长。(3)基于工控机的控制器成本高不易普及,而基于单片机的控制器功能有限、结构单一,不能满足复

杂精准的控制策略实现^[3]。

本设计结合我国设施农业的实际需求,设计了以嵌入式为核心的基于 WSN 的温室环境监控系统。针对典型温室大棚具有大滞后、非线性、强耦合、分布参数不确定性、控制模型难以确定的特点,采用基于层次分析的智能温室环境控制策略,以最大产量为目标,结合不同作物不同生长时期最佳生长环境的专家经验,控制温室环境达到适合植物生长的最佳状态,为设施农业向着完全智能化、无人化发展提供了一种方案。

1 系统组成

温室环境监控系统是实现温室环境监控的软硬件平台,是一个集传感器技术、控制技术、通信技术、计算机技术、专家系统技术等于一体的高科技产品。硬件部分主要包括无线传感器数据采集模块、嵌入式中央处理器模块、执行器驱动模块三部分,如图 1 所示。

* 基金项目: 辽宁省教育厅项目(LS2010115); 沈阳市科技局项目(F11-256-4-00)

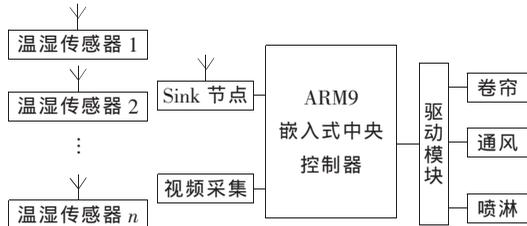


图1 温室环境监控系统硬件结构图

2 无线数据采集与传输模块设计

2.1 传感器数据采集模块

作物生长环境因素数据的采集是温室环境控制中的关键技术之一。传统传感器采集信号均采用分立器件进行数据信息采集,占用系统资源,对中央处理器要求较高。而带有中央处理器的传感器节点具有体积小、功耗低、可靠性高、性能好的优点,被越来越多地应用^[4]。中央处理器可以对采集来的信息进行数据融合以减少通信量,采用自主休眠、唤醒方式节能,同时具有数据处理及容错功能。节点上集成的无线射频收发模块可与SINK节点间进行无线通信。

本设计针对温室环境数据信息监控的特点,采用一种能够检测温湿度的无线智能传感器节点,如图2所示。采用Chipcon公司的CC2430芯片,包含了8051、CC2420无线电内核,SHT10温湿度数据采集传感器。软件选择TinyOS操作系统,高度集成、稳定、健壮性好。



图2 无线传感器节点硬件框图

另一方面,考虑到相对湿度受温度影响很大。为了补偿SHT10湿度传感器的非线性以获取准确数据,采用如下公式修正输出数值。湿度传感器相对湿度的温度补偿^[5]:

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (0.01 + 0.0128 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

其中 $RH_{linear} = -4 + 0.648 \cdot SO_{RH} + (-7.2 \times 10^{-4}) \cdot SO_{RH}^2$, $Temperature = -39.66 + 0.01 \cdot SO_T$ 。 SO_{RH} 和 SO_T 分别表示传感器相对湿度和温度的输出数值。

2.2 无线传感器网络

本设计根据模拟实物大棚的大小,以5个传感器节点为例,随机、均匀放置在待测区域中,每个节点均可采集处理传输数据信息。节点之间通过自组织方式快速形成一个感知网络,由多跳中继方式传输到汇聚节点。网络构成灵活,不受坏点影响,能量消耗少。采用基于IEEE802.15.4协议的ZigBee技术,该技术具有低功耗、简洁的网络结构用于近距离的无线网络连接。经测试,

节点单跳有效传输距离为20 m。

同时,为了延长传感器网络部署的有效时间,需要传感器节点具有尽可能长的生命周期^[6]。采用LEACH-NEW算法^[7],低功耗自适应聚类LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy),有效解决了原有LEACH算法中的能量消耗不均衡的问题,达到网络周期的最大化。在路由节点的选择中,不仅考虑簇首在每“轮”中当选的等概率,而且将节点的剩余能量和簇首在整个网络当中的分布的均匀性考虑进去。让能量大的节点和位置比较集中的节点有更大的概率当选为簇头,簇头节点收集其子节点传送过来的数据后,选择通过多跳的方式发送到基站。同时节点具有自主休眠功能,实现节能目的。

3 嵌入式中央控制器

3.1 嵌入式中央控制器软件模块设计

软件总体设计目标是目标明确、主次分明,具有模块化的结构。嵌入式中央控制器软件主要由人机显示界面、数据库、通信模块、控制模块构成。适合自动化基础不同、作物对环境精度要求不同以及对能源消耗标准不同的各类大棚中应用。嵌入式中央控制器软件结构如图3所示。

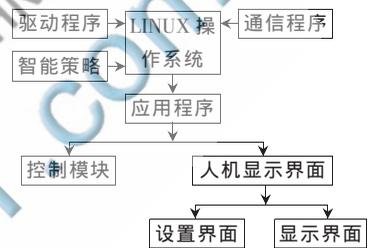


图3 嵌入式中央控制器软件结构

采用嵌入式S3C2440芯片,基于ARM9开发平台,剪裁移植Linux操作系统,应用Qt语言,实现对温室多因子环境参数的采集、融合、存储及处理功能,并实现视频监控。嵌入式中央控制器实现功能如图4所示。

3.2 智能控制策略

温室能否在现有设备基础上发挥其最大生产潜能,主要取决于控制系统设计。本设计以作物最大产量为目标,设计了基于温室内作物生长所处阶段的智能控制策略。

(1) 数据融合

实际应用中,温室大棚环境复杂,传感器随机、不均匀分布在整個被测环境中。各个传感器采集到的数据存在差异,因此需要对无线传感器采集到的数据进行数据融合,给用户一个有效值,指导用户进行操作。

通过数据融合对采集来的信息进行处理:在大棚温室中有 n 个温度无线传感器,在 t 时刻各无线传感器采集到的温室数据为 t_1, t_2, \dots, t_n 。首先对采集到的数据进行消除疏失数据,并把数据进行排序,得到一致性数据列 $t_e \dots t_p$ 。

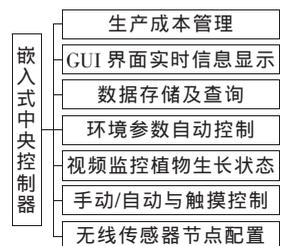


图4 温室监控主要功能模块

技术与方法 Technique and Method

则应用加权平均法计算得到室内温度的平均值:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=e}^p (t_i \times w_i)}{\sum_{i=e}^p w_i}$$

在实际应用过程中 w_i 通常选为 $1/(p-e)$, 所以上式

简化为: $\bar{T} = \sum_{i=e}^p t_i \times \frac{1}{p-e}$ 。加权平均法算法简单, 易于实现。同时占用系统资源也较小。

(2) 最适宜作物生长的环境条件

作物生长的不同时期, 起主要作用的环境因子各不相同。一般情况下, 在作物的幼苗期, 温度占主导地位。生长期则是湿度起主要作用, 而在采收期则要适当降低湿度, 否则会影响口感和耐储性。本设计以蓝莓和番茄为例, 通过查阅相关农业专家对不同种作物不同生长时期需要的温湿度值, 以最大作物产量为目标, 确定不同生长阶段作物生长最佳温湿度等环境参数, 为促进植物最优生长提供数据^[8]。采用积温差温控制策略, 即作物生长发育与某段时间平均累积温度有关, 干物质的积累与日较差的高低有关。如表 1 所示。

表 1 蓝莓、番茄不同生长时期温湿度值

作物种类		幼苗期	生长期	采收期
蓝莓	温度/°C	26-29	25-28	25-28
	湿度/%	60-80	50-80	30-60
番茄	温度/°C	28-30	25-28	25-28
	湿度/%	50-80	20-70	20-60

(3) 基于层次分析法的智能控制策略

温室环境控制策略决定着温室环境控制效果优劣程度。农业温室大棚是一个非线性、强耦合、具有大滞后和分布参数特性的复杂系统。本设计采用基于模糊层次分析的智能控制策略, 在控制精度、响应速度、抗干扰等方面取得了很大提高, 同时算法简单、实施方便。

① 建立层次结构模型

根据实际生产需要, 本设计以作物最大产量为目标, 以对作物生长影响较大的温度、湿度为准则层, 根据现有的执行设备, 确定方案层包括卷帘、通风、喷淋三种执行措施。如图 5 所示。



图 5 产量为目标的层次结构分析模型

② 构成对比比较阵

以最高层和中间层的每一个元素为准则, 构造与其有关的下一层元素的属性判断矩阵, 分别得到温度、湿度对产量的判断矩阵以及卷帘、通风、喷淋对温湿度的判断矩阵。如表 2、表 3 所示。

表 2 温度、湿度对产量的判断矩阵

	温度	湿度
温度	1	2
湿度	1/2	1

表 3 卷帘、通风、喷淋对温湿度判断矩阵

	卷帘	通风	喷淋
卷帘	1	4	1/5
通风	1/4	1	1/5
喷淋	5	5	1

③ 计算每层间相对权向量

根据温湿度对作物最大产量影响的重要程度, 经过层次分析计算得到温湿度对产量的相对权向量 $R^{(2-1)}$ 。同时, 计算得到卷帘、通风、喷淋各措施对温度、湿度的相对权向量 $R^{(3-2)}$ 。

$$R^{(2-1)} = \begin{bmatrix} 0.667 \\ 0.333 \end{bmatrix}, R^{(3-2)} = \begin{bmatrix} 0.28 & 0 \\ 0.07 & 0.111 \\ 0.65 & 0.889 \end{bmatrix}$$

④ 计算组合相对权向量

对上面的两个判断矩阵计算组合权向量, 并作一致性检验。各措施对产量的决策矢量(评价结果)为:

$$R^{(3-1)} = R^{(3-2)} \times R^{(2-1)} = \begin{bmatrix} 0.1868 \\ 0.0837 \\ 0.7296 \end{bmatrix}$$

由此得到各措施对产量的评价表, 如表 4 所示。

表 4 控制设备评价表

控制设备	卷帘	通风	喷淋
评价系数	0.1868	0.0837	0.7296

当控制措施对控制效果存在矛盾时, 决定优先开启一个执行设备, 待其中一个指标达到目标值附近时, 再执行另一个机构。将不适宜环境参数对作物的负面影响降到最小, 从而达到提高产量的目的。表 5 给出部分温室环境条件下的控制策略。

表 5 部分温室环境下的控制策略

温度	湿度	控制策略
正大	正大	卷帘关、通风开
正大	中	卷帘关、通风开、喷淋开
正大	负大	卷帘关、喷淋开
正中	正大	卷帘关、通风开
正中	中	卷帘关、通风开、喷淋开
负大	负大	卷帘开、喷淋开

4 实验结果与分析

本设计具有历史数据查询、生产成本管理、数据导出、施水施肥量计算等功能。采用自行制作的模拟温室大棚对控制器测量精度及控制算法控制精度、响应速度等进行实际测量, 并将控制器显示数据与美国 TSI386 环境多功能表进行了精度对比测试, 控制的温度误差在 0.5°C 以内, 相对湿度误差范围在 5% 以内, 满足温室环境控制精度需求。经测试, 所设计的温室环境监控系统稳定性好、精度高、功耗低、响应迅速, 能够按照专家预先设定温湿度值控制大棚内环境参数。图 6 所示为模拟



图6 模拟大棚及控制器实物图

大棚及控制器实物图。

本设计提出了一种基于无线传感器网络的智能温室控制器设计方案,具有成本低、适应性强、响应速度快、控制精度高的特点。针对工程化设计,可直接与实际生产中的大棚实现无缝控制对接,适合自动化基础不同的农业温室大棚中应用。本设计可节约劳动成本,降低能耗,对提高温室环境参数控制精度及经济效益,具有一定的实际应用价值。

参考文献

- [1] 秦国成,秦贵,张艳红.设施农业装备技术现状及发展趋势[J].农业工程,2012(3):8-11.
- [2] 李中华,王国占,齐飞.我国设施农业发展现状及发展思路[J].中国农机化,2012(1):7-10.
- [3] 吴小伟,史志中,钟志堂,等.国内温室环境在线控制系

统的研究进展[J].农机化研究,2013(4):1-7.

- [4] 董永胜.基于无线传感器网络的温室环境监控系统研究[J].微型机与应用,2010,29(9):59-62.
- [5] 吴玉康,邓世建,袁刚强,等.SHT11 数字式温湿度传感器的应用[J].工矿自动化,2010(4):99-101.
- [6] LIN J S. Proceedings of 2008 11th IEEE international conference on communication technology [C]. IEEE Beijing Section, Hangzhou Dianzi University, 2008.
- [7] 范薇薇,王向东.基于嵌入式温室环境控制系统的研究[C].中国通信学会,2009.
- [8] 李丽敏.中国蓝莓产业发展研究[D].吉林:吉林农业大学,2011.

(收稿日期:2013-08-26)

作者简介:

肖薇,女,1989年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式控制系统应用。

王向东,男,1959年生,博士,教授,主要研究方向:非线性系统和复杂系统控制、无线传感器网络、嵌入式控制系统应用。

李树江,男,1966年生,博士,教授,主要研究方向:智能控制理论与应用、嵌入式控制系统应用。