

温室环境信息智能化管理研究进展*

李萍萍¹ 王纪章²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037;

2. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 随着我国温室园艺业和信息技术的迅速发展, 现代信息技术越来越多地应用于温室环境管理中, 促进了温室环境智能化管理技术的发展。本文针对面向物联网的温室环境信息智能化管理需求, 分别从温室环境信息获取、信息处理与决策服务 3 个方面对国内外研究进展进行了系统的分析和阐述, 并提出了今后在温室环境信息智能化管理方面迫切需要开展的工作。

关键词: 温室 环境 智能化管理 物联网

中图分类号: S625.5⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0236-08

引言

近年来我国设施园艺得到了快速发展, 截至 2012 年, 面积已达到了 362 万 hm^2 , 占世界的 89.3%; 其中代表设施园艺现代化水平的玻璃温室面积接近 9 000 hm^2 , 占世界玻璃温室面积的 22.5%^[1]。与此同时, 随着信息技术的发展, 传感器技术、无线网络、信息处理、决策服务等智能化技术越来越多地应用于温室管理中, 尤其是近年来物联网技术的发展和应用, 更加促进了温室智能化管理技术的发展^[2-3]。本文针对面向物联网的温室环境信息智能化管理方面的发展过程和现状, 分别从温室环境信息获取、信息处理与决策服务 3 个方面对国内外研究进展进行分析和阐述。

1 温室环境信息获取技术

温室环境信息主要包括温室内温、光、水、气等小气候信息, 土壤温度、湿度、EC 值、pH 值等环境信息和室外温、光、水、气、风、雪等气象信息。在温室环境信息获取方法方面, 主要是通过传感器获取相应的环境信息, 并通过变送和传输装置实现。其中传输方法分为有线和无线传输方式。

1.1 基于有线传输方式的温室环境信息获取

在有线传输方面, 主要是利用传感器进行环境数据采集, 采用单片机、工业控制计算机或 PLC 等信息处理单元实现数据的处理和输出, 实现温

室环境的控制。国外从 20 世纪 80 年代起、国内从 90 年代起开展这方面的工作。如 Lefas 等^[4]采用微计算机控制器实现温室环境的测控, 采用 CMOS 元件降低系统的功耗, 系统可采集温室内温度、湿度和 CO_2 浓度, 并可实现通风、灌溉、加热和增施 CO_2 等控制。毛罕平等^[5]基于工业控制计算机开发了温室环境自动控制系统, 系统为多变量输入输出控制系统, 可实现降温、补光、控湿、增施 CO_2 和加温的自动控制。谈朕晔等^[6]针对温室环境控制对实时响应和实时处理能力都有较高的要求, 提出了基于实时操作系统 RTOS 的嵌入式单片机系统作为其环境调控的底层控制器实现温室环境控制, 实际运行表明该系统具有较高的稳定性和可靠性。李志伟等^[7]采用 8031 单片微型计算机, 实现了对日光温室综合环境的动态优化平衡调控。Dogra 等^[8]采用具有低功耗和成本效益的 8 位 RISC 微控制器, 设计了温室遮阳网嵌入式控制系统, 系统根据光照传感器所采集的光照强度和光照的设定值, 实现遮阳网的展开和收起自动控制。谢守勇等^[9]以可编程控制器 PLC 为核心实现温室育苗灌溉控制, 通过实际温室育苗调试, 能够较好地满足使用要求。此类信息获取方式主要是针对单个温室的控制, 具有成本低廉、设备简单的特点, 但是由于系统的所有信息采集和处理单元均集中在核心处理器上, 当核心计算单元出现故障时, 整个系统将瘫痪, 系统稳定性不高。

收稿日期: 2014-01-26 修回日期: 2014-02-27

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD08B04)、江苏省产学研联合创新资金资助项目(BY2013065-07)和江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 李萍萍, 教授, 博士生导师, 主要从事设施农业工程技术研究, E-mail: lipingping@uj.s.edu.cn

随着大规模温室群的发展,分布式控制和总线控制方式被引入到温室控制中,每个温室采用单片机为处理单元实现温室信息的获取,通过总线将信息传输至中央控制计算机,实现温室群的集中控制。如朱伟兴等^[10]设计了以计算机为上位机、MCS-51单片机为下位机的智能温室群集散控制系统,系统操作方便,性能价格比高,为建立国产温室群生产基地,实现高效、规模生产提供了技术措施。任振辉等^[11]以89C52单片机为核心,完成环境参数的采集、存储、模糊处理等,计算机由RS232接口与测量仪通讯,实现对温室环境参数数据的显示、存储、查询和统计等。董乔雪等^[12]基于对同一地区的多个温室进行群控管理的方法,由一台计算主机与多个微电脑控制装置组成主从式分布结构,采用总线式RS-485通信网络和逐级验证的通信算法进行数据传输,通过实时读取和历史存储温室内环境参数值和报警信息来监测温室的运行情况。祁睿等^[13]设计了基于CAN总线的温室监控系统,该系统的通讯接口模块布置在温室现场,调试方便,CAN总线基于报文编码,设备具有可互换性,系统的扩充性好。左志宇等^[14]针对传统温室环境控制系统工作人员需亲临现场操作的问题,提出了以Internet为信息交换平台的温室环境控制系统,系统操作简便,性价比高,易于推广。针对温室需要远程长期监控的要求,Stipanicev等^[15]采用嵌入式Web服务器和1-Wire协议开发了温室远程嵌入式监控系统,实现了传感器和执行机构的远程测控。针对大型温室群所开发的分布式、集散式和网络式的温室环境获取与处理系统运行稳定,独立性强,并可实现远程测控。但是由于此类系统需要在每个温室内设置信息获取单元,导致其成本增加;同时由于缺乏统一的通讯协议,所以系统的通用性和实用性受到影响。

1.2 基于无线传感器网络的温室环境信息获取

近年来国内外在温室环境无线测控技术方面开展了相关研究工作,主要是采用2G、3G网络通信技术、Zigbee、蓝牙和Wi-Fi等方式进行信息的传输。其中2G、3G网络通信技术主要适用于远距离信息传输,Zigbee、蓝牙和Wi-Fi技术用于短距离信息传输领域^[16-17]。

2G、3G网络通信技术在温室环境测控应用方面,主要是采用GPRS网络、GSM短消息和3G网络进行信息采集和控制,如句荣辉等^[18]开发的基于短信息的温室生态健康呼叫系统,孙忠富等^[19]基于GPRS和WEB开发了温室环境信息采集系统,王斌等^[20]开发的基于GPRS技术日光温室综合环境集散控制系统等。在短距离传输技术方面,韩华峰

等^[21]、苗连强等^[22]、郭文川等^[23]、周建民等^[24]开发了基于Zigbee的温室环境测控系统。Park等^[25-26]采用Zigbee开发了温室内作物叶片温湿度、环境信息和露点测控系统,为温室病虫害监测和预警提供依据。张荣标等^[27]采用IEEE 802.1.1514通信方式开发了温室无线监控系统。李莉等^[28]开发了基于蓝牙的温室环境测控系统。马增炜等^[29]开发了基于Wi-Fi的智能温室监控系统。

2G和3G网络进行远程测控时运行成本较高,近年来,为了实现温室环境的远程测控,同时降低成本,研究者将远程距离传输和短距离传输结合,采用感知-汇聚-服务3层技术体系,建立温室环境远程测控系统。张西良等^[30]开发了基于GSM的室内无线传感器网络簇头节点用于与Zigbee网络连接实现远程测控。Li等^[31]采用Zigbee进行温室环境信息采集,采用GPRS实现数据转发,同时实现了基于GSM的数据查询。李莉等^[32]采用Zigbee结合GPRS开发了温室环境远程测控系统。盛平等^[33]开发了基于Zigbee/3G的温室环境远程测控系统。

基于无线网络的温室环境测控系统可以实现温室的环境远程测控,但是由于温室作物生长的环境复杂,无线网络的通信性能、节点及传感器的稳定性都受到较大的影响。另外,无线传感器节点的成本和功耗也是制约温室环境无线测控系统实用化的重要因素。

2 温室环境信息处理

在大规模温室环境监测中,由于空间大,温室内温度、湿度等环境变化受到不同参数的影响,为提高监测的准确性和稳定性,大多通过多传感器信息的融合对传感器监测结果进行处理。如蔡振江等^[34]提出对采集到传感器数据采用分布图法剔除疏失误差,采用基于均值的分批估计的融合方法对采集的数据进行处理,该融合方法提高了温度采集的精度,同时有效地消除了由于传感器失效引起的误差。张西军等^[35]提出了一种基于PSO的BP网络数据融合算法对温室多传感器检测数据进行融合,结果表明该算法能够获得温室准确有效的信息,提高了温室测控的有效性与准确性。程曼等^[36]提出了在多传感器采集数据基础上,利用最小距离聚类法确定各传感器融合的次序的数据融合方法,这种方法可以提高温室环境监测的精确度,使温室环境的温度、湿度、光照等主要参数达到理想的条件。张韩飞等^[37]采用模糊C均值(FCM)聚类算法对温室湿度进行数据融合,结果表明FCM算法优于平均值算法,提高了检测的准确性。杨帆等^[38]设计了一种

以 ARM 嵌入式微处理器为硬件平台,采用 D-S 证据理论和 BP 神经网络相结合算法的多传感器信息融合的温室环境测控系统。熊迎军等^[39]提出在节点采用三次指数平滑处理,在汇聚点采用支持度融合的温室无线传感器网络系统实时数据融合算法。

为实现温室测控系统的稳定可靠运行,利用所获取的温室环境信息和智能故障诊断方法对温室测控系统进行管理。Beulah 等^[40]对温室中传感器的数据故障,采用柔性人工智能方法和实时信号处理方法实现传感器故障的检测和隔离。Linker 等^[41]利用基于混合物理/神经网络模型的温室环境模型建立了传感器和执行机构的故障检测和识别模型。左志宇等^[42]通过分析温室环境控制系统中执行机构、传感器、控制柜、控制软件的主要故障,根据故障可能对系统造成的损失将故障分为 4 个级别,并建立了故障诊断规则,实现整个温室环境测控系统的智能故障诊断。林东亮等^[43]利用语义网络描述温室控制系统测量与执行层的设备安全规程、测量量的变化特征,利用语义网络知识库实现不同配置的温室控制系统故障诊断。张荣标等^[44]针对温室无线传感器网络所采集数据在时间和空间上具有很强的相关性,通过对时空序列样本信息的预处理,分别建立了时间和空间故障诊断数学模型,实现温室 WSN 综合故障诊断。王俊等^[45]对传感器样本数据进行时序分析,提取模型参数作为特征向量,并以此对遗传 BP 神经网络进行网络训练,实现传感器节点故障的诊断。

在感知信息管理方面,为实现无线网络资源的高效管理,Fukatsu 等^[46-48]提出采用 Agent 技术实现无线网络分布式节点与 Internet 的连接,并开发了基于 WEB 的农田信息监控管理系统。张西良等^[49]提出了无线传感器网络 q 分类融合算法,以提高无线网络系统的性能。吴祎娴等^[50]针对目前温室无线测控系统中未考虑节点能耗以及网络生命期的问题,提出一种基于 Agent 的温室无线传感网络分簇管理模型。韩安太等^[51]采用事件驱动机制来降低反馈调度策略设计难度和资源消耗,以提高温室无线传感器网络的网络性能。熊迎军等^[52]针对物联网型智能温室的信息管理要求,基于客户端/服务器(C/S)和服务器/客户端(B/S)混合架构设计了智能温室信息管理系统,系统由现场管理、数据库和远程管理 3 个子系统组成。通过信息处理技术的研究,不仅提高了温室环境信息的精度和稳定性,也提高了信息管理系统本身的性能。

3 温室环境调控决策服务

3.1 基于模型的温室环境参数优化

目前温室环境优化控制主要是依据植物生长最适宜条件或者依据环境控制成本最低来优化。在依据作物生长适宜性来确定控制参数方面,国外较早地开展了研究工作。Marsh 等^[53]通过建立白天温室内空气温度与水培莴苣生长所处日照阶段、生长期、价格等的函数关系,得到白天所需的最佳控制温度。Seginer 等^[54]在建立作物生长数学模型基础上,进行数值寻优,得到不同温光水平下最优的 CO₂施肥量。Aslyng 等^[55]利用作物的光辐射吸收、叶片的光合作用和呼吸作用的预测模型,根据自然光照来控制温室内的温度。在依据环境控制成本最低确定调控参数的研究方面,主要采用积温控制方法。Lacroix 等^[56]开发了基于积温的温室模拟控制器,经对不同温度设定模式的节能效应模拟,可以降低 7% 的温室能耗。Rijsdijk 等^[57]以玫瑰、甜椒为实验对象,采用 24 h 积温控制方式,结果表明每年可节约 8% ~ 18% 的能源。Körner 等^[58-60]的研究结果表明,利用积温的方法可以比常规温度的调控方法降低 9% 的能耗。Blasco 等^[61]建立了温室环境的非线性预测控制模型,利用遗传算法对参数优化,可以达到降低能源和水的消耗。在上述两种优化调控方法中,由于基于生长最优往往不是经济效益最好,而基于成本最低则不能保证发挥温室增产潜力,所以近年来又开展了将作物生长和环境调控成本相结合的控制方法研究。Pucheta 等^[62]根据实验建立的番茄秧苗生长模型,结合环境调控成本和作物生长的收益模型,进行环境的连续控制。Körner 等^[63]根据积温和差温(DIF)控制原理实现温室环境优化调控。

国内近年来在温室参数的动态优化设定方面也进行了一些研究。李志伟等^[7]将作物 1 d 中生长所需要的温度变化划分为若干个阶段,以此实现温度的动态优化调控。邓璐娟等^[64]在白天使植物获得最大的光合速率、夜间在满足植物生长和积温要求的前提下,使温室运行能耗最小为目标,对温室内温度的设定值进行优化。戴剑锋等^[65]以温室作物生长模拟模型和温室加温能耗预测模型为基础,以达到能耗利用率和生物量最大为目标进行冬季温室加温温度的优化控制量。王纪章等^[66]提出利用作物的光合作用模型,建立基于光照的温室环境调控优化技术,系统比设定值控制节省成本。伍德林等^[67]提出了基于经济最优的温室环境优化调控技术,将温室作物整个生长季节分为营养生长阶段和生殖生长阶段。在营养生长阶段,以温度优先为控制策略,

在作物生殖生长阶段,以温室产出与投入比最大为温室环境控制目标进行决策,该控制方法既保证了作物正常生长的需要,又兼顾了经济成本。朱丙坤等^[68]提出了基于节能偏好的冲突多目标相容算法的温室环境优化控制方法,实现温室的节能调控。

3.2 温室环境管理决策支持系统

为实现温室环境的智能化管理,在基于模型的温室环境调控决策支持系统研究方面也取得了一定的进展。Clarke等^[69]建立了用于温室黄瓜和番茄栽培管理的决策支持系统。孙忠富等^[70]建立了温室番茄生产实时在线辅助决策支持系统。李萍萍等^[71]建立温室黄瓜栽培管理智能决策支持系统,将温室作物模型、环境模型和优化调控模型结合,实现温室的智能决策调控。王纪章等^[72]构建了基于作物生长和环境控制成本的温室环境调控决策支持系统。Hu等^[73]将温室环境信息采集系统与温室环境决策模型相结合,开发了温室环境管理专家系统。Körner等^[63]开发了温室动态控制决策支持系统,系统能够根据节省能耗的要求选择合理的温室环境调控策略。王成等^[74]基于数据仓库和数据挖掘技术建立了温室决策支持系统。Gupta等^[75]开发了番茄育苗生产过程决策支持系统。这些研究不仅大大提高了温室园艺环境决策的研究水平,也越来越多在实际生产中发挥作用。

4 展望

多年来,国内外针对温室环境智能测控技术开展了大量的研究工作。随着现代信息技术、尤其是

物联网等新技术的发展,温室环境信息智能管理技术的研究将越来越深入,硬件和软件系统将越来越成熟,实际应用也将越来越广。但是要从研究成果尽快走向推广应用,还迫切需要在以下几个方面开展工作:

(1)近年来在温室生态环境信息获取方面的研究取得了较多成果,但是温室是以园艺作物为主要对象进行生产的,如何将作物-环境-装备作为一个系统进行管理,尤其是作物生理和生长信息的获取其研究工作还需要进一步深化。目前针对作物的外观品质、营养元素的亏缺、病虫害的识别诊断方面开展了相应的探索研究工作,但能够用作温室作物生理生长信息探测的商品化传感器目前还较少,需要加紧研发。

(2)温室作物和环境之间是一个互相耦合的过程,目前针对作物生长过程的模拟模型开展了相应的研究工作^[76-77],但是此类模型是建立在历史的作物生长资料基础上的,并不能真实反映当前作物生长的情况。为此,需要针对温室作物的实时生长情况,研究利用作物实时生长过程中的生理生态信息反馈自适应控制,实现温室环境信息的精确控制。

(3)经过多年的研究,在基于模型的温室环境调控决策支持系统研究方面取得了一定的成绩,但是目前所开发的决策支持系统大多是根据所控制的温室进行软件开发。随着现代物联网和云计算技术的发展,需要针对不同类型的温室、不同类型环境测控系统,建立具有通用接口标准、可重用的温室环境调控分布式决策支持系统,以提高决策系统的通用性。

参 考 文 献

- 1 张真和. 我国设施园艺产业现状与发展重点[C]//2012中国设施园艺学术年会论文集,南京,2012:1-7.
- 2 李道亮. 物联网与智慧农业[J]. 农业工程,2012,2(1):1-7.
Li Daoliang. Internet of things and wisdom agriculture[J]. Agricultural Engineering, 2012,2(1):1-7. (in Chinese)
- 3 何勇,聂鹏程,刘飞. 农业物联网与传感器研究进展[J]. 农业机械学报,2013,44(10):216-226.
He Yong, Nie Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(10):216-226. (in Chinese)
- 4 Lefas C C, Santamouris M J. Application of microcomputers in optimal greenhouse environmental control and resources management[J]. Solar & Wind Technology, 1984, 1(3): 153-160.
- 5 毛罕平,李萍萍. 工厂化蔬菜生产成套装备及自动控制系统的研究[J]. 农业机械学报,1996,27(增刊):111-114.
Mao Hanping, Li Pingping. The research on complete set of equipments for vegetable factory and automatic control system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1996,27(Supp.):111-114. (in Chinese)
- 6 谈映晔,吴军辉,徐立鸿. 基于RTOS的单片机系统在温室环境控制中的应用研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):99-101.
Tan Yiye, Wu Junhui, Xu Lihong. Applications of single chip computer system based on RTOS in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 99-101. (in Chinese)
- 7 李志伟,王双喜,高昌珍,等. 以温度为主控参数的日光温室综合环境控制系统的研制与应用[J]. 农业工程学报,2002,18(3):68-71.
Li Zhiwei, Wang Shuangxi, Gao Changzhen, et al. Research and application of auto-control system for solar greenhouse comprehensive environment with temperature as principal parameter[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 68-71. (in Chinese)

- 8 Dogra A K, Parsad K, Suri K, et al. An embedded controller for greenhouse shade curtain[C] // International Symposium on Greenhouses, Environmental Controls and In-house Mechanization for Crop Production in Tropics 710, 2004: 121 - 126.
- 9 谢守勇, 李锡文, 杨叔子, 等. 基于 PLC 的模糊控制灌溉系统的研制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 208 - 210.
Xie Shouyong, Li Xiwen, Yang Shuzi, et al. Design and implementation of fuzzy control for irrigating system with PLC[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 208 - 210. (in Chinese)
- 10 朱伟兴, 毛罕平, 李萍萍, 等. 智能温室群集集散控制系统设计研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 162 - 166.
Zhu Weixing, Mao Hanping, Li Pingping, et al. Research on design of intelligent greenhouses with distributed control system by microcomputer[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(4): 162 - 166. (in Chinese)
- 11 任振辉, 张曙光, 谢景新, 等. 日光温室环境参数智能化监测管理系统的研制[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 107 - 110.
Ren Zhenhui, Zhang Shuguang, Xie Jingxin, et al. Development of intelligent monitoring and managing system of environment parameters for solar greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(2): 107 - 110. (in Chinese)
- 12 董乔雪, 王一鸣. 温室计算机分布式自动控制系统的开发[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 94 - 97.
Dong Qiaoxue, Wang Yiming. Research and development of greenhouse computer distributed auto-control system [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 94 - 97. (in Chinese)
- 13 祁睿, 秦琳琳, 薛美盛, 等. 基于 CAN 总线的温室监控系统设计与应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2005(3): 17 - 20.
Qi Rui, Qin Linlin, Xue Meisheng, et al. The design and application of a greenhouse control system based on CAN[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2005(3): 17 - 20. (in Chinese)
- 14 左志宇, 毛罕平, 李俊. 基于 Internet 温室环境控制系统研究设计[J]. 农机化研究, 2003(4): 104 - 107.
Zuo Zhiyu, Mao Hanping, Li Jun. Research on design of greenhouse environment control system based on Internet[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(4): 104 - 107. (in Chinese)
- 15 Stipanicev D, Marasovic J. Networked embedded greenhouse monitoring and control[C] // Proceedings of IEEE Conference on Control Applications, 2003: 1350 - 1355.
- 16 杨玮, 李民赞, 王秀. 农田信息传输方式现状及研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 297 - 301.
Yang Wei, Li Minzan, Wang Xiu. Status quo and progress of data transmission and communication technology in field information acquisition [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 297 - 301. (in Chinese)
- 17 Wang Ning, Zhang Naiqian, Wang Maohao. Wireless sensors in agriculture and food industry—recent development and future perspective[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2006, 50(1): 1 - 14.
- 18 句荣辉, 沈佐锐. 基于短信息的温室生态健康呼叫系统[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 226 - 228.
Ju Ronghui, Shen Zuorui. Greenhouse ecosystem health calling system using short message [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(3): 226 - 228. (in Chinese)
- 19 孙忠富, 曹洪太, 李洪亮, 等. 基于 GPRS 和 WEB 的温室环境信息采集系统的实现[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 131 - 134.
Sun Zhongfu, Cao Hongtai, Li Hongliang, et al. GPRS and WEB based data acquisition system for greenhouse environment [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 131 - 134. (in Chinese)
- 20 王斌, 吴锴, 李志伟. 基于 GPRS 技术日光温室综合环境集散控制系统的设计[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2012, 32(1): 92 - 96.
Wang Bin, Wu Kai, Li Zhiwei. A research and design on distributed control system for solar greenhouses synthetic environment based on GPRS technology[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2012, 32(1): 92 - 96. (in Chinese)
- 21 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 基于 Zigbee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 158 - 163.
Han Huafeng, Du Keming, Sun Zhongfu, et al. Design and application of Zigbee based telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 158 - 163. (in Chinese)
- 22 苗连强, 胡会萍. 基于 Zigbee 技术的温室环境远程监测系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(10): 108 - 110.
Miao Lianqiang, Hu Huiping. Design of greenhouse environment remote monitoring system based on Zigbee [J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(10): 108 - 110. (in Chinese)
- 23 郭文川, 程寒杰, 李瑞明, 等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 181 - 185
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 181 - 185. (in Chinese)
- 24 周建民, 尹洪妍, 徐冬冬. 基于 Zigbee 技术的温室环境监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2011(9): 50 - 52.
Zhou Jianmin, Yin Hongyan, Xu Dongdong. Greenhouse environmental monitoring system based on Zigbee technology [J]. Instrument Technique and Sensor, 2011(9): 50 - 52. (in Chinese)
- 25 Park D H, Kang B J, Cho K R, et al. A study on greenhouse automatic control system based on wireless sensor network[J]. Wireless Personal Communications, 2011, 56(1): 117 - 130.
- 26 Park D H, Park J W. Wireless sensor network-based greenhouse environment monitoring and automatic control system for dew condensation prevention[J]. Sensors, 2011, 11(4): 3640 - 3651.

- 27 张荣标, 谷国栋, 冯友兵, 等. 基于 IEEE 802.15.4 的温室无线监控系统的通信实现 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 119 - 122.
Zhang Rongbiao, Gu Guodong, Feng Youbing, et al. Realization of communication in wireless monitoring system in greenhouse based on IEEE 802.15.4 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 119 - 122. (in Chinese)
- 28 李莉, 刘刚. 基于蓝牙技术的温室环境监测系统设计 [J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 97 - 100.
Li Li, Liu Gang. Design of greenhouse environment monitoring and controlling system based on bluetooth technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 97 - 100. (in Chinese)
- 29 马增炜, 马锦儒, 李亚敏. 基于 WIFI 的智能温室监控系统设计 [J]. 农机化研究, 2012, 33(2): 154 - 157.
Ma Zengwei, Ma Jinru, Li Yamin. Intelligent greenhouse monitoring and control system design based on wireless fidelity [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 33(2): 154 - 157. (in Chinese)
- 30 张西良, 张卫华, 李萍萍, 等. 基于 GSM 的室内无线传感器网络簇头节点 [J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2010, 31(2): 196 - 200.
Zhang Xiliang, Zhang Weihua, Li Pingping, et al. Head node of indoor wireless sensor network based on GSM [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2010, 31(2): 196 - 200. (in Chinese)
- 31 Li X, Cheng X, Yan K, et al. A monitoring system for vegetable greenhouses based on a wireless sensor network [J]. Sensors, 2010, 10(10): 8963 - 8980.
- 32 李莉, 李海霞, 刘卉. 基于无线传感器网络的温室环境监测系统 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 228 - 231.
Li Li, Li Haixia, Liu Hui. Greenhouse environment monitoring system based on wireless sensor network [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 228 - 231. (in Chinese)
- 33 盛平, 郭洋洋, 李萍萍. 基于 Zigbee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 229 - 233.
Sheng Ping, Guo Yangyang, Li Pingping. Intelligent measurement and control system of facility agriculture based on Zigbee and 3G [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 229 - 233. (in Chinese)
- 34 蔡振江, 康健一, 张青, 等. 数据融合技术在温室温度检测中的应用 [J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 101 - 103.
Cai Zhenjiang, Kang Jianyi, Zhang Qing, et al. Application of multi-sensor data fusion in greenhouse temperature test system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 101 - 103. (in Chinese)
- 35 张西军, 熊伟丽, 张林, 等. PSO - BP 网络模型在温室数据融合中的应用研究 [J]. 传感器与微系统, 2008, 27(12): 57 - 59.
Zhang Youjun, Xiong Weili, Zhang Lin, et al. Application research of PSO - BP neural network in data fusion of greenhouse [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2008, 27(12): 57 - 59. (in Chinese)
- 36 程曼, 袁洪波, 张素, 等. 基于多传感器数据融合的温室环境控制的研究 [J]. 农机化研究, 2009, 31(7): 213 - 214, 21.
Cheng Man, Yuan Hongbo, Zhang Su, et al. A survey of greenhouse environment control technology based on multi-sensor data fusion [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 213 - 214, 21. (in Chinese)
- 37 张韩飞, 陈明, 池涛, 等. 多传感器信息融合在温室湿度检测中的应用 [J]. 传感器与微系统, 2011, 30(6): 129 - 130.
Zhang Hanfei, Chen Ming, Chi Tao, et al. Application of multi-sensors information fusion in greenhouse humidity detection [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2011, 30(6): 129 - 130. (in Chinese)
- 38 杨帆, 程雯, 夏亦冰, 等. 多传感器信息融合测控体系在温室测控中的应用研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(9): 156 - 159.
Yang Fan, Cheng Wen, Xia Yibing, et al. Research on the application of sensors information fusion control system in the conservatory monitor [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(9): 156 - 159. (in Chinese)
- 39 熊迎军, 沈明霞, 陆明洲, 等. 温室无线传感器网络系统实时数据融合算法 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 160 - 166.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Lu Mingzhou, et al. Algorithm of real time data fusion for greenhouse WSN system [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23): 160 - 166. (in Chinese)
- 40 Beulah S A, Chalabi Z S. Intelligent real-time fault diagnosis of greenhouse sensors [J]. Control Engineering Practice, 1997, 5(11): 1573 - 1580.
- 41 Linker R, Gutman P O, Seginer I. Robust model-based failure detection and identification in greenhouses [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 26(3): 255 - 270.
- 42 左志宇, 毛罕平. 温室环境控制系统智能故障诊断 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊): 214 - 218.
Zuo Zhiyu, Mao Hanping. Intelligent fault diagnosis on greenhouse environment control system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 214 - 218. (in Chinese)
- 43 林东亮, 张侃谕. 基于语义网络的温室故障检测与安全保护 [J]. 机电一体化, 2009, 15(10): 32 - 35.
Lin Dongliang, Zhang Kanyu. A semantic network-based methodology for real-time fault diagnosis of greenhouse control system [J]. Mechatronics, 2009, 15(10): 32 - 35. (in Chinese)
- 44 张荣标, 白斌, 李克伟, 等. 基于时空双序列分析的温室 WSN 故障诊断 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 155 - 158.
Zhang Rongbiao, Bai Bin, Li Kewei, et al. Fault diagnosis of the greenhouse wsn based on the time series and space series analysis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 155 - 158. (in Chinese)
- 45 王俊, 刘刚. 基于时间序列和神经网络的温室传感器节点故障诊断 [J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(6): 163 - 168.

- Wang Jun, Liu Gang. Fault diagnosis of greenhouse sensors nodes based on time series and neural network[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(6): 163 - 168. (in Chinese)
- 46 Fukatsu T, Hirafuji M, Kiura T. A distributed agent system for managing a web-based sensor network with field servers[C]// Proceedings of 4th World Congress on Computers in Agriculture (WCCA), 2006; 223 - 228.
- 47 Fukatsu T, Hirafuji M, Kiura T. Agent system for operating web-based sensor nodes via the internet[J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 2006, 18(2): 186.
- 48 Fukatsu T, Hirafuji M, Kiura T. Web-based sensor network with flexible management by agent system[C]// 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems, Studies in Computational Intelligence, 2011, 325: 415 - 424.
- 49 张西良, 孙优, 李萍萍, 等. 无线传感器网络 q 分类融合算法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 189 - 193.
Zhang Xiliang, Sun You, Li Pingping, et al. q-classification aggregation algorithm in wireless sensor networks[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2008, 29(3): 189 - 193. (in Chinese)
- 50 吴祎娴, 苏诚, 陈明, 等. 基于 Agent 的温室无线传感网络分簇管理模型[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 29(2): 210 - 214.
Wu Yixian, Su Cheng, Chen Ming, et al. Clustering management structure for greenhouse wireless sensor network based on Agent [J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2011, 29(2): 210 - 214. (in Chinese)
- 51 韩安太, 郭小华, 孙延伟. 温室无线传感器网络监控系统的事件驱动调度器[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 186 - 204.
Han Antai, Guo Xiaohua, Sun Yanwei. Event-driven scheduler in monitoring and controlling system for greenhouse based on wireless sensor networks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 186 - 204. (in Chinese)
- 52 熊迎军, 沈明霞, 刘永华, 等. 混合架构智能温室信息管理系统的设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊1): 181 - 185.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Liu Yonghua, et al. Design of intelligent greenhouse information management system with hybrid architecture[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 1): 181 - 185. (in Chinese)
- 53 Marsh L S, Albright L D. Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. I. A computer model & II: results and simulations[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(2): 550 - 562.
- 54 Seginer I, Hwang Y, Boulard T, et al. Mimicking and expert greenhouse grower with a neural-net policy[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(1): 299 - 306.
- 55 Aslyng J M, Lund J B, Ehler N, et al. IntelliGrow: a greenhouse component-based climate control system[J]. Environmental Modelling & Software, 2003, 18(7): 657 - 666.
- 56 Lacroix R, Kok R. Simulation-based control of enclosed ecosystems- a case study: determination of greenhouse heating setpoints [J]. Canadian Agricultural Engineering, 1999, 41(3): 175 - 183.
- 57 Rijdsdijk A A, Vogelezang J V M. Temperature integration on a 24-hour base: a more efficient climate control strategy[C]// XXV International Horticultural Congress, Part 9: Computers and Automation, Electronic Information in Horticulture 519, 1998: 163 - 170.
- 58 Körner O, Challa H. Design for an improved temperature integration concept in greenhouse cultivation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 39(1): 39 - 59.
- 59 Körner O, Bakker M J, Heuvelink E. Daily temperature integration: a simulation study to quantify energy consumption[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(3): 333 - 343.
- 60 Körner O, Challa H. Temperature integration and process-based humidity control in chrysanthemum[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43(1): 1 - 21.
- 61 Blasco X, Martínez M, Herrero J M, et al. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 55(1): 49 - 70.
- 62 Pucheta J A, Schugurensky C, Fullana R, et al. Optimal greenhouse control of tomato-seedling crops[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50(1): 70 - 82.
- 63 Körner O, van Straten G. Decision support for dynamic greenhouse climate control strategies[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 18 - 30.
- 64 邓璐娟, 张侃谕, 龚幼民, 等. 温室环境多级控制系统及优化目标值设定的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 119 - 122.
Deng Lujuan, Zhang Kanyu, Gong Youmin, et al. Preliminary study on hierarchical greenhouse environment control system and setting of the optimized target values[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 119 - 122. (in Chinese)
- 65 戴剑锋, 罗卫红, 乔晓军, 等. 基于模型的温室加温目标优化控制系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 22(11): 187 - 191.
Dai Jianfeng, Luo Weihong, Qiao Xiaojun, et al. Model-based decision support system for greenhouse heating temperature set point optimization[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 22(11): 187 - 191. (in Chinese)
- 66 王纪章, 李萍萍, 毛罕平, 等. 基于模型的温室环境调控技术研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 463 - 466.
Wang Jizhang, Li Pingping, Mao Hanping, et al. Technology of greenhouse environment control based on economical optical[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3): 463 - 466. (in Chinese)
- 67 伍德林, 毛罕平, 李萍萍. 基于经济最优目标的温室环境控制策略[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 115 - 119.

- Wu Delin, Mao Hanping, Li Pingping. Environmental regulation techniques based on economic optimization in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 115-119. (in Chinese)
- 68 朱丙坤, 徐立鸿, 胡海根, 等. 基于节能偏好的冲突多目标相容温室环境控制[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(1): 95-99. Zhu Bingkun, Xu Lihong, Hu Haigen, et al. Conflict multi-objective compatible control of greenhouse climate based on energy-saving preference[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(1): 95-99. (in Chinese)
- 69 Clarke N D, Shipp J L, Papadopoulos A P, et al. Development of the harrow greenhouse manager: a decision-support system for greenhouse cucumber and tomato[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1999, 24(3): 195-204.
- 70 孙忠富, 张志斌, 全乘风, 等. 温室番茄生产实时在线辅助决策支持系统的研制[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 75-78. Sun Zhongfu, Zhang Zhibin, Tong Chengfeng, et al. Development of a real time on-line aided decision-making support system for greenhouse tomato production[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 75-78. (in Chinese)
- 71 李萍萍, 夏志军, 胡永光, 等. 温室黄瓜环境管理智能决策支持系统初探[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2004, 25(1): 5-8. Li Pingping, Xia Zhijun, Hu Yongguang, et al. Preliminary study on intelligent decision support system for cucumber environment management in greenhouse[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2004, 25(1): 5-8. (in Chinese)
- 72 王纪章, 李萍萍, 毛罕平. 基于作物生长和控制成本的温室气候控制决策支持系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 168-171. Wang Jizhang, Li Pingping, Mao Hanping. Decision support system for greenhouse environment management based on crop growth and control cost[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 168-171. (in Chinese)
- 73 Hu Y, Li P, Zhang X, et al. Integration of an environment information acquisition system with a greenhouse management expert system[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2007, 50(5): 855-860.
- 74 王成, 李民赞, 王丽丽, 等. 基于数据仓库和数据挖掘技术的温室决策支持系统[J]. 农业工程学报, 2009, 24(11): 169-171. Wang Cheng, Li Minzan, Wang Lili, et al. Decision support system for greenhouse based on data warehouse and data mining[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 24(11): 169-171. (in Chinese)
- 75 Gupta M K, Samuel D V K, Sirohi N P S. Decision support system for greenhouse seedling production[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 73(2): 133-145.
- 76 李永秀, 罗卫红. 温室蔬菜生长发育模型研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 307-312. Li Yongxiu, Luo Weihong. Review on research progress of greenhouse vegetable growth and development models[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 307-312. (in Chinese)
- 77 曹宏鑫, 赵锁芳, 葛道阔, 等. 作物模型发展探讨[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3520-3528. Cao Hongxin, Zhao Suolao, Ge Daokuo, et al. Discussion on development of crop models[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(17): 3520-3528. (in Chinese)

Research Progress of Intelligent Management for Greenhouse Environment Information

Li Pingping¹ Wang Jizhang²

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of greenhouse agriculture and information technology, more and more modern information technologies were applied in greenhouse environment management. And those technologies promote the development of intelligent management technology for greenhouse environment. Aiming at the demands of intelligent management for greenhouse environment information oriented to internet of things (IOT), this paper analyzed the research progress of intelligent management for greenhouse environment information from three aspects, information acquisition, information processing and decision-making service of greenhouse environment, and the future studies about intelligent management of greenhouse environment were proposed.

Key words: Greenhouse Environment Intelligent management Internet of things