

邢希君, 宋建成, 吝伶俐, 等. 设施农业温室大棚智能控制技术的现状与展望[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(21): 10-15.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.003

设施农业温室大棚智能控制技术的现状与展望

邢希君, 宋建成, 吝伶俐, 田慕琴, 李德旺

(太原理工大学/煤矿电气设备及智能控制山西省重点实验室/矿用智能电器技术国家地方联合工程实验室, 山西太原 030024)

摘要:设施农业的发展是农业现代化的重要标志,也是现代化农业发展的重要建设任务。温室大棚智能控制作为设施农业种植与生产过程中的关键环节,是提高生产效率、保障农作物品质的重要措施,近年来,已成为国内外热门研究课题。温室环境是一种非线性、强耦合性、多干扰性、时滞性的动态环境系统,温室内环境因子与环境因子、植物生长情况与环境因子之间都存在复杂的能量关系。因此,如何高效经济地实现温室内多因子间的复合控制是温室环境控制过程要解决的关键问题。我国的智能温室大棚技术较国外发展晚,在控制方法、控制技术和控制成本等方面都与国外先进技术存在较大差距。为了促进我国设施农业温室大棚智能控制技术的快速发展,推动设施农业领域的技术进步,总结了国内外温室大棚智能控制技术的发展过程,重点对模糊控制、神经网络控制和专家系统控制等温室控制算法进行了分析和比较,展望了设施农业温室大棚智能控制技术的发展方向。

关键词:设施农业;温室大棚;控制方法;智能控制

中图分类号: S625; TP273⁺.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2017)21-0010-06

温室系统是一种多输入、多输出、强耦合的复杂系统^[1]。温室中影响作物生长发育的主要环境因子包括温度、水分、光照、土壤、空气(如二氧化碳、氧气等)、生物条件等。这些环境因子都是时变量,其变化没有规律可循且难以进行预判,另外这些环境因子变量是相互作用、相互耦合的,难以用数学模型表述,这些问题都对温室控制带来了很大的难度。其中温湿度的变化对温室植物生长的影响最大,且耦合程度较大,目前,大部分研究集中在温湿度的控制上^[2]。

农业温室大棚控制技术总体经历了定值开关控制、PID 控制和智能控制 3 个发展阶段。定值开关控制可以细化分为手动控制和自动控制,是一种不考虑温室控制滞后性和惯性的简单控制方法,在实际控制过程中存在精度低、静态误差大、超调量大、振荡明显、耗能大等问题,从而无法达到理想的调节效果。PID 控制是目前应用领域最广泛的控制方法,控制过程包括比例、积分、微分 3 个环节。一般情况下,温室系统中 PID 控制方法相比开关控制可以取得较好的调节效果。然而, PID 控制对研究对象数学模型要求较高,使得在温室环境控制系统中难以发挥其优势^[3]。

智能控制是指使用类似于专家思维方式建立逻辑模型,模拟人脑智力的控制方法进行控制。智能控制具有下列优点: (1) 可以不完全依赖工作人员所具有的专业知识水平; (2) 可以预测温室环境的变化状态,提前作出预判,从而尽

可能解决温室大滞后的问题; (3) 由于其全局统筹控制^[4], 可以解决各设备在进行调节时相互协调的问题,进而减少控制系统的超调和振荡; (4) 可以实现自适应控制功能,根据作物的生长状态、环境参数的变化状态和各调节单元的运行状态自动调节作物的生长环境,实现最优生长。智能控制最大进步是将先进的控制算法加以应用,进而能够确保控制系统的稳定运行和控制精度,且具有良好的鲁棒性,非常适合解决温室的环境调控问题^[5-6]。

自 20 世纪 90 年代开始,智能控制成为温室内环境控制的热门研究方向,发展十分迅速。智能控制是传统控制理论高级阶段的产物,虽然其理论体系不如过去简单的控制理论完善,但已经在各个领域的应用上取得了令人瞩目的成果。特别是在传统控制方法难以解决的复杂控制系统方面(如本研究的温室大棚智能控制系统),其优势非常突出。智能控制方法主要包括模糊控制、神经网络控制、专家控制系统、遗传算法、仿人智能控制等。模糊控制方法、神经网络控制方法及专家控制方法作为设施农业温室大棚智能控制方法相继应用于温室控制系统中^[7]。本研究分析设施农业温室大棚智能控制技术的发展现状,分别对模糊控制技术、神经网络控制技术、专家控制技术的控制原理、控制方法、优缺点以及具体案例进行分析,并对其未来的发展方向进行预测。

1 模糊控制技术

1.1 模糊控制原理

近 30 年来,模糊控制一直是智能控制研究和应用领域的热点。模糊控制(fuzzy control)是一种非线性智能控制方法,它不需要获得准确的研究对象模型,而是将人的知识和经验总结提炼为若干控制规律,并转化为计算机语言,从而模仿人的思维进行控制。模糊控制具有较强的知识表达能力和模糊推理能力,经过模糊逻辑推理可以实现类似人的决策过程。模糊控制在模糊规则制定时实际上就隐含了解耦思想,这在

收稿日期: 2017-04-05

基金项目: 山西省科技厅重大专项(编号: 20131101029); 山西省物联网产业发展及应用分析预测(编号: kxkt1605)。

作者简介: 邢希君(1991—),女,山西太原人,硕士研究生,主要从事设施农业温室大棚智能控制技术研究。E-mail: 370760959@qq.com。

通信作者: 宋建成,博士,教授,博士生导师,主要从事设施农业温室大棚智能控制技术、矿用智能电器、故障诊断与灾害预警技术研究。E-mail: sjc6018@163.com。

不同程度上削弱了温湿度等环境因子相互耦合造成的影响,因此控制效果良好^[8-9]。

典型的模糊控制系统由输入端、模糊控制器、执行机构、被控量、输出端和测量装置 6 个部分构成,其中模糊控制器为整个系统的核心部分,其结构如图 1 所示。模糊控制分为模糊化、建立规则、模糊推理、去模糊化 4 个过程。具体过程为被控目标的精确数值经过测量设备的收集,与系统设定值

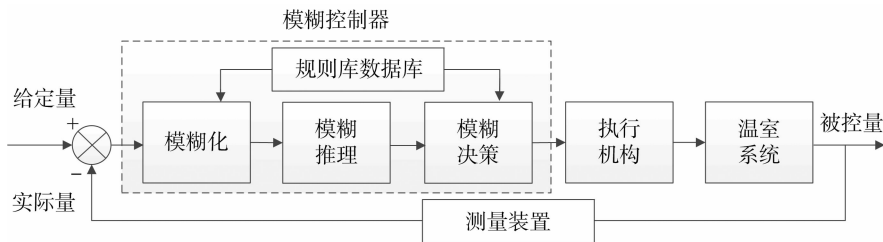


图1 模糊控制系统结构

1.2 模糊控制方法

1.2.1 基本模糊控制方法 为了解决温室大棚中模型建立和控制精度低的问题,国内外的研究焦点集中在模糊控制方法上。基本模糊控制是通过总结农业专家经验,提炼为模糊控制规律,并利用计算机程序加以实现,多以温室内外环境参数、设备运行状态和植物生长信息为输入,以温室环境调控设备控制信号为输出。

韩毅等提出了一种温室大棚变结构模糊控制器,通过对采集的空气温湿度进行参数识别,将模糊控制划分为快速控制和精细控制 2 个过程,并为每种过程设计单独的模糊控制器^[11]。试验证明,该方法可以显著提高温室大棚温湿度控制系统的控制精度。Hahn 设计了一个模糊控制器来控制温室气候,变量使用太阳辐射、衬底温度和冠层温度^[12]。使用模糊控制器后,温室中番茄开裂率下降 35%。Azaza 等设计了一个基于模糊控制方法的系统,用于对温室中主要变量进行控制^[13]。利用二型模糊逻辑控制器改善控制效率、能源使用率和作物产量,通过无线数据监控平台监控智能数据进而增强系统性能。卢佩等设计了基于模糊控制算法和 LabVIEW 的温室大棚温湿度监控系统^[14],通过引入温湿度解耦参数对温湿度的控制过程进行改善。结果表明,引入温度和湿度解耦参数后,监控系统的稳定性、监测精度和控制效率都得到了显著提升。

1.2.2 模糊 PID 控制方法 经典的模糊控制稳态精度不够细腻、控制动作不够精准,为了更好地改善模糊控制的稳态性能和控制精准度,将模糊控制与传统的 PID 控制相结合,提出了模糊 PID 控制方法(Fuzzy-PID)。模糊 PID 控制大致分为 2 种。(1)为兼具模糊控制和 PID 控制的双模控制方法,即在误差大时使用模糊控制,误差变化小时切换为 PID 控制。(2)为利用模糊控制对 PID 进行自适应整定,即引入模糊逻辑,对 PID 控制的 3 个系数进行实时调整和优化,模糊自适应 PID 控制系统结构见图 2,这种控制方法可以提高系统的灵活性,使之具有更强的自适应性和鲁棒性,应用于温室大棚智能控制系统可以同时提升其静态性能和动态性能^[15]。

曾庆良等将模糊 PID 算法与 Smith 预估器进行组合,利用形成的 Smith 模糊 PID 算法对温室温湿度进行调控,一定程度上改善了智能算法在时滞系统控制上存在的问题,系统

(如设定的温湿度值等)进行比较,将其偏差或偏差变化率输入到模糊化模块,映射为输入论域上的模糊集合,继而转化为模糊量。模糊控制器根据模糊控制规则进行模糊推理,将模糊输入量进行推理、决策,进而得到对应的模糊输出量集合。由模糊集合确定一个最能反映模糊推理结果的精确值,用于控制或驱动执行机构,最后执行机构作用于被控对象。按此过程进行下去,即可实现被控目标的模糊控制^[10]。

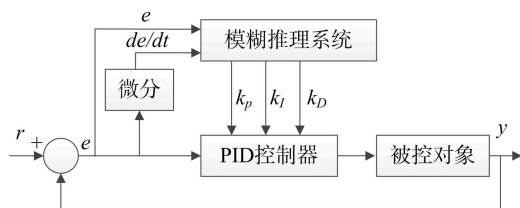


图2 模糊自适应 PID 控制系统结构

的抗干扰性能和系统的动态静态响应品质也得到了提高^[16]。朱伟等设计了一种模糊 PID 控制器,利用模糊推理,对 PID 控制器的 3 个参数进行快速调节,进而控制空调压缩机的运转速率,并通过 MATLAB 进行仿真,结果表明,该算法相较普通 PID 算法具有调节时间短、响应速度快的优点^[17]。

1.2.3 基于遗传算法的模糊控制方法 遗传算法(genetic algorithm),即利用遗传算子对现有个体进行遗传操作,得到后代个体种群,后代个体拥有上一代基本特征,优良的特征会被留下并进行组合,坏的特征则被淘汰,从而算法朝着更优解的方向进化。

遗传算法作为一种随机搜索的全局优化算法,在模糊规则的自动获取过程中表现出了良好的性能。遗传算法以试探的方式,对模糊控制的隶属函数和控制规则进行优化,使模糊控制参数的确定不再单纯依靠专家经验,从而降低模糊控制各个阶段中出现的主观性和随意性^[18]。其系统结构见图 3。

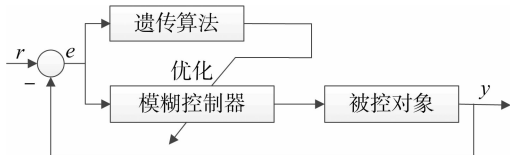


图3 基于遗传算法的模糊控制系统结构

王君设计了一种两输入三输出的模糊 PID 控制器,利用遗传算法对这种控制器的三角形隶属函数和模糊控制规则进行优化^[19]。相比较常规的模糊 PID 控制器,响应速度变快,超调量变小。

1.3 模糊控制技术的研究进展

针对模糊控制的研究还在不断深入,模糊控制理论仍在快速发展,模糊控制未来将向着如下方向发展:(1)自校正模

糊控制方法。这种方法可以对模糊控制中的模糊控制规则等参数进行实时调整,使模糊控制具有自学习性和自适应性。(2)多变量模糊控制方法。这种方法适用于解决具有多种输入变量和输出变量的强耦合系统,这种系统相较单输入单输出系统更加贴近实际工程项目,多变量间的耦合问题和控制规则的急剧增加是研究的重点。(3)专家模糊控制方法。这种方法灵活应用专家系统,将专家系统对知识的表达方法融入模糊控制,使模糊控制更加智能。(4)智能模糊控制方法。将模糊控制算法与智能优化算法(如遗传算法、蚁群算法等)相结合,可以对模糊控制规则进行在线寻优,大大改善模糊控制的品质^[20]。

优化后的模糊控制将具有更好学习和调整能力,可以有效改善相应系统的品质,但其仍是以常规模糊控制器为基础,所以在控制规则、隶属函数等方面的优化、学习能力存在局限性。

2 神经网络控制技术

2.1 神经网络控制原理

神经网络控制就是利用物理上可实现的器件或系统,使计算机语言模拟人脑神经的决策方式进行控制。通过调整大量并行互联的节点间的连接关系,以完成对信息的处理,并将这种模拟应用在实际工程问题上^[21]。神经网络的工作过程大致分为 2 个阶段:第一阶段,神经元通过自学习不断调整各计算节点之间的连接权值,同时保持各节点的状态稳定不变;第二阶段,各计算节点间的连接权值不作变化,对各节点的输出进行计算,从而达到预期的稳定状态^[22]。

神经网络以结构进行划分主要有 2 种。(1)前馈型网络,开环无反馈,其结构见图 4。主要分 3 部分,即输入层、隐含层、输出层,每部分由若干神经元组成,典型的代表为径向基函数神经网络(RBF 网络)和误差反向传播神经网络(BP 网络)。(2)反馈性神经网络,其结构见图 5。这种网络中任意 2 个节点之间都可以进行双向通信,即对于节点计算值既可以输入也可以输出,如 Hopfield 网络。

作为智能控制的分支之一,神经网络具有很强的自适应性、自学习性、非线性拟合能力以及容错能力。基于这些优点,神经网络技术在设施农业愈发受到重视。

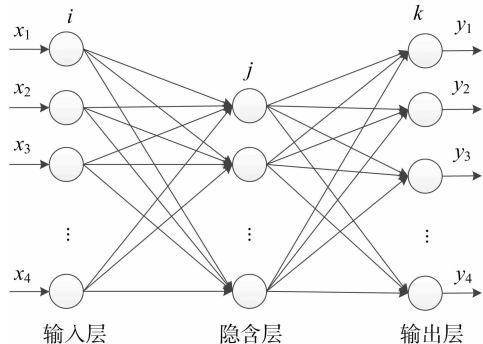


图4 前馈型神经网络结构

2.2 神经网络控制方法

2.2.1 基本神经网络控制方法 在温室控制系统中,基本神经网络的作用主要是对系统的辨识和最优预测,其中广泛使用的是 BP 神经网络。BP 神经网络的工作基于最小二乘法理

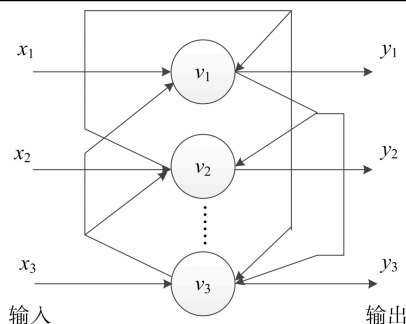


图5 反馈型神经网络结构

论,通过梯度搜索技术对各层的权值不断地进行调整,从而使输出值不断接近期望值。利用神经网络控制方法对温室参数和模型的预测可以提高预测精度,加快收敛速度。

李倩等建立了 3 个温室大棚模拟模型,分别模拟冬季、春季通风时段和春季不通风时段的温、湿度 BP 神经网络预测模型^[23]。结果表明,试验建立的不同自然环境、不同植物类型的 BP 神经网络模型均可以满足预测要求,且误差较小。程曼等为解决温室中大滞后大惯性的问题,提出一种基于神经网络控制的温室数学模型,该方法将温室内外环境信息、作物生长信息、设备运行状态,及当地实时天气预测值进行融合,提出全局变量的概念,通过 BP 神经网络算法对温室未来环境状况进行短期预测,一定程度上改善了系统时滞性^[24]。许童羽等提出一种适用于模拟北方温室空气相对湿度的预测模型。对比 2 种流行的神经网络,得出 RBF 网络是连续函数的最佳逼近,相比 BP 网络具有收敛速度快,且可避免局部最优的优点^[25]。试验结果表明,该模型的学习过程耗时相对较短,预测误差较小,预测结果良好。

模式识别,即通过对表征事物的各类信息进行处理,进而对事物进行分类和识别。将基本神经网络应用在温室模式识别领域,可以提高识别准确度。Fourati 提出了一种温室的复合神经控制策略,利用了 ART2 神经网络对温室数据库进行识别,进而划分为几个子数据库,从而得到不同的局部温室模型,对应合适的神经控制器与适当的操作模式^[26]。仿真结果表明,使用 ART2 神经控制分类器比单一的神经控制策略具有更小的输出误差。

2.2.2 模糊神经网络控制方法 模糊神经网络(fuzzy neural network)是当今温室智能控制的研究热点。模糊神经网络控制就是模糊控制与神经网络控制的结合,兼具有神经网络强大的自学习功能和模糊逻辑推理较强的知识表达能力。

通常模糊控制和神经网络控制有以下 3 种结合方式:(1)模糊神经网络混合控制方法。该方式的控制器为模糊控制器和神经网络控制器共同构成,对输入信号进行判断,选择对应控制器对其进行处理。(2)基于模糊推理的神经网络控制方法。即先对输入信号进行模糊推理,再传递给神经网络进行处理,形成的控制方法主体为神经网络控制方法。(3)基于神经网络的模糊控制方法。即利用神经网络函数调整模糊函数推理系统的隶属度函数和推理规则,其主体为模糊控制方法,这种结合方式最为常用。

Eddine 等提出了一种基于自适应神经模糊推理系统的温室气候模型,该模型的输入为环境因子和控制执行机构参

数,用来代表番茄植物成长过程中的主要影响因素^[27]。利用神经网络进行训练,经过 500 次迭代后得出最后模型。Khoshnevisan 等的研究中,利用自适应神经模糊推理系统 (ANFIS) 对温室草莓的产量进行预测,并对人工神经网络 (ANN) 模型和 ANFIS 模型的预测结果进行对比,结果表明,ANFIS 模型相对人工神经网络模型可以更好地预测草莓产量^[28]。吴晓强等运用模糊控制理论和专家知识建立温室控制模糊规则,结合 BP 神经网络控制理论,以温度和湿度作为主要控制变量设计模糊神经网络控制系统^[29]。模糊神经网络模型共分 4 层,最后试验对模糊控制与模糊神经控制的仿真结果进行了对比,证明模糊神经控制超调更小、响应更快、控制效果更好,且具有良好的抗干扰能力。

模糊神经网络控制方法可以将模糊控制方法和神经网络控制方法的优缺点进行互补。如利用神经网络的自学习能力,可以很好地解决传统模糊控制过度依赖专家知识的问题。而模糊控制的加入使神经网络对于知识的表达能力大幅提升。二者的结合是模糊控制领域和神经网络控制领域共同的发展方向,能够解决许多传统控制方法无法解决的复杂问题^[30]。

2.3 神经网络控制技术的研究进展

从国内外研究现状可以看出,神经网络技术已经成为多交叉学科融合的前沿技术,将其与多种先进控制方法(如模糊控制、遗传算法、专家系统等)进行融合形成的智能控制方法也已被广泛应用于各个领域并取得了良好的效果。神经网络控制尤其适用于数学模型难以准确建立,或对象机理不明确的应用场景。在设施农业温室大棚的研究中,神经网络灵活应用于产量预测、虫害预测、作物生长状况以及作物生长环境的研究。在运用神经网络对温室系统进行系统辨识和控制时,其网络结构、控制算法、控制结构等的确定将是未来主要研究方向。

3 专家系统控制技术

3.1 专家系统控制原理

专家系统控制 (Expert Control) 的研究起源于 20 世纪 60 年代末,作为人工智能中最具实用价值的技术,已经广泛应用于众多生产生活领域。专家系统控制就是以智能的方式利用某一领域的专家知识,是专家系统技术与传统控制理论结合的产物。专家系统是一种具有特定领域专家级知识和经验的智能计算机系统,因其集成了相关领域众多专家的经验 and 知识,有时甚至超过相同领域的人类专家的水平^[31]。

专家系统主要组成部分为专家知识库和推理机,其结构见图 6。专家知识库是用来存放某一领域相关知识和规则的数据库,这些知识来自相关领域的常识性知识、已经确定的书本文献的知识以及专家们经过反复实践得出的知识,是推理机工作的知识基础。推理机根据知识库中存放的专业知识为推理基础,根据问题类型选择推理策略和机制,为遇到的现实问题提供解决方案。专家知识库和推理机的设计对专家系统的设计至关重要。

相对于一般的智能控制而言,专家系统控制具有如下基本特点:(1)具有特定领域专家级别的知识;(2)具有启发性,可以进行有效推理;(3)具有灵活性和透明性;(4)具有一定

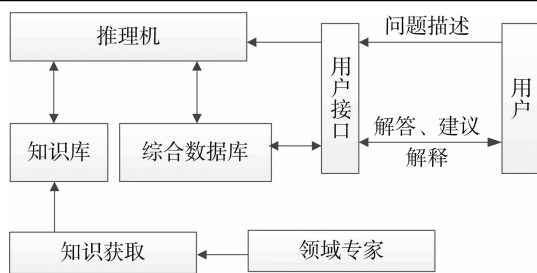


图6 专家系统结构

的困难性和复杂性。

3.2 专家系统控制方法

3.2.1 基本专家系统控制方法 农业专家系统是综合分析各类农业领域相关知识、经验、数据和模型后,通过计算机得出最优的解决方案,用于指导智慧农业生产的一种高新技术^[32-33]。当农业专家系统运用在温室大棚时,可以大大提高温室的智能性,使温室系统具有诊断、决策及预测等功能。

王健运用专家系统控制方法建立了温室番茄生长发育专家系统,可以随时调用查询预存的专家知识和经验,从而实现番茄生长发育预测和病虫害的预测诊断。设计了相关的界面,并细化了各个模块的功能^[34]。晏江着眼于设施蔬菜生产的整个过程,将计算机控制技术与设施蔬菜栽培专家的经验、知识和解决问题的方法相结合,集成先进的农业技术,开发了一套具有一定先进性的设施蔬菜生产管理专家系统,为温室种植者提供决策辅助^[35]。系统具有播前决策功能、田间管理功能、病虫害防治功能、产后决策功能、其他辅助决策功能和知识获取功能,具有很好的实用性。西班牙科学家 Gonzalez - Andujar 设计了一种具有蔬菜病虫害防治、杂草鉴别功能的专家系统,方便种植者查询作物种植方面较为全面的指导性建议^[36]。系统根据专家知识内容分为病害、虫害和杂草 3 个子系统,每个子系统拥有各自独立的数据库,提高了决策的针对性及正确性。

3.2.2 模糊专家系统控制方法 专家系统的规则前件和后件通常都是精确的集合,所以推理范围狭窄,但实际问题的知识概念往往不是很明确的。模糊控制则存在控制器与知识表达结构单一,对复杂问题的启发性问题解决较为困难的问题。将二者结合形成模糊专家系统控制方法,以模糊控制作为最基本的控制规律,由专家系统根据被控目标的特征选择相应的最有效的控制规律,这种算法可以很好地弥补模糊控制和专家系统各自的缺陷和不足。

西班牙的 Romeo 等提出一种新的专家识别系统,用于区分玉米大麦等作物与杂草,它由决策和识别 2 个主要模块构成,运用专家系统并加入模糊控制的策略^[37]。吴晓辰在温室栽培研究中,在对植物病例分析的部分将模糊控制融入专家系统,推导了一种不完备信息系统的模糊度来进行病症特征的提取的算法,即从人为经验知识归纳得出的知识库中提取病症特征,利用模糊函数对不完备的信息的判断和总结,从而进行病症诊断推理^[38]。

3.2.3 神经网络专家系统控制方法 神经网络和专家系统在控制方面都具有各自的优点,也都具有各自的局限性。专家系统的优势在于规则清晰表达和对推理过程的正确表达,而神经网络的优势在于决策力以及对知识的获取上。将二者

结合形成神经网络专家系统,其中神经网络作为专家系统自动获取知识的新途径,专家系统直接改进神经网络的权值问题,也可以间接改善神经网络学习速度,达到了2种控制方法的优势互补。

张洪波等设计了一种基于BP神经网络专家系统控制方法的智能温室大棚控制系统^[39]。系统被划分为多个功能模块,分别具有各自的任务和功能。在算法上将神经网络和专家系统进行集成,融合了二者的优点,使系统更加智能。马丽丽等根据已有的专家知识库建立了以温室大棚温湿度为输入的神经网络病害预测模型,并通过此模型结合实时环境数据对未来的病害进行预测^[40]。

3.3 专家系统控制技术的研究进展

近20年,农业智能专家系统技术发展迅速^[41]。农业智能专家系统运用现代化的手段,将智能技术、计算机技术、3S技术、数据挖掘技术等与专家系统控制技术进行融合,催生了如运用精确化农业信息的精准农业专家系统控制方法、侧重植物形态结构的虚拟作物专家系统控制方法以及深度运用数据挖掘技术的专家系统控制方法等。这些智能专家系统控制方法旨在模拟领域专家的智能思维及行为,为作物提供最适宜的生长环境参数和环境调控方案,将会成为今后农业专家系统的主要发展方向。

温室专家系统控制技术,经过数十年的发展成功应用于温室诊断、预测、咨询、控制等方面,成为设施农业温室智能控制方面的研究热点。

4 展望

基于对目前国内外设施农业温室大棚环境控制技术研究现状的分析,结合作者在实验室的基础研究,提出今后温室环境控制技术的发展方向。

4.1 传感网络的无线化

随着无线传感器网络(WSN)的发展,智能温室大棚的无线化将成为必然趋势^[42]。传感网络无线化,即数据通过无线网络从众多小型传感器节点发送到信息采集站或集控中心。这种传感网络具有极佳的自愈性和自组织性,相较于传统有线传感网络不仅具有故障少、成本低的优点,而且很好地解决了高温高湿环境下线路易腐蚀老化的难题,非常适合应用在温室大棚控制系统。多传感器的数据融合和传感器节点的节能管理等重点难点将成为无线传感网络的未来研究方向。

4.2 智能控制方法的融合化

模糊控制的优点是鲁棒性优良,知识表达能力强,无需建立精确的模型;缺点是只可实现的是粗略控制且对滞后的问题无法有效解决。神经网络控制具有可训练性和自适应能力,且计算速度快;缺点是结构和类型难以确定,无法保证结果的绝对正确性,算法易陷入局部最优。专家系统的优点在于规则的清晰表达和对推理过程的正确表达;缺点是不具备自学习能力,且知识获取较难,造成了效率的低下。单一的控制方法无法满足温室系统的智能控制,将多种算法进行集成融合,优势互补,取长补短,则可以实现对温室众多环境因子变量更有效控制。

4.3 物联网技术的成熟化

农业物联网即通过部署传感装置、计算设备、执行设备以

及信息通信网络,实现“人、机、物”的相互联通。随着物联网在农业方面的应用日趋广泛和成熟,物联网技术将全面渗透到智能温室控制领域,包括对农业对象的信息识别、定位追踪、环境监控和综合管理等。在温室环境智能化监控、产品可追溯和信息融合等方面,物联网技术都体现出了其独有的优势。物联网技术是世界设施农业发展的趋势,也是我国设施农业发展的必经之路。

4.4 专家系统的智能化

专家系统与自动控制技术相结合,并灵活应用数据挖掘技术,可以实现对温室大棚内环境的实时监控。根据不同作物不同时期的生长需求,自动形成最优控制方案,按其所需提供适宜的环境参数和控制建议。这样充分发挥了专家系统在数据处理方面的优势,使系统具有自适应性和自学习性。除了环境调控方面的应用,温室大棚专家系统不断向多层次、多功能的方向发展,逐渐在病虫害防治、作物生产管理、辅助决策、经济分析等多个方面表现出其先进性。专家系统的应用使温室大棚系统控制更智能,方法更简单,效果更明显,食品更安全。

4.5 农产品全程可追溯化

农产品安全追溯系统,即利用网络技术和身份识别技术(如二维码、条形码、电子标签等)将农产品的生产环节、加工环节、储藏环节、运输环节和销售环节打通,形成一个安全追溯闭环。用户可以更便捷地获得农产品的全程可追溯信息,实现设施农业的透明化管理。使消费者获得更加便捷的生活服务,使生产者获得较好的产品推广,使监管部门获得更全面的管理数据,从而更好地保证食品安全。农产品全程安全可追溯已经成为世界农业发展的趋势。

5 结论

目前,设施农业温室大棚智能控制技术是多变量、大滞后、强耦合的复杂温室大棚系统最行之有效的控制方法^[43-44]。随着设施农业温室大棚智能控制技术的研究,部分智能温室大棚已经可以突破自然环境的制约,按照人类的市场需求,为植物创造出最适宜的生长条件。

本研究分析了设施农业温室大棚智能控制技术的发展历程,研究了模糊控制技术、神经网络控制技术和专家控制技术中标志性智能控制方法的内涵、优缺点以及适用的控制环节。指出现阶段多种智能控制方法百花齐放,没有孰优孰劣之分。合理利用不同智能控制技术的优点,对多种智能控制技术进行集成融合,才能为作物提供更适宜的生存环境。

设施农业温室大棚智能控制技术的发展趋势必然是智能控制、传统控制及诸技术(如无线传感技术、物联网技术、身份识别技术等)的融合。在提高农作物产出率的同时,实现农产品全程安全溯源,实现各个环节智能化,向着高产、高效、环保、节能、安全、透明的方向稳步持续快速发展。作为设施农业的重点发展方向,温室大棚智能控制技术必然具有广阔的研究和应用前景。

参考文献:

- [1] 秘立鹏,宋建成,王天水,等. 设施农业温室大棚网络型自适应控制系统的开发[J]. 农机化研究,2014,36(7):124-128.

- [2] 聂海强. 温室环境控制方法研究[J]. 电子世界, 2013(22): 107–109.
- [3] 赵 斌, 王克奇, 匡丽红, 等. 我国温室环境的模糊控制技术应用现状[J]. 自动化仪表, 2008, 29(5): 1–4, 8.
- [4] Blasco X, Martínez M, Herrero J M, et al. Model – based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2007, 55(1): 49–70.
- [5] 梁 娜. 温度、湿度控制的发展概况及专利分析[J]. 机电信息, 2015(36): 165, 167.
- [6] 何南思. 温室大棚环境参数控制[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2014.
- [7] 王 君, 于海业, 张 蕾. 温室环境控制系统的发展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 371–375.
- [8] 刘 红, 符晓玲, 杨莲红. 模糊控制在温室控制系统中的应用[J]. 昌吉学院学报, 2013(4): 77–80.
- [9] 宫亦坤, 陈翠英, 毛平平. 温室环境多变量模糊控制及其仿真[J]. 农业机械学报, 2000, 31(6): 52–54.
- [10] 卞和营, 薛亚许, 王军敏. 温室大棚温湿度模糊控制系统及 PLC 程序设计[J]. 农机化研究, 2014, 36(9): 147–151.
- [11] 韩 毅, 许春雨, 宋建成, 等. 基于物联网的日光温室智能监控系统设计与实现[J]. 北方园艺, 2016(9): 207–210.
- [12] Hahn F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 77(1): 21–27.
- [13] Azaza M, Tanougast C, Fabrizio E, et al. Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring[J]. ISA Transactions, 2016, 61: 297–307.
- [14] 卢 佩, 刘效勇. 基于 LabVIEW 的温室大棚温、湿度解耦模糊控制监测系统设计与实现[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2012, 43(1): 124–128.
- [15] Trabelsi A, Lafont F, Kamoun M, et al. Fuzzy identification of a greenhouse[J]. Applied Soft Computing, 2007, 7(3): 1092–1101.
- [16] 曾庆良, 顾 强, 仇 毅, 等. 基于 Smith 模糊 PID 控制的温室监控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 1964–1966.
- [17] 朱 伟, 赵建平, 李 璐, 等. 基于 SOPC 和 WSN 的温室模糊 PID 控制系统的设计[J]. 电气自动化, 2015, 37(3): 98–100.
- [18] Homaifar A, McCormick E. Simultaneous design of membership functions and rule sets for fuzzy controllers using genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1995, 3(2): 129–139.
- [19] 王 君. 基于模糊控制策略的温室远程智能控制系统的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [20] 萧赞星, 袁书生. 模糊控制技术的现状及发展趋势[J]. 内江科技, 2014(1): 98–99.
- [21] 罗 兵, 甘俊英, 张建民. 智能控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [22] 郇 成. 智能温室控制算法的研究与应用[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [23] 李 倩, 申双和, 曹 雯, 等. 南方塑料大棚冬春季温湿度的神经网络模拟[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 190–196.
- [24] 程 曼, 袁洪波, 蔡振江. 基于全局优化预测的温室智能控制模型[J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 26–29.
- [25] 许童羽, 王 洸, 张晓博, 等. RBF 神经网络在北方日光温室湿度模拟预测中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(6): 726–730.
- [26] Fourati F. Multiple neural control of a greenhouse[J]. Neurocomputing, 2014, 139(SI): 138–144.
- [27] Eddine C, Mansouri K, Mourad M, et al. Adaptive neuro – fuzzy inference systems for modeling greenhouse climate[J]. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 2016, 7(1): 96–100.
- [28] Khoshnevisan B, Rafiee S, Mousazadeh H. Application of multi – layer adaptive neuro – fuzzy inference system for estimation of greenhouse strawberry yield[J]. Measurement, 2014, 47(1): 903–910.
- [29] 吴晓强, 黄云战, 赵永杰. 基于模糊神经网络的温室温湿度智能控制系统研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4): 63–66, 84.
- [30] Jang J S R, Sun C T. Neuro – fuzzy modeling and control[J]. Proceedings of the IEEE, 1995, 83(3): 378–406.
- [31] 冯 定. 神经网络专家系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1–4.
- [32] 石 琳, 陈帝伊, 马孝义. 专家系统在农业上的应用概况及前景[J]. 农机化研究, 2011, 33(1): 215–218.
- [33] 降 惠, 李 杰. 农业专家系统应用现状与前景展望[J]. 山西农业科学, 2012, 40(1): 76–78.
- [34] 王 健. 番茄生长发育模型研究及其专家系统设计[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
- [35] 晏 江. 面向商品化生产的设施蔬菜专家系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [36] Gonzalez – Andujar J L. Expert system for pests, diseases and weeds identification in olive crops[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 3278–3283.
- [37] Romeo J, Pajares G, Montalvo M, et al. A new Expert System for greenness identification in agricultural images[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(6): 2275–2286.
- [38] 吴晓辰. 温室栽培专家系统关键技术研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2013.
- [39] 张洪波, 陈 平, 刘 学, 等. 基于神经网络的专家系统在温室控制中的应用[J]. 成都信息工程学院学报, 2010, 25(3): 260–263.
- [40] 马丽丽, 贺超兴, 纪建伟. 基于环境因子的黄瓜病害预测研究[J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 160–162, 166.
- [41] 武向良, 高聚林, 赵于东, 等. 农业专家系统研究进展及发展方向[J]. 农机化研究, 2008(1): 235–238.
- [42] 宋建成, 秘立鹏, 郑丽君, 等. 一种设施农业温室大棚网络型自适应控制系统: CN201310139874.0[P]. 2013–04–22.
- [43] 胡金山, 王 熙. 基于 PLC/MCGS 组态技术的北方寒地温室环境监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 510–512.
- [44] 李 将, 俞阿龙, 蔡文科, 等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的温室控制系统研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 494–497.