

岳学军, 蔡雨霖, 王林惠, 等. 农情信息智能感知及解析的研究进展 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(6): 14-28.
YUE Xuejun, CAI Yulin, WANG Linhui, et al. Research progress of intelligent perception and analytics of agricultural information[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(6): 14-28.

农情信息智能感知及解析的研究进展

岳学军¹, 蔡雨霖¹, 王林惠², 刘永鑫¹, 王 健¹, 洪金宝¹

(1 华南农业大学 电子工程学院/人工智能学院, 广东 广州 510642; 2 湖南科技学院
电子与信息工程学院, 湖南 永州 425199)

摘要: 现代农业中, 农业生产者需要实时、准确、全面地了解农田环境和农作物的生长状态, 并对得到的农田信息数据做出相应分析、归纳和决策。农情信息智能感知和解析技术在现代农业生产中具有不可替代的地位。本文从农情智能感知和信息解析技术 2 个方面展开论述, 重点分析了国内外农业物联网农情信息智能感知技术和基于大数据分析的农情解析方法研究进展, 详细介绍了基于农情信息的智能决策技术在农机装备智能化应用的研究现状, 总结了目前农用传感器应用存在的问题, 并对今后在农情感知、信息解析技术、农业数据库技术以及智能决策技术方面的发展提出了建议, 以期智慧农业的深入发展提供参考。

关键词: 农情信息; 智能感知; 农业传感器; 信息解析; 物联网; 农业大数据

中图分类号: S511; S502

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2020)06-0014-15

Research progress of intelligent perception and analytics of agricultural information

YUE Xuejun¹, CAI Yulin¹, WANG Linhui², LIU Yongxin¹, WANG Jian¹, HONG Jinbao¹

(1 College of Electronic Engineering/College of Artificial Intelligence, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 School of Electronics and Information Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, China)

Abstract: In modern agriculture, agricultural producers need to know the farmland environment and the growth state of crop in a real-time, accurate and comprehensive manner, and make corresponding analysis, induction and decision of obtained information. Intelligent sensing and analysis technology of agricultural information plays an indispensable role in modern agriculture. In this review, we discussed two aspects of agricultural intelligent sensing and information analysis technology, focused on the research progress of agricultural information intelligent perception technology and agricultural information analysis method based on agricultural internet of things and big data at home and abroad, introduced the application of intelligent decision-making technology based on agricultural information in agricultural machinery and equipment intellectualization. The problems existing in application of agricultural sensors were summarized. Some suggestions were put forward for the development of agricultural information perception, information analysis technology, agricultural database technology and intelligent decision-making technology to provide a reference for the development of intelligent agriculture in future.

Key words: agricultural information; intellisense; agricultural sensor; information analysis; internet of things; agricultural big data

收稿日期: 2020-08-31 网络首发时间: 2020-10-10 17:55:18

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20201010.1617.004.html>

作者简介: 岳学军 (1971—), 女, 教授, 博士, E-mail: yuexuejun@scau.edu.cn

基金项目: 广州市科技计划 (201803020022); 国家自然科学基金 (61804057)

“农情”是指农作物生长阶段的环境、温度、物质、灾害等影响因素以及农业外界条件与农作物生产状态的动态跟踪,是种植人员对农业生产进行增产方法的重要依据^[1]。农作物生长的相关信息数据决定了农产品的产量,进而影响农产品价格和农民收入^[2]。随着信息技术在农业领域的广泛应用,各种面向复杂应用背景的农业信息管理系统大量涌现,信息资源丰富,表现形式多样,信息容量和处理要求已大大超出传统处理方法的能力。如何有效采集、筛选和利用这些信息资源,充分体现农业信息的时效性和综合性,是农业信息化亟待解决的问题之一^[3]。早期的农情监测设备为单机监测,传感器采集到的数据存储在本机,需要定期安排专人通过USB接口转存^[4],效率极其低下。近年来随着智慧农业的全球化推进,先进科学技术与农业领域紧密结合,在新兴概念“精准农业”中,农产品质量溯源系统、农情预警系统、辅助决策系统等现代化农业信息系统^[5]对农情信息数据感知和解析的依赖度正逐步提高。在农业生产的过程中,农情信息的智能感知及解析是关键环节,也是整个智慧化、信息化农业的发展基础。本文从农情感知和信息解析2个方面来进行综述,分析探讨了现代高新技术在农业中的应用现状,并对未来农业发展与科学技术的结合提出建议。

1 物联网监测与信息传输技术

1.1 农业传感器技术

传感器技术是智慧农业概念中的一项关键技术,是现代农业信息化技术的核心。通过传感器采集获取各种农情信息和数据,再经由信号传递模块

和后台解析技术,将抽象的农情信息转换成数字信号,实现被测对象物理量、化学量和生物量等非电量测量,对促进农业生产活动的发展具有重要意义。

1.1.1 农业监测传感器种类 农业传感器种类繁多,根据应用场景大致可分为环境类传感器、农业气象类传感器、动植物生长状态类传感器和农机参数类传感器4大类,具体分类和对应的功能如表1所示。农用传感器根据其应用领域不同所采用的器件种类也非常丰富,图1为部分传感器示意图,其中,温湿度传感器、土壤水分传感器和二氧化碳传感器均属于环境传感器,而机油压力传感器、风向风速传感器和植物径流传感器分别属于农机参数、农业气象和动植物生长状态传感器。在未来农业智能感知领域,多传感器互相配合,信息共享是智慧农业的趋势,可形成综合性强、连动性好、实时性高的智慧农业传感系统。

1.1.2 无线传感网络 WSN中的传感器通过无线方式通信,因此网络设置灵活,设备位置可以随时更改,还可以跟互联网进行有线或无线方式的连接。针对无线传感网络规划与快速部署问题,岳学军等^[6]研究了柑橘园射频信号衰减模型并进行了组网试验;曹惠茹等^[7]研究了无线多媒体传感网络在通常工作环境下信号的传播特性;2017年Cao等^[8]提出了一种基于植保无人机的WSN云辅助数据收集策略,该方法传输快速且有着非常好的数据完整性;同年,该团队还提出了一种由传感器节点、固定群领导和无人机-sink组成的无人机-无线传感网络协作框架,极大地优化了“无人机+无线传感”的工作模式^[9]。

表1 农业传感器的具体类型和功能

Table 1 Specific types and functions of agricultural sensors

农业传感器 Agricultural sensor	具体类型 Specific type	功能 Function
环境传感器 Environmental sensor	土壤含水量、养分、电导率传感器;水体含氧量、酸碱度、浊度传感器;温湿度、气体浓度传感器等	对农产品生长环境如水域、土壤、空气中的关键要素进行监测,密切关注外部环境的变化,为农作物健康成长做好管理和保障工作
农业气象传感器 Meteorological sensor	光照量、光照度传感器;风速风向传感器;紫外线、辐射量传感器;降雨量传感器等	监测农业生产活动中常见的气象要素,能有效预测气象环境,提高农民对气象灾害的预防能力
动植物生长状态传感器 Growth state sensor of animal or plant	植物茎流传感器;叶绿素传感器;激素类传感器;葡萄糖小分子传感器等	对作物生长过程中的生命数据进行监测,及时了解作物的生长状态,有利于控制存活率和实现大数据分析
农机参数传感器 Agricultural machinery parameter sensor	电机温度传感器;机油压力传感器;传动传感器;红外传感器等	实现对农业机械工作状态的监控,提高生产植保效率,有效地增强对智慧农业的体系管理



图 1 部分传感器示意图

Fig. 1 The diagrams of some sensors

1.2 物联网信息采集与传输技术

农业物联网是指通过农业信息感知设备(传感器等),按照约定协议,把农业系统中动植物生命体、环境要素、生产工具等物理部件和各种虚拟“物件”与互联网连接起来,进行信息交换和通讯,以实现农业对象和过程智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络^[10]。图 2 为农业物联网的基本结构示意图,分别展现了感知层、网络层和应用层的 3 种应用场景,3 个环节紧密结合、环环相扣,从实际农田环境到监控平台、移动端的信息传

输和处理是物联网农业的核心思想。近年来,农业物联网一直是“全国两会”的热门话题。2020 年 2 月 5 日国务院发布的“中央一号文件”中指出,要“依托现有资源建设农业农村大数据中心,加快物联网、大数据、区块链、人工智能、第五代移动通信网络、智慧气象等现代信息技术在农业领域的应用”。一些农业物联网试点项目如中国试点项目和欧洲试点项目,利用卫星遥感技术帮助分析和监测各种环境特征温度、土壤参数和大规模农业,有助于理解大规模实施问题中的不同挑战^[11]。

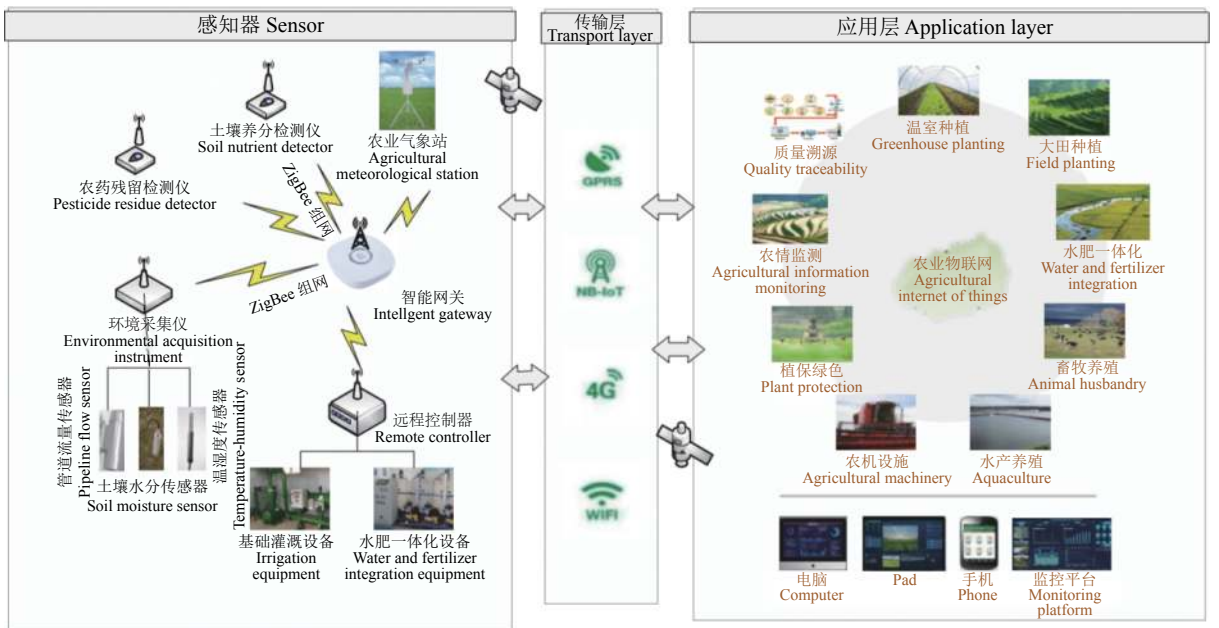


图 2 农业物联网基本结构

Fig. 2 Basic organization of agricultural internet of things

物联网主要由感知层、网络层和应用层3层结构组成,它是互联网计算模式的进一步发展。在物联网发展的过程中,农业一直是物联网应用的重要领域,物联网技术的加成使得农业生产、销售、管理和服务等整个产业链有了新的发展方式。物联网的监测模式有利于对农作物的整体把握,我国近些年不断在物联网农业领域深耕下,亦形成自己的一套农业产业统筹和规划策略。以四川盆地的玉米地生产为例,胡亮等^[12]设计了一个基于物联网的玉米病害环境监测系统,该系统在感知层利用传感器技术实时采集环境数据,再通过传输层的4G移动通信网络实现远距离传输,基于四川农畜育种攻关云服务平台,应用数据库技术和云服务技术实现数据的存储和管理,最后应用层采用B/S模式完成数据展示工作。该系统实现了对玉米生产地环境和生长状态相关数据的快速、精准、实时、自动测量等功能,极大地降低了生产管理过程的人力和资源成本,提高了工作效率和玉米产值。

农业物联网一体化互联模式在农情监测方面以更加精细和系统的方式让人类实现对农业生产活动中各要素的认知和管控,对农田、水产、果园等集中化农业场景制定出合理高效的应对方法,对突发情况进行监控并且实时反馈到云平台服务器等,极大地提高了人类对农业动植物生命本质的认知能力、先进农业生产系统的调控能力和自然灾害的预防能力。

2 基于物联网的农情信息智能感知技术

2.1 农田土壤信息感知技术

土壤的质量决定了当地人们的生活和生产方式,是人类赖以生存的物质基础。良好的土壤环境不仅能够促进农作物茁壮成长,还与人类身体健康有着密切的联系^[13-14]。随着科技的进步,对土壤各项信息的监测技术也逐渐走向现代化和信息化,以确保在农业生产中有合格的土壤环境。图3a为奥地利POTTINGER公司的车载综合土壤传感器TSM,可以实时地扫描土壤表层和深层土质结构,得到不同区块的压实度、含水率、电导率和土壤类型等;图3b为美国精密种植(Precision planting)公司的Smart firmer传感器和Delta force压力传感器,能够采集土壤的有机质含量、温度和湿度信息以及土壤的硬度信息。

智慧农业的全球化推进促使农业从业人员、生产人员、各大研究机构以及大型企业等对土壤信息



a: TSM 车载传感器
a: TSM on-board sensor



b: Smart firmer 传感器
b: Smart firmer sensor

图3 土壤传感器

Fig. 3 Soil sensors

检测方法展开了大量研究。在土壤含水量检测方面, Antonucci 等^[15]使用主动红外热成像法实现了实验室和现场的土壤含水量快速检测;蔡坤等^[16-17]也分别基于RC网络相频特性和基于LVDS传输线延时检测技术设计了土壤含水率传感器,前者具有快速检测的优点,而后者在精准度上有更好的表现。在土壤有机质和化学元素检测方面,国外有比利时列日大学的Genot等^[18]使用近红外反射光谱法检测土壤有机质含量;Hong等^[19]采用毛细管气相色谱-电子捕获检测器和质量选择性检测器(MSD)同时测定土壤浸出液中的2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)、3,6-二氯-2-甲氧基苯甲酸(麦草畏)和(2-(4-氯-2-甲基苯氧基)丙酸(甲基丙酸)。在国内,邓小蕾等^[20]和李民赞等^[21]基于卤钨灯光源和多路光纤法设计了土壤全氮含量检测仪;秦琳等^[22]利用杜马斯燃烧法和凯氏定氮法测定土壤有效态成分来分析标准物质的全氮含量,实现了土壤中氮元素的有效检测;王儒敬等^[23]和张俊卿等^[24]设计了土壤钾离子非接触电导检测装置,基于光谱、卷积神经网络、深度稀疏学习等方法对土壤全钾含量进行预测;李颖等^[25]和张俊宁等^[26]利用近红外光谱法分析了北京典型耕作土壤的营养信息,研究了基于激光诱导击穿光谱的土壤钾素检测方法,应用傅里叶变换近红外光谱技术分析了土样的全钾含量;代艳娜等^[27]通过将同位素内标法定量结合超高效液相色谱-串联质谱法,建立了测定土壤中灭蝇胺及

其代谢物残留的方法; 杨学灵等^[28]建立了用超声提取土壤和沉积物中异丙胺的分析方法, 具有回收率、精密度和准确度高的优点。在土壤信息的传输和反馈方面, 陈二阳等^[29]针对传统的土壤环境参数物联网采集模块存在的可扩展性低、实时性差、数据可靠性不高等问题, 以 CC2530 芯片为 ZigBee 组网核心, 以 STM3 为 MCU, 使用 JSON 刻画传感器的参数和状态数据, 同时提出了一种基于感知源信任评价的可靠数据保障模型; 岳学军等^[30]等设计了一种基于土壤墒情的自动灌溉控制系统, 该系统能准确监测土壤墒情信息并通过采集节点经互联网上传至服务器, 实时性强, 控制性能好。彭炜峰

等^[31]优化了丘陵地区农田土壤信息监测系统, 能够对山地农田各区域进行土壤酸碱度实时监测。

2.2 农田环境信息感知技术

农田环境信息感知是指对农业生态环境实时监控以及和农业生产活动相关的环境监测。通过对与植被和农作物生长密切相关的水、气、光照、热量等农业气象环境因子进行监测并采集信息, 及时掌握大田的环境因素, 从而为农业生产等相关管理工作提供相应的科学数据和决策依据。典型的延伸应用有大田气候科学研究、农业气象预报服务、农业灾害预警服务、农田小气候监测系统等。图 4 展现了一些常见的监测气象站。

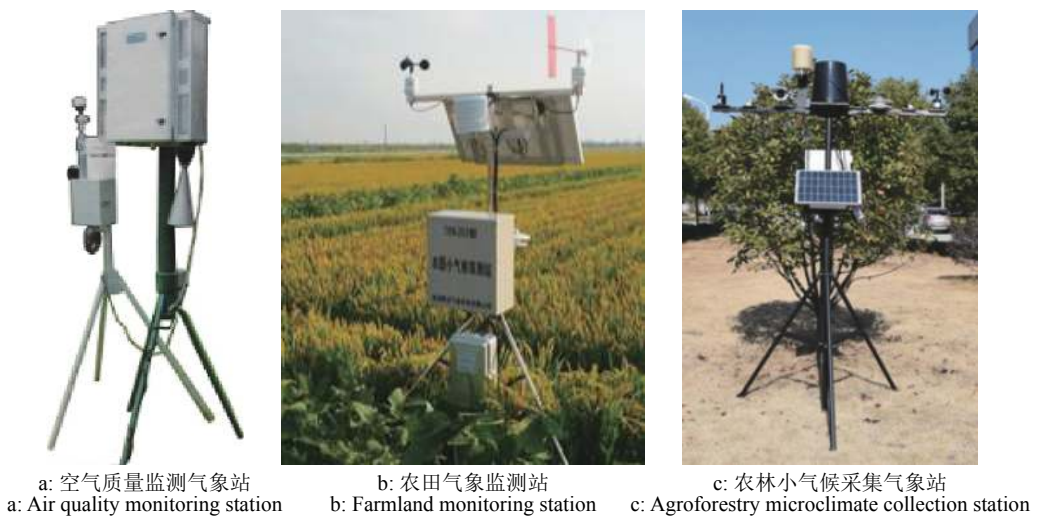


图 4 农业气象站

Fig. 4 Agricultural meteorological stations

温室气象感知技术目前已经非常成熟且有很多成功的实践案例。孙通^[32]在大棚温室环境下, 借助农业气象物联网技术, 使各个温室成为无线传感器网络检测控制区, 能够全面测控蔬菜大棚中的环境变量(如温度、空气中水汽含量、通光量等), 达到有效改进蔬菜品质和调整生长周期的目的。蔡坤等^[33]设计了一种基于误码检测机制的红外光雨水传感器, 解决了传统雨水传感器在滴灌系统应用中只能监测降雨的开始而不能监测降雨结束的弊端, 可以全面监测雨水给农田环境带来的影响。王斌等^[34]针对中小型养殖场的实际需求, 利用台达 PLC 及触摸屏设计了一个自动测控系统, 实现对猪舍内温湿度和氨气浓度等环境生态参数的监测。Yue 等^[35]利用静电纺丝简单、低成本和多功能性的优势, 设计了基于 ZnO-TiO₂ 纳米纤维静电纺丝的高性能湿度传感器, 对相对湿度为 1%~90% 的变化范围具有高灵敏性。

对于大规模农田种植, 农田环境和气象监测的

研究不仅可以让农业生产者预估气候的变化, 以便更好地控制生产活动, 提高产量; 也是现代化农业、智慧农业迈出一大步的关键隘口。农田环境和气象监测工作涉及范围比较广、涉及到的内容也较多, 具有数据量大的突出性特点^[36]。卫星遥感监测技术和物联网地面覆盖监测技术为农田环境和气象监测提供巨大的助力, 是现在以及未来的必然研究方向。前者具有探测范围广、信息反馈快、全局性把握强等特点, 能够快速准确地收集农田整体气象特点, 分析未来气象趋势; 后者是基于“3S”技术、网络技术、物联网技术及各类农业传感器构建的地面传感网^[37], 能够对农田地表各类环境指标全面覆盖、精准监测, 具有较强的系统性。

2.3 农田病虫害感知技术

在农业生产的过程中, 农作物可能遭受到病虫害的影响, 甚至导致其无法顺利生长。所以, 病虫害的智能监测和防治是农业生产中的重要环节。2019 年我国首个以作物病虫害监测预警为研究

内容的机构——西北农林科技大学作物病虫害监测预警研究中心正式成立^[38],预示着我国防治病虫害的工作由传统人工防治转型向信息化管理、智慧防治的未来发展趋势。

目前,病虫害的检测方法主要有荧光光谱法、高光谱成像、可见/近红外光谱法和数字图像处理等^[14]。光谱技术对苹果、柑橘、枣等虫害的无损检测效果良好^[39-41]。在病虫害监测中向量机的使用也是一大热点,Griffel等^[42]基于光谱特征使用支持向量机来检测感染病毒的马铃薯植株;Romer等^[43]基于荧光光谱特征使用向量机来检测小麦叶锈病;Kaur等^[44]使用图像处理和支撑向量机技术对植物的叶面图像检测,并以此判断植物病变情况,计算患病面积的百分比。许良凤等^[45]研究了基于深度学习的病虫害智能化识别系统,使用多分类器融合的方法对玉米叶部病害进行识别,构建病害的深度学习模型,较好地判断和预测玉米叶片受病虫害的概率和面积。与物联网技术的结合是作物病虫害防治的发展趋势。赵小娟等^[46]设计了基于物联网的茶树病虫害监测预警系统,该系统将多媒体、计算机图像识别、GIS等技术和自动性诱仪、高清摄像机等硬件设备相结合,实现了茶园环境数据,病虫害信息的自动化监测。朱静波等^[47]在病虫害监测和预警中应用无线传感器网络,首创汇聚节点预处理原始数据,减轻了数据传输的负担。

农田杂草的感知技术主要是基于视觉特征来进行分析,运用图像技术和光谱法对杂草和作物进行分离,精确定位杂草位置,精准对靶控制。Watchareeruetai等^[48]使用单目相机,利用纹理和颜色来检测杂草;Wajahat等^[49]使用单目相机,基于叶片颜色和边缘形状特征进行杂草检测;Bakhsipour等^[50]在杂草识别系统中加入了视觉神经网络技术,为杂草识别提供了新方法和新思路。Louargant^[51]等结合空间信息和光谱信息对农作物杂草早期检测采用无监督分类算法;David等^[52]开发了一个可快速部署的杂草分类系统,该系统不需要提前确定农田中存在的杂草种类,通过直接使用可视化数据来实现杂草定位,极大地降低了工作难度,提高了智能化水平。

2.4 作物生长信息感知技术

无论是对农田土壤、空气环境进行监测,亦或是对病虫害的及时处理,其本质都是为了作物有一个良好的生长发育状况和长势。作物的生长特性反映了其内部生理状态和外部形态特征,对作物生长过程中的生理生长状态进行监控有助于指导农业生产活动。图5展示了一些常用的作物生理生长状态感知手段和相关传感技术。植物生长的内部生理状态主要表现在径流速度、激素、葡萄糖等小分子和pH的变化,外部形态主要表现为叶面积、根茎、杆径特征。



图5 作物生理状态感知技术

Fig. 5 Perception technology of crop physiological state

2.4.1 内部生理状态感知 径流速度感知主要采用热技术方法,包括热扩散、热平衡、热场变形等方法。激素类感知主要采用电化学的方法,其优点是灵敏性好、测量范围大、准确度高以及成本低等。葡萄糖检测的经典方法是利用葡萄糖氧化酶催化葡萄糖氧化生成过氧化氢,再用辣根过氧化物酶催化生成有色产物,然后用分光光度法进行检测,该方法的主要缺点是含有致癌物质并污染环境^[53]。在叶绿素的检测中,常常运用光谱技术结合超声波、图

像处理、机器视觉等方法来进行。Jones等^[54]使用多光谱成像传感器检测叶绿素含量和浓度,并且使用超声波传感器估算植被高度以提高叶绿素含量检测精度;Baresel等^[55]将光谱技术和数字图像处理技术结合用于叶绿素含量检测;孙红等^[56]研究了基于近红外光谱技术的叶绿素含量检测方法;岳学军等^[57]基于高光谱构建了柑橘叶片中叶绿素无损检测模型,可快速无损地对柑橘叶片叶绿素含量进行精确的定量检测,为柑橘不同生长期的营养监测提

供理论依据。对叶片其他元素含量的检测,冯伟等^[58]基于高光谱遥感特征进行小麦叶片含氮量检测、小麦氮素积累动态检测等技术研究;黄双萍等^[59-61]和岳学军等^[62-63]分别构建了基于高光谱的磷元素预测模型、基于流形学习算法的柑橘叶片氮含量估测模型以及基于反射光谱的钾水平预测模型,试验相对误差小、预测模型可靠,为作物生理感知技术的进展提供了技术基础。

2.4.2 外部形态特征感知 叶面积的测量大多采用激光传感器来进行。这种传感器可以通过扫描植物冠层和叶片结构来快速获取叶片表面的点云数据。这些点云数据体现了叶片的生长规律,非常适用于建立模型和后续分析。其他的一些外部特征如杆径、果径等也有大量其余的方法,陈学深等^[64]在研究水田环境下稻株的识别和定位问题时,提出了一种触觉感知方法,根据稻草辨识的力学差异及除草的生理高度,确定了感知梁的抗弯刚度,并进行了传感器标定。

3 基于大数据融合的农情信息解析技术

3.1 多源农情信息数据库技术

智慧农业即信息农业、数据农业,农业数据是智能分析和决策的必要前提和基础,随着智慧农业的技术推进,农业数据所涉及的范围也越来越广泛,数据结构和种类也日渐丰富。农业数据库是一切农业信息工作的承载点,加强对数据库技术在农业领域的应用探索,可以有效促进农业信息化管理水平的提高,并且为信息化科学管理提供更加广阔的空间。

数据库技术与建设工程学、遥感技术、地理信息学等技术相结合,形成了很多新的数据库产品技术,如通用数据库技术、空间数据库以及遥感影像数据库技术等^[65]。1) 通用数据库技术:包括关系数据库系统、对象数据库系统和对象关系数据库系统3种数据库系统模式。关系数据库系统是一种简单的二维表,仅能处理数值和字符串,没有丰富的数据类型,也不支持高性能的存储和查询,但它是数据库系统的标准和基础;对象数据库系统是随着面向对象技术方法渐渐与数据库相结合而成,其继承了关系数据库技术,又在其基础上延伸了多种数据库类型,如分布式数据库、工程数据库和多媒体数据库等;对象关系数据库结合了前两者的特点,发展了面向对象的建模能力,从而提高了操作复杂数据的能力,是第3代数据库的发展产品。2) 空间数

据库技术:农情监测数据信息中绝大部分数据都与空间位置密不可分,因此数据库与地理信息系统结合形成的空间数据库是农情监测数据库技术中的重要一环。空间数据具有多维复杂性,包括数据属性、空间位置和数据随时间变化等特征,空间数据库技术则相应地保存了这些数据以及它们的特征,与传统数据库不同,空间数据库通常包含这些空间拓扑结构或者距离信息,拥有复杂的多维空间索引算法。3) 遥感影像数据库技术:卫星技术的发展使得遥感影像的数据信息快速增长,应运而生的便是与之相应的影像数据库技术。目前遥感影像数据库研究的前沿和热点依然是影像压缩技术、影像分片存储技术和影像索引技术等。在充分利用GIS、RS和其他新兴技术的前提下,国内外建立了多个成功的大型遥感影像数据库系统,如Google Earth影像地图服务系统、Microsoft Virtual Earth以及Digital NGP等。

国外在数据采集和分析研究的基础上,建设了相关的农情数据库,利用最新的数据库技术管理和共享相关的农情信息。美国先后建立了包括AGRICOLA、AGRIS、BIOSIS Preview、PestBank、CMS MBR(生物网)、国家海洋与大气管理局数据库NOAA、农业网络信息中心等在内的多个大型数据库系统和网络信息中心,积累了大量的农业信息资源^[66]。德国也非常重视农业数据库管理系统的建设,各州农业局开发数据管理系统、电视文本显示服务系统和植保数据系统,向农户提供农作物生产技术、病虫害预防和防治技术以及农业生产资料市场信息等^[67]。法国农业部收录具有代表性的涉农网站,并通过网络平台集成,定期或不定期发布政策、统计数据、市场动态等农业信息以实现农业数据共享^[68]。

国内学者对农情数据库技术及系统的开发也进行了深入研究。方利等^[69-70]开展了多源海量统计遥感数据库研究,制定了统计遥感基础地理数据库标准,设计了统计遥感基础地理数据库结构及要素的编码体系,并基于PowerDesigner设计数据库模型;同时,在统计遥感数据库建设过程中综合利用了影像编目、元数据管理和数据转换等技术,多方式实现了多源统计遥感数据的集成与管理。此外,我国通过科技平台项目建设,先后建成了各行业的科学数据中心,比如中国农业科学院农业资源与农业区划研究所建成了MODIS-R卫星数据共享数据发挥、中国科学院地面站建立了负责接收和管理的数据共享平台、中国气象局建立了气象数据共享中心等,中国农业科学院等多家单位收集和整理了我国

历史以来的重要农业信息, 并建设成了国家级的数据库中心, 通过网络对外免费共享^[65]。

3.2 云计算与大数据分析技术

互联网+大数据+云计算与农业的结合, 使当前

现代化农业发展已经从数字化、网络化进入到以数据深度挖掘与融合应用为特征的智慧化阶段, 传统农业进程正在向集约化、精准化、智能化转变。图 6 为农业大数据技术的工作框架示意图。

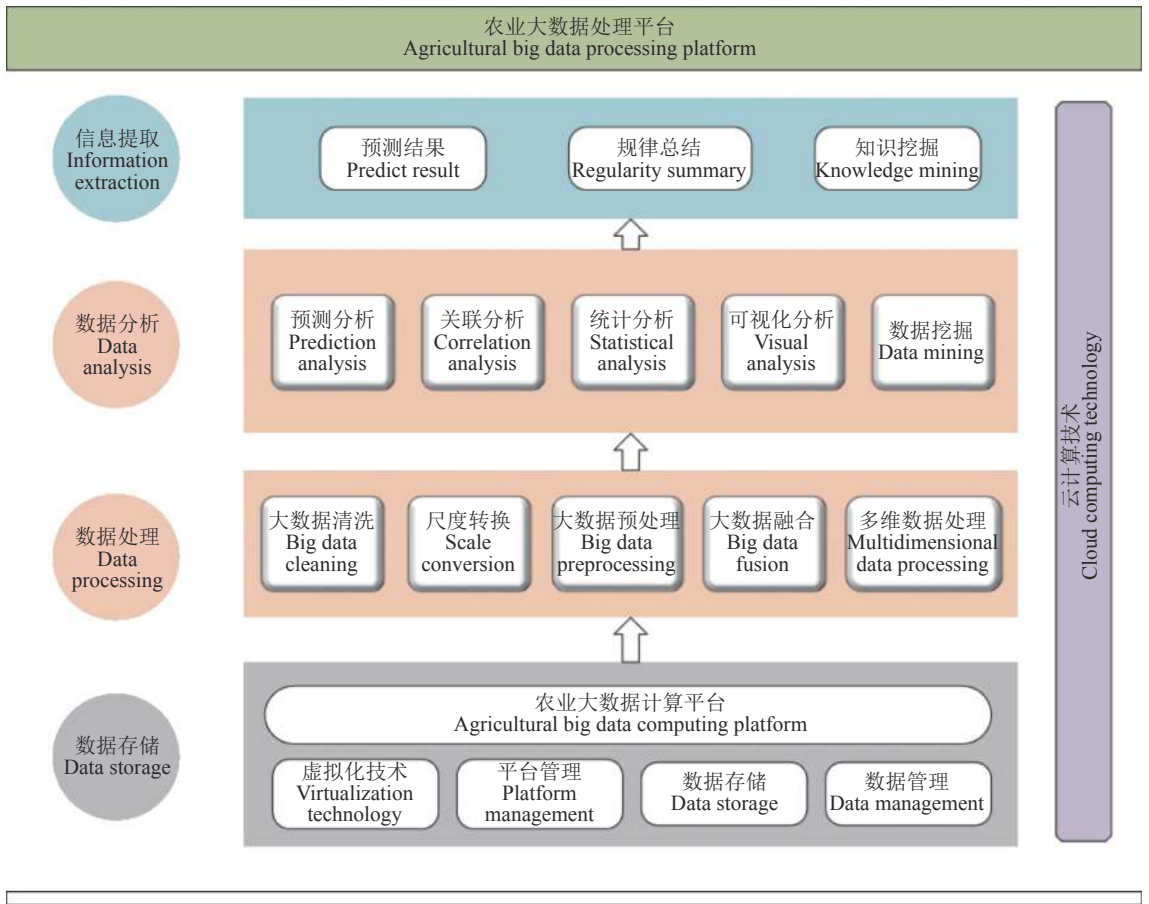


图 6 农业大数据技术

Fig. 6 The technology of agricultural big data

3.2.1 农业大数据 农业大数据就是把各类农业数据进行采集、汇总、存储和关联分析, 从中整合新要素、发掘新资源、发现新知识、创造新价值的一种农业新业态。农业大数据时代, 不仅可以通过建立综合的数据平台调控农业生产, 还可以记录分析农业种植养殖过程以及农产品流通过程中的动态变化, 通过分析数据、总结经验, 制定一系列调控和管理措施, 使农业发展高效有序。从农业市场需求来看, 农业大数据可用于指导农事生产、预测农产品市场需求、辅助农业决策、规避风险等目的; 从农业生产环节来看, 农业大数据可以利用传感器采集气候、土壤大数据, 提供农户最佳的栽种管理决策, 协助农民有效管理农地, 如美国 EarthRisk 公司利用其旗舰产品 TempRisk 对 60 年的气象历史观测数据基于 820 亿次计算, 进行天气分析识别和预测, 最长可以提前 40 d 生成冷热天气概率, 极大地加强了农情预警^[71]; 从农产品经销溯源上看, 无论是供应

链经济还是食品安全, 妥善利用大数据技术平台, 可以实现从田间到餐桌的每一个过程追踪, 让管理过程简洁、透明、高效、安全, 如可以根据花生仁的元素特征数据得到花生的原产地, 溯源正确率 90% 以上, 具有很高的可靠性^[72]。

3.2.2 云计算技术 “云计算”是一种超级计算技术, 它的核心在于利用高速的网络运输功能, 将处理完的数据从计算机终端服务器中转移到“云”端上进行存储。这里的“云”指的便是虚拟化的计算机终端存储资源地, 个人用户和企业用户不需要花费大量的资金购买昂贵的硬件, 而是通过租赁或者花费少量的资金购买超级计算机集群的“云服务”就可以获取超强计算能力, 完成对计算机数据储存的所有需求, 这就是“云计算”带给用户全新的一种商业化模式^[73]。崔晓军等^[74]利用云计算技术对温州市的农业大数据平台进行研究, 建立了大数据中心、大数据统计分析模型以及大数据可

视化平台。上海市也依托云服务中心建设项目,采用 vSphere 虚拟化技术,通过新增硬件并与原设备相结合的方式,完成了上海农业云服务中心的建设,在保护已有投资、盘活存量资产、提高系统建设速度、提升农业业务系统稳定性与便捷性等方面,取得了明显的社会和经济效益。

3.2.3 大数据分析技术 大数据和大数据技术是不同的概念,前者是后者的承载、后者是前者的开发应用。大数据技术的开发与应用非常重要,数据只有经过不断分析提炼才能形成珍贵的价值,农业大数据也不例外,需要进行相应数据预处理,才能降低噪声和复杂性,增强数据可操作性,通过关联规则等挖掘分析,从海量数据的千丝万缕联系中找出规律和价值所在^[75]。农业大数据清洗技术的关键在于利用相关手段把“脏数据”变成符合质量标准的数据。随着农业行业大数据愈来愈庞大和复

杂,大数据清洗技术也逐渐由人为和程序完成转为云计算的方式;而农业大数据关联分析和预测技术主要过程就是在庞大的数据中找出其中的频率模式、关联性、相关性以及其中的因果关系,从而发现某种农业现象的规律和结论等。

3.3 农情信息智能解析算法

机器学习是近年来的技术趋势,因其强大的数据处理能力和学习成长能力,众多实际问题得到了空前高效的解决方式,农业领域目前已经应用到农产品质量检测 and 分级、杂草和植物病虫害检测、土壤分析等方面。机器学习在农业生产中的应用加快了农业信息化和智能化进程。机器学习分为监督学习、非监督学习、半监督学习和强化学习 4 种,表 2 根据每种方式中的不同算法进行分类,列举了每种算法的突出优点及其在农业中的具体应用。

表 2 智能解析部分算法及优点

Table 2 Some algorithms and advantages of intelligent analysis

机器学习 Machine learning	分类算法 Classification algorithm	优点 Advantage
监督学习 Supervised learning	朴素贝叶斯算法	善于处理小规模数据, 算法简单、稳定分类
	K-近邻算法	有较好的精度, 善于处理大量数据
非监督学习 Unsupervised learning	K-均值聚类算法	快速处理聚类问题, 高效处理较大的数据集
半监督学习 Semi-supervised learning	自训练算法	简单有效, 不需要特定的假设条件
	多视角算法	降维、模块化数据结构
强化学习 Intensified learning	Q学习	不需要对环境进行建模
	SARSA	实时性强, 易于控制

3.3.1 监督学习算法 监督学习是根据已有的数据集得出输入和输出之间的关系,并训练得到一个最优模型。监督学习中有学习和推理 2 个过程,如图 7 所示。训练数据既有特征(输入)又有标签(输出),通过机器训练,让机器可以找到特征和标签之间的联系,这便是学习的过程;而在面对只有特征没有标签的数据时,又能根据学习结果判断出标签,这便是推理的过程。研究人员利用对朴素贝叶

斯算法分别对鸢尾花的花型特征、核桃仁、蓝莓生长阶段进行分级分类,测试精度均为 90% 以上,证明该算法对简单分级分类不仅简单快速,而且具有稳定分类和可靠性高的优点^[76-79]。如果追求更高的精度,则可以采用 K-近邻算法,该算法在油菜籽和蓝莓生长阶段的分级中,分类精度分别达到了 98.0%^[68] 和 97.8%^[80]。

3.3.2 非监督学习算法 与监督学习不一样的是,非监督学习算法只有输入变量,没有输出变量,其目标是对数据中潜在的结构和分布建模,以便对数据进一步学习。由于没有输出的参照,所以非监督学习的目标重心并不是在学习和推理上,而是对输入的数据进行聚类 and 关联分析,比如新闻推送按照内容不同分为财经、娱乐、体育等,这便是聚类算法,旨在发现数据中内在的分组。K-均值聚类算法是非监督学习的重要算法。罗匡男等^[81] 在研究三七叶片 2 种病斑时,通过改变初始簇中心,选择距离绝对值最大的向量作为初始簇中心点的 K-均值聚

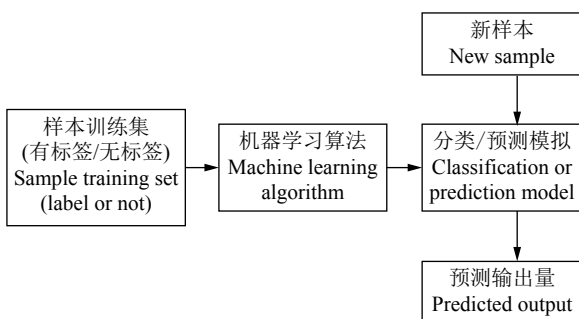


图 7 机器学习典型算法步骤

Fig. 7 The steps of typical algorithm of machine learning

类算法来提高分类的准确度;刘永娟等^[82]在对玉米抽雄期进行观测时,使用改进的K-均值聚类算法对玉米雄穗的灰度图像聚类分割,并以此分析生长时期;Zhang等^[83]在对作物图像的病虫害进行特征识别中,使用K-均值聚类算法分割图像,获取病虫害信息的形状和颜色特征,识别率较高。研究表明,在解决聚类问题上,该算法简单快速,能够高效处理比较大的数据集。

3.3.3 半监督学习算法 半监督式学习是一种监督式学习与非监督式学习相结合的一种学习方法,拥有大部分特征数据(输入)和少部分的标签数据(输出),可以使用非监督式学习发现和学习特征数据的结构关系,并使用监督式学习对无标签的数据进行标签的推理。徐邮邮等^[84]在获取山东泰安市周边的94个土壤样本光谱和含水量实测数据基础上,利用半监督模糊识别模型建立土壤含水量的光谱估测模型,充分利用了样本中确定性与不确定性的信息,使土壤含水量推理估测具有很高的可靠性。吴四茜^[85]在相似青梅品级分类问题的研究中引入半监督学习这一典型的机器视觉分类技术,运用大量获取相对简单的无标签相似青梅样本特征信息与少量有标签样本特征信息相结合,克服了有标签样本获取困难、数量少等问题的限制,缓解了有标签样本数据之间缺乏相关性的现状,增强了有标签样本训练的认知模型的鲁棒性。

3.3.4 强化学习算法 强化学习的本质是解决决策问题,即自动决策和连续决策的问题程序在一个问题的处理上尝试所有可能的解决方案,记录不同方案执行后的结果并试着找出最好的一次尝试,这便是强化学习的过程。这一过程主要包括4个元素,即Agent、环境状态、行动和奖励。该算法的核心在于“奖励”和“惩罚”机制,当执行的方案较优时,获得“高分”反馈,反之获得“低分”反馈,在整个学习过程中,通过反馈信息获得更多的累计“奖励分数”,不断调整解决方案,以便获得最好的结果。该算法一般用于农业控制上,如农机自主巡航、喷施控制、大田和果园灌溉等。Zhou等^[86]应用强化学习设计了机器人自主获取导航控制策略方法,使机器人能够不断适应动态变化的导航环境,并且在自制式移动机器人平台上开展了试验,结果表明机器人可以在实际导航环境中自动获取更优的导航策略,完成预期的导航任务;Sun等^[87]提出了一种基于强化学习的可变速率灌溉控制方法,开发了基于神经网络的土壤水位和作物产量快速模型,对不同地理位置和作物类型的模拟表明,基于作物产量和水资源消耗所提出的方法可以显

著增加收益,为智慧灌溉控制提供了一种选择。

4 农情信息智能决策技术

为了解决计算机自动组织和协调的多模型运行,对大量农业数据库中的数据存储和处理达到更高效、更准确的决策能力,出现了智能决策技术的概念并快速投入实践。智能决策技术旨在大量的农业生产信息数据中挖掘最有价值的信息和规律,对农业生产过程进行判断和智能指导,最大化提高农业生产效率。常见的智能决策技术包括变量作业决策、路径规划决策和多机协同作业决策。

4.1 变量作业决策

变量作业一直是智慧农业的重点研究对象,尤其体现在变量喷雾和变量施肥上。被模块化植入了变量喷雾系统的Arrow-F1000(图8a)^[88]和根据果树树形特点研制的新型风送变量喷雾机(图8b)^[89]均能够进行自主决策,实现变量喷雾的功能,根据大数据和专家知识,合理控制喷施量,形成自主判断、智能控制的智慧化模式。曾立^[90]利用植株特征和植株与机器人的相对位置进行喷施决策,通过提取采集到的植株图像特征,再经过模糊控制算法,利用PWM模块调节喷施量。苑严伟等^[91]设计了变量配肥施肥机和小麦精量播种变量施肥机,开发了基于作业处方图的氮磷钾配比施肥决策支持系统。赫云鹏^[92]设计了一个基于GIS技术的玉米变量施肥自动决策系统,该系统可以完成玉米地地块边界测绘、划分网格区域、标记采样点以及制作变量施肥图等一系列工作。

4.2 路径规划决策

路径规划通常指全局的路径规划,在农业中的应用一般体现在农业机械装备上,在作业区域全覆盖的前提下,对作业的效率、能耗和环境保护等参数进行优化,计算出最合理的行走路线。Karen等^[93]基于拖拉机导航设计的决策支持系统实现了效率最高、燃料最省、盈利较高的路径规划。Hameed^[94]提出了一种多目标优化覆盖的路径规划方法,其突出的优点是成本较低。刘刚等^[95]以空载或满载时间最短为基准,提出了一种基于GNSS的农田自动驾驶方法。孟志军等^[96]提出了一种面向农田作业机械的地块全面覆盖路径规划方法,其主要特点是农田被划分为不同区域,以此来分块选择不同的路径规划目标。对于全区域覆盖路径规划而言,考虑的不仅是转弯路径而且包括农田区域内的所有行驶轨迹,目前的规划方案有S型、口字型、回字型和对角型4种,如图9所示^[97]。



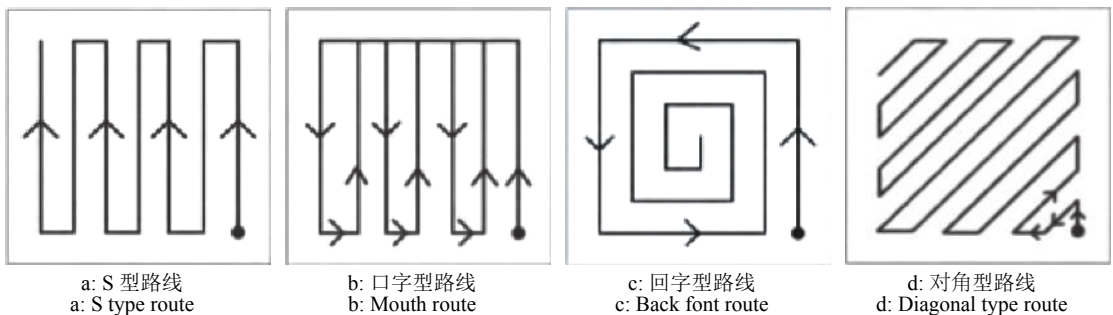
a: 五指式喷雾机
a: Five-port sprayer



b: Arrow-F1000 型变量喷雾机
b: Arrow-F1000 variable sprayer

图 8 果园变量喷雾机

Fig. 8 The variable sprayers used in orchard



a: S 型路线
a: S type route

b: 口字型路线
b: Mouth route

c: 回字型路线
c: Back front route

d: 对角型路线
d: Diagonal type route

图 9 全区域覆盖路线规划策略

Fig. 9 The route planning strategies for full-area coverage

4.3 多机协同作业决策

现代农机的 2 种不同发展方向: 一是超大型化和复杂化; 二是多台小型农机协同作业。多机协同作业对具有严格的作业窗口期或要求抢种抢收的意义重大^[14]。Chi 等^[98]研究了日本水稻、大豆和小麦等农业多机器人系统, 包括种植、播种、联合收割机等多种协同作业装备。曹如月等^[99]基于蚁群算法研究了多机协同作业任务规划, 建立了多机协同作业任务分配模型。郭娜等^[100]基于领航-跟随结构提出了一种收获机群协同导航控制方法, 该方法在建立收获机群运动学模型的基础上, 结合反馈线性化理论和滑模控制理论, 设计了渐近稳定的路径跟踪控制律和队形保持控制律。曹如月等^[101]基于 Web-GIS 设计了多机协同作业远程监控平台, 对各农机进行决策分析和任务调度, 从而实现多机协同作业

5 问题与建议

农情信息感知与解析作为精细农业工作中的重要一环, 对指导农业生产、保障农民增收和稳定农业发展具有重要意义^[102]。本文从农情感知技术

和信息解析技术 2 个方面展开综述, 分别介绍了当前应用在农业领域的高新技术, 如传感器、物联网、大数据技术和机器学习算法等。精准、智慧农业的发展目前正处于最关键也是最艰难的阶段, 对农情信息的掌控和处理是其中的核心所在, 随着工业技术的发展和农业现代化程度的提高, 科学技术在农业上的应用越来越广泛, 这也促进了农情感知与解析技术的变革和更新, 但同时也存在着一些问题需要不断地发展创新, 以适应农业发展新常态^[37]。

5.1 农业传感器技术存在的问题

智慧农业的发展离不开传感器技术, 现代信息技术的高速发展也推动着农业传感器技术的快速发展, 其前景非常广阔。目前农用传感器的应用仍然存在很多问题: 1) 传感器的性价比问题, 市面上大多数性能好的传感器价格较为昂贵, 对一般农户的农业生产活动帮助不大, 所以, 对于传感器在一般农业的全面应用还有距离; 2) 传感器的技术水平有限, 实时性和连续性有限, 信息获取难免出现有误差、不完整等问题, 限制着智慧农业的整体发展和推广; 3) 传感器的寿命也是一直以来被关注的问题, 大多数农用传感器的工作环境都在室外, 长期

暴露在阳光和雨露当中,导致使用寿命短,维护费用较高;4)目前农业中多数的无线传感网络拓扑还是基站星型拓扑型结构,并不是真正意义的无线传感网络,传感器的无线可感知化和无线传输水平不高。

5.2 今后发展建议

5.2.1 农情感知方面 传感技术的发展水平制约着整体感知技术的发展水平,只有不断改革和创新传感器技术和无线传感技术,朝多功能高性价比的传感器和实时高效的传感网络方向进行研究,才能让获取的农情信息可靠度得到高质量的保证;同时,要促进物联网和互联网等高新技术在农情感知应用上的紧密结合,保证农情数据信息的实时性和传递性,加强农田数据监督管理并有效地进行农业生产决策,提高产业链产值和农业行业整体价值。

5.2.2 信息解析技术方面 数据是经过不断提炼和分析才能产生价值,对于农业数据的解析是农业信息化、自动化和智慧化的前提,目前信息解析技术主要包括大数据、云计算、图像处理、神经网络和机器学习等相关技术。1)由于农业问题的复杂性,模块化处理方式是数据解析技术的总体发展趋势,将多源异构的农业数据按不同时空特性区分开,分类分析再进行汇总、归纳和决策;2)明确信息解析技术在农业上的需求导向,针对不同的农业问题深入发展相关技术,更加贴合农情和现代化农业理念;3)信息解析技术的发展和人才素质水平密切相关,要重视科研人员对现代化信息技术的学习和研发,扩大现有信息技术人员的知识面和职业素养,形成研究人员专业深度化和个人专业知识综合化的局面,从源头上提升农业信息解析技术的整体水平。

5.2.3 农业数据库技术方面 在未来农业的信息化、智慧化推进过程中,农业数据库技术具有重要的地位。1)加强数据库数据的易检性和共享性,减少数据传播过程中的阻力,增强数据的时效性和易用性;2)加强数据库技术的安全性,从设计和管理层入手,重视数据的安全性,让特有的信息能得到应有的保障;3)提高数据库的质量标准,结合当地实际农情,控制审核数据库建库标准,提高农业数据库质量,促进数据库的快速有效地进步;4)强化数据库管理,在数据库运行过程中加强检查和维护,确保数据库的正常运作,避免系统故障造成数据错误或数据丢失等现象。

5.2.4 智能决策技术方面 智能决策技术的应用必将在我国农业信息化建设的进程中产生极大地

助力。1)继续加深与高新技术的融合(如物联网、大数据、神经网络技术等),技术水平决定了智能决策技术的可靠度和可信度,在智慧农业的全面推进下,切实加强技术结合与技术创新;2)构建智能化决策机制,合理制定农业生产决策的相关要求与标准规范,加强信息互通、信息共享的理念,让农业决策规范化甚至制度化。

参考文献:

- [1] 马明,赵新子,蔺相志,等.电子农情监测物联网:农业的重要增产措施[J].农业开发与装备,2017(6):30-31.
- [2] 刘迁迁,宫哲.加强农情监测技术应用提升三农金融服务质量[J].农业经济,2016(4):17-18.
- [3] 孟祥宝,谢秋波,彭宾,等.农情综合信息智能监控体系的开发及应用[J].机电工程技术,2014(6):144-148.
- [4] 王大正,任博,刘珠明.不同类型农情监测系统间数据共享方案研究[J].中国农机化学报,2019,50(12):154-159.
- [5] DUAN Q, YANG R, CHEN Y. Automatic Identifying query interfaces of deep web based on preclassification-SVM[J]. *Sensor Lett*, 2013, 11(6): 1389-1395.
- [6] 岳学军,王叶夫,洪添胜,等.基于信道测试的橘园WSN网络部署试验[J].农业机械学报,2013,44(5):213-218.
- [7] 曹惠茹,李业谦,岳学军,等.无线多媒体传感网络不同部署环境下信号传播特性试验[J].测试技术学报,2016,30(5):389-393.
- [8] CAO H, LIU Y, YUE X, et al. Cloud-assisted UAV data collection for multiple emerging events in distributed WSNs[J]. *Sensors*, 2017, 17(8): 1818.
- [9] CAO H R, YANG Z, YUE X J, et al. An optimization method to improve the performance of unmanned aerial vehicle wireless sensor networks [J]. *Int J Distrib Sens N*, 2017, 13(4): 1-10. doi: 10.1177/1550147717705614.
- [10] 葛文杰,赵春江.农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J].农业机械学报,2014,45(7):222-230.
- [11] TERENCE S, PURUSHOTHAMAN G. Systematic review of internet of things in smart farming[J]. *Trans Emerging Tel Tech*, 2020, 31: e3958.
- [12] 胡亮,曹艳,唐江云,等.基于物联网的玉米病害环境监测系统研究与实现[J].中国农学通报,2020,36(22):154-164.
- [13] 刘子成.土壤环境监测技术的现状及发展趋势[J].江西农业,2020(14):16.
- [14] 刘成良,林洪振,李彦明,等.农业装备智能控制技术研究现状与发展趋势分析[J].农业机械学报,2020,51(1):1-18.
- [15] ANTONUCCI F, PALLOTTINO F, COSTA C, et al. Development of a rapid soil water content detection technique using active infrared thermal methods for in-field applications [J]. *Sensors*, 2011, 11: 10114-10128.
- [16] 蔡坤,徐兴,俞龙,等.基于LVDS传输线延时检测技术的土壤含水率传感器[J].农业机械学报,2016,47(12):315-322.

- [17] 蔡坤, 岳学军, 洪添胜, 等. 基于 RC 网络相频特性的土壤含水率传感器设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 36-43.
- [18] GENOT V, COLINET G, BOCK L, et al. Near infrared reflectance spectroscopy for estimating soil characteristics valuable in the diagnosis of soil fertility[J]. *J Near Infrared Spec*, 2011, 19(2): 117-138.
- [19] HONG M K, MYUNG-CHUL K, SMITH A E. Simultaneous determination of 2, 4-D, dicamba, and mecoprop in soil leachates by gas chromatography with electron capture detection[J]. *J Aoac Int*, 1996, 79(4): 998-1004.
- [20] 邓小蕾, 李民赞, 武佳, 等. 集成 GPRS、GPS、Zig-Bee 的土壤水分移动监测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 130-135.
- [21] 李民赞, 姚向前, 杨玮, 等. 基于卤钨灯光源和多路光纤的土壤全氮含量检测仪研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(11): 169-174.
- [22] 秦琳, 黄世群, 仲伶俐, 等. 杜马斯燃烧法和凯氏定氮法在土壤全氮检测中的比较研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 258-265.
- [23] 王儒敬, 陈天娇, 汪玉冰, 等. 基于深度稀疏学习的土壤近红外光谱分析预测模型[J]. 发光学报, 2017, 38(1): 109-116.
- [24] 张俊卿, 高钧, 陈翔宇, 等. 土壤钾离子非接触电导检测装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 367-371.
- [25] 李颖, 张小超, 苑严伟, 等. 北京典型耕作土壤养分的近红外光谱分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 183-186.
- [26] 张俊宁, 方宪法, 张小超, 等. 基于激光诱导击穿光谱的土壤钾素检测[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 294-299.
- [27] 代艳娜, 刘青海, 蒲继锋, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测芹菜和土壤中灭蝇胺及其代谢物三聚氰胺残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 5020-5026.
- [28] 杨学灵, 魏嘉良, 蔡子洋, 等. 超声波萃取-气相色谱法测定土壤和沉积物中异丙胺[J]. 广州化工, 2020, 48(15): 140-141.
- [29] 陈二阳, 袁姜红, 黎忠文, et al. 基于 JSON 的土壤环境监测物联网感知源信任评价模型研究 [J/OL]. 西安理工大学学报, 2020. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20200708.1442.002.html>.
- [30] 岳学军, 刘永鑫, 洪添胜, 等. 基于土壤墒情的自动灌溉控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 241-246.
- [31] 彭炜峰, 刘芳, 李光林, 等. 丘陵地区农田土壤信息监测系统的研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(4): 65-69.
- [32] 孙通. 农业气象物联网在蔬菜大棚中的应用[J]. 现代农业科技, 2020(16): 164.
- [33] 蔡坤, 洪添胜, 岳学军, 等. 基于误码检测机制的滴灌系统红外外光雨水传感器的设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 70-77.
- [34] 王斌, 刘雪梅, 张国强, 等. 猪舍生态环境监测和清洁控制系统的设计[J]. 农业工程学报, 2020, 36(3): 55-62.
- [35] YUE X J, HONG T S, XU X, et al. High-performance humidity sensors based on double-layer ZnO-TiO₂ nanofibers via electrospinning[J]. *Chin Phys Lett*, 2011, 28(9): 090701.
- [36] 马瑞丽. 基于物联网的农业气象监测的实现研究[J]. 农业技术与装备, 2020(7): 124-125.
- [37] 刘恺, 谭泗桥, 刘志杰, 等. 稻田农情监测技术研究进展及发展趋势分析[J]. 企业技术开发, 2019, 38(4): 38-41.
- [38] 黄华宁. 我国首个“作物病虫害草害监测预警研究中心”成立[J]. 科学种养, 2020(3): 63.
- [39] WANG J, NAKANO K, OHASHI S, et al. Detection of external insect infestations in jujube fruit using hyperspectral reflectance imaging[J]. *Biosyst Eng*, 2011, 108(4): 345-351.
- [40] 李震, 洪添胜, 王建, 等. 柑橘全爪螨虫害快速检测仪的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 49-56.
- [41] 田有文, 程怡, 王小奇, 等. 基于高光谱成像的苹果虫害检测特征向量的选取[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 132-139.
- [42] GRIFFEL L M, DELPARTE D, EDWARDS J. Using support vector machines classification to differentiate spectral signatures of potato plants infected with potato virus Y[J]. *Comput Electron Agr*, 2018, 153: 318-324.
- [43] ROMER C, BÜRLING K, HUNSCHE M, et al. Robust fitting of fluorescence spectra for pre-symptomatic wheat leaf rust detection with support vector machines[J]. *Comput Electron Agr*, 2011, 79: 180-188.
- [44] KAUR R, KANG S S. An enhancement in classifier support vector machine to improve plant disease detection[C]// IEEE International Conference on Moocs. IEEE, 2016.
- [45] 许良凤, 徐小兵, 胡敏, 等. 基于多分类器融合的玉米叶部病害识别[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 194-201.
- [46] 赵小娟, 叶云, 冉耀虎. 基于物联网的茶树病虫害监测预警系统设计与实现[J]. 中国农业信息, 2019, 31(06): 107-115.
- [47] 朱静波, 李闰枚, 董伟, 等. 基于数据预处理的病虫害农田小气候监测系统设计与实现[J]. 现代农业科技, 2017(15): 277-279.
- [48] WATCHAREERUETAI U, OHNISHI N. A new color-based lawn weed detection method and its integration with texture-based methods: A hybrid approach[J]. *IEEJ T Electr Electr*, 2011, 131(2): 355-366.
- [49] WAJAHAT K, FRANCISCD G, JON N, et al. Exploiting affine invariant regions and leaf edge shapes for weed detection[J]. *Comput Electron Agr*, 2015, 118: 290-299.
- [50] BAKHSHIPOUR A, JAFARI A. Evaluation of support

- vector machine and artificial neural networks in weed detection using shape features[J]. *Comput Electron Agr*, 2018, 145: 153-160.
- [51] LOUARGANT M, JONES G, FAROUX R, et al. Unsupervised classification algorithm for early weed detection in row-crops by combining spatial and spectral information[J]. *Remote Sen*, 2018, 10(5): 761.
- [52] DAVID H, FERAS D, TRISTAN P, et al. A rapidly deployable classification system using visual data for the application of precision weed management[J]. *Comput Electron Agr*, 2018, 148: 107-120.
- [53] 牟海维, 朱春辉. 植物生理传感器的研究现状与应用展望[J]. *农业与技术*, 2020, 40(13): 31-32.
- [54] JONES C L, MANESS N O, STONE M L, et al. Chlorophyll estimation using multispectral reflectance and height sensing[J]. *T Asabe*, 2007, 50(5): 1867-1872.
- [55] BARESEL J R P, RISCHBECK P, HU Y, et al. Use of a digital camera as alternative method for non-destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat[J]. *Comput Electron Agr*, 2017, 140: 25-33.
- [56] 孙红, 邢子正, 张智勇, 等. 基于 RED-NIR 的主动光源叶绿素含量检测装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(S1): 175-181.
- [57] 岳学军, 全东平, 洪添胜, 等. 柑橘叶片叶绿素含量高光谱无损检测模型[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 294-302.
- [58] 冯伟, 朱艳, 姚霞, 等. 小麦氮素积累动态的高光谱监测[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 1937-1946.
- [59] 黄双萍, 洪添胜, 岳学军, 等. 基于高光谱的柑橘叶片磷含量估算模型实验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(4): 202-207.
- [60] 黄双萍, 洪添胜, 岳学军, 等. 基于高光谱的柑橘叶片氮素含量多元回归分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(5): 132-138.
- [61] 黄双萍, 岳学军, 洪添胜, 等. 不同物候期柑橘叶片钾素水平预测建模[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(5): 529-535.
- [62] 岳学军, 全东平, 洪添胜, 等. 不同生长期柑橘叶片磷含量的高光谱预测模型[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(8): 207-213.
- [63] 岳学军, 全东平, 洪添胜, 等. 基于流形学习算法的柑橘叶片氮含量光谱估测模型[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(6): 244-250.
- [64] 陈学深, 黄柱健, 马旭, 等. 基于触觉感知的水稻行弯度测量装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(2): 45-53.
- [65] 邹金秋. 农情监测数据获取及管理技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [66] 曾小红, 王强. 国内外农业信息技术与网络发展概况[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(8): 468-473.
- [67] 卢丽娜. 世界农业信息化进程及发展趋势[J]. *中国信息界*, 2007(1): 85-91.
- [68] 王强, 曾小红. 国内外农业数据资源和网络发展概况[J]. *世界农业*, 2008(11): 61-64.
- [69] 方利, 姚敏, 岳建伟, 等. 多源海量统计遥感数据集成管理技术研究[J]. *地理信息世界*, 2010, 8(1): 56-60.
- [70] 方利, 易文斌, 岳建伟, 等. 统计遥感基础地理数据库标准研究与编制[J]. *测绘与空间地理信息*, 2010, 33(1): 14-17.
- [71] 徐世卫. 农业大数据与农产品监测预警[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(5): 14-20.
- [72] ZHAO H, WANG F, YANG Q. Origin traceability of peanut kernels based on multi-element fingerprinting combined with multivariate data analysis[J]. *J Food Agr*, 2020, 100(10): 4040-4048.
- [73] 刘彪. “云计算”和大数据在“互联网+”时代的应用[J]. *电子技术与软件工程*, 2020(12): 201-213.
- [74] 崔晓军, 高子航. 基于 GIS 与云计算的温州市农业大数据可视化平台研究[J]. *电脑编程技巧与维护*, 2020(4): 113-115.
- [75] 顾静秋. 农业数据智能感知与分析关键技术研究 [D]; 北京: 北京交通大学, 2018.
- [76] 赵献立, 王志明. 机器学习算法在农业机器视觉系统中的应用[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(12): 226-231.
- [77] LI H, LEE W S, WANG K. Identifying blueberry fruit of different growth stages using natural outdoor color images[J]. *Comput Electron Agr*, 2014, 106: 91-101.
- [78] 王永波, 邝炳洽. 基于机器学习的花卉分类算法研究[J]. *现代计算机*, 2013(9): 21-24.
- [79] 周军, 蔡建, 郭俊先, 等. 基于机器视觉的核桃仁特征提取与分级方法研究[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(11): 175-179.
- [80] KURTULMUS F, ÜNAL H. Discriminating rapeseed varieties using computer vision and machine learning[J]. *Expert Syst App*, 2015, 42(4): 1880-1891.
- [81] 罗匡男, 彭琳, 齐伟恒. 基于机器视觉的三七叶片病斑识别[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(24): 209-212.
- [82] 刘永娟. 基于计算机视觉技术的玉米发育期识别研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [83] ZHANG S W, WU X W, YOU Z H, et al. Leaf image based cucumber disease recognition using sparse representation classification[J]. *Comput Electron Agr*, 2017, 134: 135-141.
- [84] 徐邮邮, 李西灿, 尚璇, 等. 基于半监督模糊识别的土壤含水量高光谱估测模型研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2019, 35(2): 33-37.
- [85] 吴四茜. 一种相似青梅品级半监督智能认知方法研究 [D]; 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- [86] 周俊, 陈钦, 梁泉. 基于强化学习的农业移动机器人视觉导航[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(2): 53-58.
- [87] SUN L, YANG Y, HU J, et al. Reinforcement learning control for water-efficient agricultural irrigation[C]// IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications. IEEE, 2017.
- [88] CHEN Y, ZHU H, OZKAN H E. Development of a variable-rate sprayer with laser scanning sensor to synchronize spray outputs to tree structures[J]. *T Asabe*,

- 2012, 55(3): 773-781.
- [89] GIL E, LLORENS J, LLOP J, et al. Variable rate sprayer: Part 2: Vineyard prototype: Design, implementation, and validation[J]. *Comput Electron Agr*, 2013, 95: 136-150.
- [90] 曾立. 作物间变量喷施作业机器人及控制设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2018.
- [91] 苑严伟, 李树君, 方宪法, 等. 氮磷钾配比施肥决策支持系统[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(8): 240-244.
- [92] 郝云鹏. 基于 GIS 的玉米变量施肥作业自动决策系统研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [93] KAREN L, MICHAEL P, AMANDA A, et al. A decision-support system for analyzing tractor guidance technology[J]. *Comput Electron Agr*, 2018, 153: 115-25.
- [94] HAMEED I A. Intelligent coverage path planning for agricultural robots and autonomous machines on three-dimensional terrain[J]. *J Intell Robot Syst*, 2014, 74(3/4): 965-983.
- [95] 刘刚, 康熙, 夏友祥, 等. 基于 GNSS 农田平整全局路径规划方法与试验[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(5): 27-33.
- [96] 孟志军, 刘卉, 王华, 等. 农田作业机械路径优化方法[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(6): 147-152.
- [97] 张亚娇. 农机自动驾驶监控终端关键技术研究及系统开发 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [98] CHI Z, NOBORU N. Development of a multi-robot tractor system for agriculture field work[J]. *Comput Electron Agr*, 2017, 142: 79-90.
- [99] 曹如月, 李世超, 季宇寒, 等. 基于蚁群算法的多机协同作业任务规划[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(S1): 34-39.
- [100] 郭娜, 胡静涛. 基于 Smith-模糊 PID 控制的变量喷药系统设计及试验[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(8): 56-64.
- [101] 曹如月, 李世超, 魏爽, 等. 基于 Web-GIS 的多机协同

作业远程监控平台设计[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(S1): 52-57.

- [102] 向抚, 宋玉娥, 叶紫文. 石门县农情信息工作发展现状及对策[J]. *作物研究*, 2018, 32(S1): 85-86.

【责任编辑 周志红】



岳学军, 博士, 教授, 博士生导师, 广东省政协委员。主持项目曾荣获广东省科学技术奖三等奖、广东省农业技术推广奖二等奖、广州市科学技术进步奖二等奖、大北农科技奖创意奖, 曾在澳洲国立农业工程研究中心做访问学者, 2018 获“广东省三八红旗手”称号。长期从事信息物理融合系统关键技术及其应用研究工作, 特别是电子信息及数据挖掘技术在智慧农业中的应用研究工作。目前主要致力于农业 4.0、智慧农场、农业区块链、农业大数据、农业机器人、农业人工智能、农业无人机、车联网及智能农业装备控制系统研究, 尤其是复杂工况下多系统跨领域协同作业过程中信息采集、传递、处理及智能决策中的基础理论最优化方法, 以及智能可移动一体化联动平台及装备的原型研发。在高性能嵌入式系统设计方法、农业物联网及智能农业装备等方面取得了重要研究成果, 相关成果促进了岭南农业 4.0 智能农场的实施与应用。在《农业工程学报》《IEEE Communications Magazine》《Chinese Science Bulletin》等刊物发表论文 40 余篇, SCI 论文最高影响因子超过 10。主编专著教材等 3 部, 授权发明专利 10 余件。