

【低空经济研究】

低空经济赋能我国精准农业发展的
应用场景和发展方向

赵 丽

(河南工业贸易职业学院 工程管理学院, 河南 郑州 451191)

摘 要:我国是农业大国,将低空经济体系下的相关先进技术,如无人机遥感、智能控制等运用于农田精准灌溉、作物靶向喷药、农田均匀播种、作物生长状态监测、土壤健康分析以及产量实时估算等精准农业环节,对于推动农业向智能化、现代化转型具有重要意义。针对当前精准农业中人工监测效率偏低、化学品施用不精准、作物产量预估效益不佳等挑战,通过无人机搭载多样化传感器获取数据,并与深度学习等人工智能算法深度融合,提出了一种结合人工智能算法的低空农业实时监测与智能决策方法,从而实现对农田作物生长状态的动态监测和产量的精准预测。

关键词:低空经济;精准农业;低空飞行器;人工智能;大数据

中图分类号: S 252; F 323 **文献标识码:** A DOI:10.13486/j.issn.2097-4973.2026.01.007

党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》明确提出发展通用航空和低空经济。^[1]低空经济主要以低空飞行器为依托,包括但不限于低空飞行器、直升机、滑翔机等,广泛应用于生产生活的各个方面,如火灾救援、低空旅游、低空物流等行业^[2],具有广阔的发展前景。2024 年 10 月,《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》明确提出,要以全面提高农业全要素生产率和农业农村管理服务效能为主要目标,全方位提升智慧农业应用水平^[3]。在智慧农业的发展道路上,精准农业的概念应运而生^[4],通过对作物的环境状态、生长状态实时分析,进行科学施肥、精准灌溉、预防病虫害等。

据不完全统计,我国低空经济的市场规模在 2023 年达到了 5000 亿左右,预计到 2030 年可达万亿级的市场规模^[5]。低空经济作为新质生

产力驱动智慧农业变革的关键引擎,正以技术赋能与业态创新重构农业产业价值体系。2023 年,我国农林植保无人机数量有 20 万架,约占世界总量的 70% 左右^[6];2024 年我国农林植保无人机数量增加了 25%,达到了 25 万架,累计作业面积达到 1.78 亿公顷^[7]。我国耕地理论飞防面积为 3.4 亿公顷,因此未来低空农林植保无人机市场还具有较大的发展空间;此外,我国无人机约 98% 的飞行时间都是进行农林植保服务^[8],这充分体现了无人机在农业中的重要性。

一、低空技术驱动精准农业应用

在国家政策的支持与创新科技的发展下,低空无人机技术和低空遥感技术等精准农业中的应用已成为必然趋势。利用低空无人机技术,可以实现农田实时、全范围的定量施肥、播种、灌溉,推动农业生产的可持续化;运用低空遥感技

收稿日期:2025-07-11

基金项目:河南省科技厅科技攻关项目(252102210112,252102210082);河南省软科学项目(262400411406)

作者简介:赵 丽(1993—),女,河南郑州人,助教,硕士,主要从事人工智能研究。E-mail:809006979@qq.com

术,可以监测农田分布、土壤养分含量、植被状况,辅助实时更新种植策略,减少恶劣环境对作物的影响。结合 5G 通信,这些低空技术获取的农田监测影像、视频数据得以实时回传,并通过人工智能技术进行分析,实现农田管理的数字化、智能化。此外,低空技术的引入还能带动农村多元化发展,催生人工智能农田植保、数据平台管理等新兴业态,有效缓解就业问题,带动地方经济增长。

(一)飞行器平台与精准作业

1. 农田精准灌溉 农田定期、分情况灌溉是保证农作物发展的关键因素。农田位置、植株需水量、土壤水分情况不同,灌溉量、灌溉频次也不尽相同。传统的灌溉方式需要部署传感器、控制器、物联网等软硬件,投资较大,且传感器易导致数据失真;极端天气、机器碾压会造成传感器检测效率失灵、数据失效;硬件需定期维护和更新,对于山区等特殊地形,操作难度更大。可采用低空飞行器技术实现精准灌溉^[9]。低空飞行器因其小巧的身体、方便的飞行方式,可实现室内外环境下的精准灌溉。在广阔的农田,低空飞行器可以根据精准定位,对不同区域、不同类型的作物进行不同量的灌溉。低空飞行器不受地形限制,无论是中部平原、西部山地,抑或其他复杂地形,基于准确的作物信息均可实现短时间内多区域同时灌溉,通过预设线路、飞行高度设置,通过智能控制系统确定每块区域的用水量。对于大面积的果园,果树的分布密集度不同、品种不同、树龄不同,需水量也不相同,因此采用低空飞行器进行精准灌溉,既能保证果树得到充分灌溉,还能节约水资源,保护生态环境。此外,温室大棚所处的室内环境,也可采用低空飞行器进行精准灌溉,蔬菜的种类、生长阶段不同,进行灌溉的时间不同,因此可以适时调整灌溉水量和灌溉频次,保证大棚内蔬菜和水果的生长品质。

使用低空飞行器进行精准灌溉,可以实现高效作业。传统灌溉需要人力手动浇水,费时费力,还对农作物造成踩踏、折损等伤害,使用低空飞行器进行灌溉可以节省人力成本,避免水资源浪费、肥料过度使用,减轻农民的劳动成本,保护作物生长,避免造成损害。

2. 作物靶向喷药 由于土壤环境复杂,农田

极易滋生病虫,收成减弱,因此需要定期给农作物喷药杀虫。传统的喷药是农民背上药壶进行大面积喷洒,这样虽能杀死虫害,但是在不需要喷洒的区域也会有化学品的残留,导致农作物受到化学品侵害,长势受到影响^[10]。过量的农药化学品进入土壤、流向河流,会对生态环境造成不可逆的伤害。可以采用低空飞行器根据农作物需要喷药的区域、类型和药量大小进行靶向喷药。基于遥感数据识别病虫害区域,控制喷头高度和雾滴粒径,提高叶片沉积率,可以快速、准确地将药物喷洒到特定区域,既保证受害区的精准检测,又保证周边农作物不受其影响,并且最大限度地减少对环境的影响。

使用低空作物靶向喷药,植保效率大幅度提升,低空飞行器可以进入普通机械设备难以进入的作业区域,突破地形限制;喷洒时通过增强滴雾吸附降低飘失率,避免药物渗入土壤,破坏微生物群落;此外,操作员可远离药物,避免中毒风险,最终实现精准化喷药的效果。

3. 农田均匀播种 采用传统机器播种方法,由于机器持续重复碾压土地,破坏土壤结构,降低其透气性;机器播种时的穴距、株距相对单一,无法根据土壤的肥力和播撒种子的类别进行灵活调整,影响产量。低空飞行器可以配置专门的播种装置,其灵活的飞行方式为播种提供了便利,根据农田的大小、形状进行飞行路径规划,实现全面积、全覆盖播种。针对不同地区、不同海拔,在播种装置上设置好不同参数,可实现精准、快速播种。提前设定好亩播量,系统可自动计算种子间投放间隔。采用离心甩盘式、气吸式播种方法可实现均匀播种。通过测量实际播量和设定值偏差,实时调整甩盘转速。

通过低空飞行器的精准播种,可以均匀地将种子种植在农田中,保证种子之间的间隙,保证其充足的生长资源,包括土地资源、光照、养分等等,提高作物的成活率,进而提高农作物的产量^[11]。这既减少了传统播种方式中存在的漏播、重播等情况,又保证了种子分布的均匀性。

(二)遥感监测与信息获取

1. 生长状态监测 传统的农作物生长状态监测只能监测到可见特性,如植株高度、长势等,难以代表整体的生长状态、全省或全国的作物分

布状态;且容易忽略土壤、气候、作物之间的联动关系,如不能根据土壤湿度数据判断作物枝叶枯萎原因;此外,夜间、阴雨等环境也会直接影响到观测效果。可以采用低空遥感技术实时监测农作物的各个时期的生长状态^[12]。通过搭载遥感技术,对农田的作物生长状态、环境进行快速扫描。通过与地面终端设备进行连接,将图像传回地面终端,可得到农田的作物生长状态、环境的精准测量。将地面接收的远距离拍摄到的多张图像进行拼接,即可得到大片区域的农田俯视图,可直观观测该区域中农田走向、河流分布、植物分布等特点。基于正常环境、夜间、阴雨天气下拍摄的大量数据图像,可根据图像特点、植物生长像素点建立分类模型,通过分类模型对多张图像进行特征提取,分析每片区域中植物的数据特征,获得作物、气候、土壤之间的联动关系,最终获得更加准确的植物种类、数量、生长状态等相关信息。如通过获取的株高信息,可推断出玉米的生长阶段,了解其生长趋势;通过玉米株的颜色特征,能推断出当前的生长阶段。

此外,通过对农作物的实时监测,还能达到优化田间管理的效果。传统的田间管理需要农户亲自去田里实地调研、观察,一亩农田大概需要五分钟的时间才能全范围精准排查出异况,如缺苗、倒苗、多苗等情况。而实时遥感系统通过搭载的高清摄像头或者多光谱传感器,对大面积农田进行扫描,可快速帮助农户了解田间情况,并采取对应措施,如补苗、扶苗、去苗等,优化田间管理,提高作物品质。

2. 土壤健康分析 在种植作物之前,需要确定农田土壤环境,保证植物所需养分。传统的土壤健康分析是依据当地有经验的农户和有知识储备的农田专家进行分析。农户和专家进入农田进行逐一排查,确定土壤的健康状态。这种方法需要大量的人力物力,并且效率极低。如果涉及大面积农田的全范围排查,难度更大。

基于上述问题,可以搭载多光谱传感器和高分辨率相机,按照设定巡线在农田里勘探数据,即可快速、准确地获取农田中的土壤特征和土壤质量。低空飞行器搭载的多光谱传感器主要收集不同波段的光谱数据,估算出土壤中的水分含量。低空飞行器搭载的热红外传感器和多光谱

传感器可以检测出土壤中有机物质的含量,通过两种传感器可以获得高分辨率的地面影像,进而确定出土壤中的有机物质。

通过传感器获取的土壤湿度、养分、酸碱度等信息,即可判断出当前的农田健康状态,了解土壤的肥沃程度,进而确定下期种植的农田种类,实现精准播种^[12]。精准的土壤健康分析,可以实现数字化农田管理,提高农作物的产量,提升生产效率,为我国农业的可持续发展贡献力量。

3. 数据融合与智能决策 实时掌握农田数据,估算农作物年终产量,合理安排粮食价格,才能保证居民生活水平,因此定期对农作物的产量进行估算至关重要。传统的产量估算是依据专家的经验 and 主观判断,并且是在特定时间、特定区域进行抽样调查,特殊情况下还需要对作物进行实地收割、称重等破坏性行为。并且,传统的产量估算方法无法实时地基于国家政策、气候变化、病虫害爆发等情况进行动态调整,因此实际产量与预估产量有较大出入。

基于上述问题,可以采用数据融合方法对产量进行估算。根据遥感技术获取农作物光谱信息,通过对光谱数据进行分析,即可计算能够反映出叶绿素含量、生物量等信息的各种植被指数,并建立产量估算模型^[13]。通过现有的热门的人工智能算法,将获取的植被数据与已有的数据进行融合,建立产量估算模型,根据模型大量样本的学习、训练,可以预测出农作物的产量。此外,还可以根据三维重建算法将低空飞行器拍摄的图像进行训练,建立农作物的空间三维模型^[14],并提取反应农作物生长情况的结构参数,将其送入生态模型中,模拟农作物的生长,从而估算产量。

采用低空飞行器技术和遥感技术获取农田数据,采用数据融合与智能决策算法进行产量估算,具有成本低、效率高、重复性强等优点,低空飞行器可以在最短时间内获取大面积的农田数据,并且可以根据需要随时起飞,并捕捉相关信息,实现对农田的实时监测。高分辨率的传感器可以获取大量高清图像,直接清楚反映出作物的细节特点,更准确地估算出粮食的产量,并且该数据更加客观,不受农户的主观因素影响,有效

提高了产量估算的精度。

二、“低空+农业+AI”跨学科协作模型

低空经济技术在精准农业中的应用前景十分广阔,但面临一系列的技术问题。低空飞行器挂载各类遥感、红外设备所采集的海量数据,需要精准的人工智能算法进行分析处理,但是专用的农业开发算法滞后,且未考虑环境、地理位置等多方因素的协同效应。“天空地一体化平台”作为智慧监管的核心载体,其监管能力不足直接影响效能。不同地市研发的监管平台仅可用于当地农田监管,如需应用到其他地市则要按当地作物、地形、气候单独调试,核心瓶颈为“算法场景适配能力不足”。基于卷积神经网络(CNN)在人工智能技术中的优异表现性能,本文创新构建基于 CNN-LSTM(卷积神经网络—长短期记忆网络)协同诊断算法,为低空经济技术规模化应用、平台智慧监管能力提升奠定基础,实现“能用”到“好用”的关键技术跨越。

(一)CNN 在低空农业应用中的现存困境

早期农作物生长状态标记、病虫害种类标记都是由农业专家手动标记,效率低下,且易受专家自身水平、心理状态等因素干扰,准确率低。采用人工智能算法中的典型代表卷积神经网络算法进行标定识别时,由于室外环境复杂,沙尘、风暴、降雨等因素的影响,导致低空飞行器飞行时姿态不稳定,拍摄的图片模糊不清,影响卷积神经网络算法的进一步处理;农田中拍摄的图像信息因为时间、光线的影响,不同时间段拍摄的图像角度变化、阴影位置不同,影响算法模型的识别准确率;低空飞行器拍摄的图像与卫星影像和地面拍摄的图像差异较大,现有模型的通用性较差,须重新训练模型,提高模型的泛化能力。

(二)基于 CNN-LSTM 融合模型的低空农田识别方案

为实现低空视域下的农田智能识别,本文构建了一种基于 CNN-LSTM 的新模型,并设计了具体的实施方案,识别算法流程如图 1 所示。

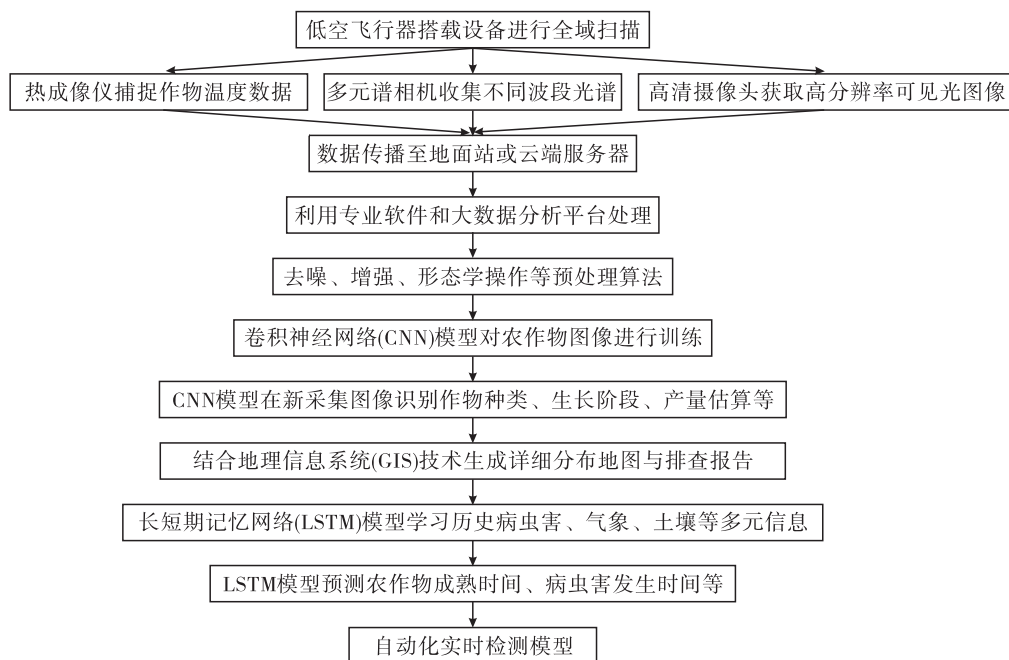


图 1 识别算法流程图

首先,对农田进行全域扫描。低空飞行器上搭载热成像仪、高清摄像头、多光谱相机等,进行农田扫描。热成像仪器可以捕捉农作物根茎叶的温度数据,高清摄像头可以获取农作物的高分辨率图像,显示作物表面的长势等信息。多光谱相机可以采集不同波段的光谱信息,快速且操作

简单,与人工巡检相比,极大地缩减了排查时间,并且可以快速覆盖所有农田区域,排查范围广,效率得到明显提升。

其次,进行图像预处理。低空飞行器采集的图像、数据中包括农作物的长势、植被健康状况、根茎叶温度等相关信息,将信息实时传回地面站

或者云端服务器。由于室外环境复杂,沙尘、风暴、降雨等因素的影响,导致低空飞行器飞行时姿态不稳定,拍摄的图片模糊不清,因此需要对采集的图像进行一系列预处理操作。采用中值滤波算法去除图像中的椒盐噪声,采用拉普拉斯增强算法突出图像中的高频信息,弱化图像中的噪声信息;采用形态学操作去除细小噪声,并填充小的孔洞,以此保证进行分类训练的图像均为最优图像。

再次,对数据进行分析 and 预测。通过图像处理技术和人工智能技术对低空拍摄数据进行建模分析处理。先收集大量的不同种类、不同时期的农作物图像,鉴于目前相关数据较少,可以采用如下两种方法:一是地面拍摄的农田数据足够丰富,可以先采用地面数据训练 CNN 卷积神经网络模型,对于训练好的模型采用迁移学习的方法对低空拍摄的少量数据进行微调,可保证训练好的模型适合低空收集数据的分类识别;二是直接采用低空拍摄数据进行模型的训练,因此需要前期大量的试飞数据,搜集现有的数据后采用平移、缩放、旋转等方法,可使现有数据集扩充数十倍,采用这种方法可快速扩充数据集,保证大模型训练的数据量。在进行模型创建时,采用 CNN 卷积神经网络学习农作物的种类、生长时期特征,建立训练模型,根据实时传回的图像信息确定作物种类、大小及生长阶段。结合地理信息技术(GIS)生成作物分布地图,地理信息技术可以根据传回的地理坐标信息,将作物的分布情况进行标注,并精准定位到地图中,方便后续针对性操作。然后进行数据预测。采用长短期记忆网络(LSTM)算法可以进行未来数据预测。该模型可以分析各地区的历史数据,包括土壤数据、气象数据、作物生长时期分布数据,预测作物的成熟时间并预估作物的丰收产量。特别是能结合气象数据预测出在哪一时间范围内出现病虫害爆发、哪一时间范围内出现农作物缺水等情况,提前向农户和上级部门发布预警,采取提前预防手段。

最后,建立农田的自动化实时监测模型。自

动化实时监测模型是实现农田检测的重要技术手段。将监测模型适配到农户的手机、电脑或平板设备上,提供用户友好的界面,方便农户实时查看作物生长状态、病虫害发展动态及防治建议。根据监测数据和分析结果,系统自动生成个性化的应对方案,包括灌溉量、喷洒农药等,帮助农户科学决策。该模型支持农户通过移动设备远程控制农田设备(如灌溉系统、低空飞行器喷洒设备等),实现精准施药和高效管理。这样不仅能减少人力成本,同时降低劳动强度,还能实现高效管理。

三、结语

我国作为农业大国,未来农业的发展趋势必然是工业化、数字化和智能化。提高生产效率,以亩产论英雄,并非简单追求高质量,而是更加注重质量、效率和可持续性。通过将低空经济技术引入精准农业,不仅可以有效提高粮食年产量,降低劳动力,更是落实国家“藏粮于地、藏粮于技”战略的重要举措。服务国家战略,保障粮食安全,助力乡村高质量发展,人人有责。

随着人工智能、大数据等新兴技术的不断进步和广泛应用,低空经济技术在农业方面的发展将赋予新的意义和能量,将具备更强大的智能决策能力。以低空飞行器为载体,搭载高清摄像头、红外投影仪和遥感设备,对获取的数据进行整合,建立人工智能实时监控系统,并自主调整飞行方式、飞行路径、作业参数,依据农田实时状况和农业生产的需求,实现更加精准高效的农业作业,为构建智慧农业、数字乡村奠定坚实基础。然而,低空经济技术在精准农业的发展还面临着人工智能大数据欠缺、空域监管力度不够、飞手操作不规范等问题,技术更新、标准制定等方面仍需不断优化进步。更重要的是,安全是发展的底线,因此我们必须夯实基础,筑牢低空飞行安全基石,保证粮食安全发展道路。为推动我国的乡村振兴战略、加快农业现代化发展贡献重要力量。

参考文献:

[1]中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定[N].人民日报,2024-07-22(1).

- [2]卢方周,闫坤,李文字,等.低空经济总体架构与提升路径[J].信息通信技术与政策,2024(11):2-10.
- [3]农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见[EB/OL].(2024-10-23)[2025-05-30].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content_6983621.htm.
- [4]唐利宏.浅谈智慧农业价值与技术应用赋能乡村振兴[J].农业开发与装备,2024(12):37-39.
- [5]何勇,王月影,何立文,等.低空经济政策和技术在农业农村的应用现状与前景[J].农业工程学报,2025(8):1-16.
- [6]低空产业助力农业现代化向“新”行,我国将加快农林植保无人机装备创新应用[EB/OL].(2024-08-23)[2025-05-30].
<https://news.cctv.com/2024/08/23/ARTISUdz6vMc4xPiDs9tITcd240823.shtml>.
- [7]我国植保无人机销量、保有量、市场规模均呈增长态势 行业呈双寡头垄断格局[EB/OL].(2024-06-26)[2025-05-30].
<https://www.chinabaogao.com/market/202406/714080.html>.
- [8]陈溯.白皮书:2024年中国农业无人机年作业量突破26亿亩次[EB/OL].(2025-08-23)[2025-09-30].<https://www.chinanews.com/cj/2025/08-23/10470039.shtml>.
- [9]韩文霆,张立元,牛亚晓,等.无人机遥感技术在精量灌溉中应用的研究进展[J].农业机械学报,2020(2):1-14.
- [10]严章青.植保无人机在农田病虫害防治中的实践探究[J].种子科技,2023(24):67-69.
- [11]钟朝鸷,杨晓瑞.无人机播种在水稻农业生产中应用现状及发展趋势[J].南方农机,2024(17):27-29.
- [12]李欣璐,凌灿权.无人机遥感技术在农情监测中的应用[J].现代农业装备,2022(5):45-51.
- [13]陈治瑀.基于无人机技术下农作物产量估算模型研究[J].农机使用与维修,2024(7):148-151.
- [14]张黔川.无人机RTK测绘技术在农业生产中的应用[J].南方农机,2023(10):62-64.

Application scenes and development directions of low-altitude economy empowering the development of precision agriculture in China

ZHAO Li

(School of Engineering Management, Henan Industry and Trade Vocational College,
Zhengzhou 451191, China)

Abstract: China is a major agricultural country, and the application of advanced technologies such as drone remote sensing and intelligent control under low-altitude economic system to precision irrigation of farmland, targeted spraying of crops, uniform sowing of farmland, monitoring of crop growth status, soil health analysis and real-time estimation of yield is of great significance for promoting the transformation of agriculture towards intelligence and modernization. In response to the challenges of low efficiency in manual monitoring, inaccurate application of chemicals, and poor efficiency in crop yield estimation in current precision agriculture, a low-altitude agriculture real-time monitoring and intelligent decision-making method combined with artificial intelligence algorithms is proposed by using drones equipped with diverse sensors to obtain data and deeply integrating it with deep learning and other artificial intelligence algorithms so as to achieve dynamic monitoring of crop growth status and accurate prediction of yield in farmland.

Keywords: low-altitude economy; precision agriculture; low-altitude aircraft; artificial intelligence; big data

(责任编辑:周新颜)

引用格式 赵丽.低空经济赋能我国精准农业发展的应用场景和发展方向[J].山东航空学院学报,2026,43(1):49-54.
ZHAO L. Application scenes and development directions of low-altitude economy empowering the development of precision agriculture in China[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2026, 43(1): 49-54.