

智能感知技术驱动下的农田作业装备精准作业模型构建

马明辉

邹平市长山镇人民政府 山东滨州

【摘要】依托智能感知技术建立精准作业模型，为农田装备实现高精度、自动化和变量控制提供关键技术支持。本文围绕环境感知、装备状态监测和数据融合等核心环节，设计出完整的感知体系，建立作业路径规划、作业参数调控、智能决策等模型。通过实验平台搭建、仿真测试和田间验证的综合评价，所提出模型在作业精度、作业效率、资源利用率和产量提高方面都有明显的优势。研究结果表明，以智能感知为基础的精准作业模型具有良好的适应性以及可推广性，为农业机械智能化发展提供了一条系统的技术路线。

【关键词】智能感知技术；农田作业装备；精准作业；数据融合

【收稿日期】2026 年 6 月 15 日

【出刊日期】2026 年 7 月 10 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20260053

Operational characteristics and optimization strategies of the agricultural machinery socialized service system under different models

Minghui Ma

People's Government of Changshan Town, Zouping, Binzhou, Shandong

【Abstract】 Based on intelligent perception technology, a precise operation model is established to provide key technical support for achieving high precision, automation, and variable control of agricultural equipment. This article focuses on core aspects such as environmental perception, equipment status monitoring, and data fusion, designing a complete perception system and establishing models for job path planning, job parameter regulation, and intelligent decision-making. Through comprehensive evaluation of experimental platform construction, simulation testing, and field validation, the proposed model has significant advantages in terms of operational accuracy, operational efficiency, resource utilization, and yield improvement. The research results indicate that the precision operation model based on intelligent perception has good adaptability and scalability, providing a systematic technical route for the intelligent development of agricultural machinery.

【Keywords】 Intelligent perception technology; Agricultural homework equipment; Accurate homework; Data fusion

1 智能感知技术体系构建

1.1 环境感知系统设计

农田环境感知系统是基于高精度定位、立体视觉建立的基本感知能力的。RTK-GNSS 可以实现厘米级定位，给装备在田间开展精准导航赋予了空间坐标根的基础。合激光雷达或者双目视觉，可以得到地块高精度三维地图，实现边界识别、障碍物检测、作业区域精准划定。多光谱和高光谱相机对作物冠层进行成像，用 NDVI 等植被指数来评价作物的长势、叶片的覆盖度、生长的均匀性，辅助诊断病虫害。这环境数据可以用来创建时空作物状态模型，

给为精准施肥、变量喷药以及作业实时调整给提供策支撑，使得装备能对地块结构、作物生长状况和外界环境实施综合感知^[1]。

1.2 装备状态感知系统设计

装备状态感知系统面向农机运行状态的实时监测，实现对作业质量和设备性能的动态掌握。排种量传感器、施肥流量传感器、耕深传感器分别对播种密度、施肥剂量、耕深变化进行检测，保证作业参数达到设定值。IMU 实时输出俯仰角、横滚角、偏航角来判断机具姿态是否稳定，防止因地形起伏造成作业深度或喷量的偏差。为了得到高精度运行轨

迹, 可以将 RTK-GNSS 和 IMU 数据进行融合, 得到高频、连续、鲁棒的运动轨迹, 用以评价作业质量和规划未来的路径。装备状态感知的建立使农机具具有了自我监测、自我纠正和自适应调节的能力, 为精准作业提供可靠的保障^[2]。

1.3 数据采集与预处理技术

智能感知系统采集的数据中常常包含噪声、偏差、随机误差等, 因此数据预处理十分重要。滤波技术如卡尔曼滤波可以对 GNSS 和 IMU 数据进行降噪, 提高定位和姿态估计的稳定性; 图像数据可以利用中值滤波去除椒盐噪声, 增加视觉清晰度。传感器校准是保证量测精度的关键, 相机内外参标定用来校正畸变和三维重建, IMU 零偏校准用来减少漂移造成的累计误差。融合算法整合多源数据, 可采取紧耦合或者松耦合策略, 将 GNSS 定位与 IMU 姿态信息融合, 生成连续、稳定且高精度的时空数据, 为作业控制、路径规划以及变量作业提供坚实的数据支持^[3]。

2 精准作业模型构建方法

2.1 多源感知数据融合模型

把来自不同传感器的异构数据融合成统一的环境表征模型, 是实现精准作业的前提。一方面时空融合技术解决的是不同传感器采样频率、时间戳不一致、坐标系不同等问题。经过细致的坐标转换以及时间同步算法, 将所有的感知数据转化为相同的时空基准, 确保数据之间保持一致并存在关联。另一方面是特征提取, 即从融合数据中找出并度量出重要的信息。比如根据多光谱图像的某些波段来准确辨别农田里的杂草区域, 从土壤养分数据当中可以划分出不同肥力的管理区, 为变量作业提供支撑。深度学习建模对于复杂的农田数据有很强的处理能力^[4]。

2.2 作业路径规划模型

创建适合于复杂农田环境的作业路径规划算法, 是达到高效、精准作业的重要一环。根据地块边界、固定障碍物信息生成全局最优覆盖路径, 采用往返式或回转式等策略来最小化总行程和转弯次数, 提高作业效率。本文针对田间临时出现的障碍物设计了动态路径规划算法。用 A* 算法或者动态窗口法 (DWA) 等实时避开动态障碍物, 保证作业过程的安全和连续。

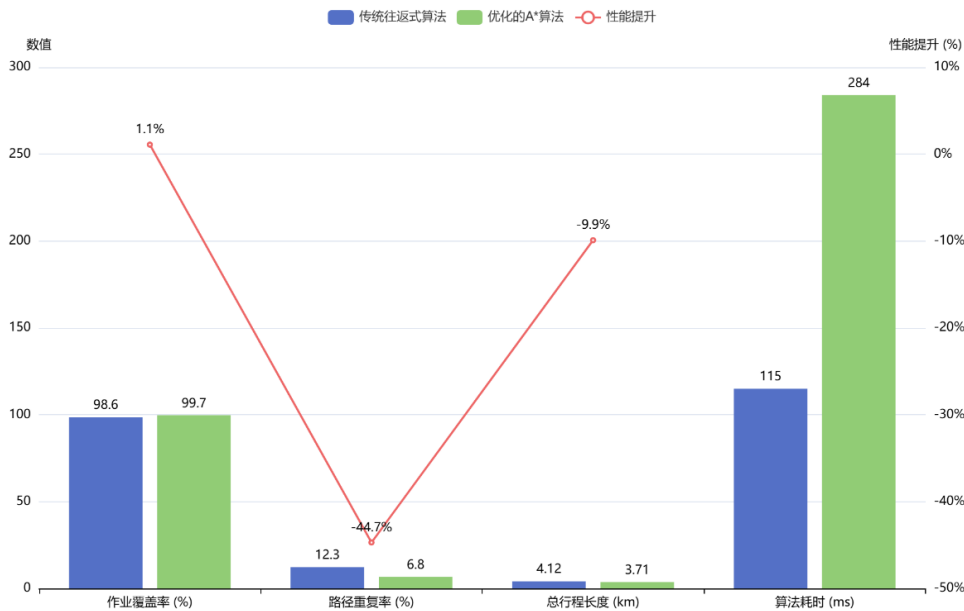


图 2.1 不同路径规划算法仿真性能对比图

图 2.1 展示了不同路径规划算法的仿真性能对比。具体结果显示, 优化的 A* 算法在作业覆盖率、路径重复率和总行程长度方面均表现出显著优势。

2.3 作业参数调控模型

建立感知数据与作业执行参数的映射关系模型,

是实现变量作业的关键。基于多源数据融合模型生成农田处方图 (Prescription Map), 本文对每个作业单元格 (Grid) 设定最佳作业参数。本文根据土壤养分含量和作物长势数据构建变量施肥模型, 可动态调整施肥量, 达到精准施肥的目的。模型可以依据

农艺学知识库来创建,把专家的经验转化为量化的规则,也可以采用机器学习的方法进行训练,从历史数据中学习最佳的调控策略,以满足不同的农艺需求及环境条件^[5]。

2.4 决策支持模型

建立顶层决策框架,集成路径规划模型和参数调节模型,得到最后的工作指令。一方面,根据知识规则的决策模型,将农艺专家的经验转化为一串 IF-THEN 规则。根据实时感知的数据,系统可以立即生成相应的作业策略,例如检测到某个区域作物长势不好并且土壤养分低于阈值时,系统就会指令增加施肥量。另一方面,以机器学习的决策模型为主,强化学习在仿真环境中不断试错,学习在不同的状态(环境状态和装备状态)下采取何种行动(路径调整和参数设置),可以取得最大的长期回报(作物产量或经济效益)。

3 系统实验与验证

3.1 试验平台搭建

实验在某农业示范基地内进行,该区域属于典型的华北平原,是我国重要的玉米种植域。实验地块总面积 5.2 公顷,地势平坦。土壤类型为壤质潮土,肥力属于中等偏低,田间存在一定的空间异质性。试验作物为夏玉米,品种为郑单 958。实验平台核心作业装备使用东方红 LX904 型拖拉机作为动力平台。该型号拖拉机配备有线控转向和速度控制接口,方便进行自动化改造。配套作业机具为一款可以进行变量施肥的撒肥机,核心执行机构通过 CAN 总线协议接收上层控制系统的变量施肥指令,调节开口大小和传送带转速,实现施肥量的精准控制。为了对地块、作物、装备三个系统进行全方位的感知,平台集成了各种类型的传感器^[6]。

其详细配置参数如表 3.1 所示。

表 3.1 智能感知系统传感器配置详情

传感器类别	品牌型号	关键技术参数	用途
定位系统	司南导航 M300Pro	RTK-GNSS 双天线,水平精度 $\pm 2.1\text{cm}$,航向精度 $\pm 0.15^\circ$	高精度定位、测速、航向获取
姿态感知	XsensMTi-30	9 轴 IMU,陀螺仪零偏不稳定性 $8^\circ/\text{h}$,加速度计零偏不稳定性 0.02mg ,动态数据输出频率 100Hz	装备俯仰、横滚、偏航角测量,与 GNSS 融合提高定位稳定性
环境感知	大疆览沃 HAP (LivoxHAP)	激光雷达 (LiDAR),探测距离 150m ,点频 $240,000$ 点/秒	地块三维建图,边界与障碍物识别
作物感知	大疆 P4M	多光谱相机,含蓝、绿、红、红边、近红外五个波段,分辨率 1280×960	采集多光谱影像,计算 NDVI 等植被指数,评估作物长势
土壤感知	SpectrumTDR350	便携式土壤水分、电导率、温度测量仪	试验前分区采集土壤理化数据,制作土壤属性底图
作业参数	自研流量传感器	基于红外对射原理,脉冲输出,精度 $\pm 1.8\%$	实时监测变量施肥机瞬时排肥量,用于闭环控制

3.2 模型仿真实验验证

在 ROS/Gazebo 仿真环境中对核心模型进行验证,检验其理论性能。本文创建了一个虚拟的农田场景,其中有不同形状的地块、临时障碍物以及变化的土壤和作物参数图层,以模拟真实的农田。路径模型验证就是测试规划算法在各种情况下覆盖率、重复率、路径长度等。在仿真环境中对基于模型预测控制(MPC)的路径跟踪算法以及作业决策模型的准确性进行了测试。当设定速度为 5km/h 时, MPC 控制算法在直线路径和转弯路径上的平均跟踪误差(RMSE)分别为 3.2cm 和 5.8cm ,可以达到精准作业的要求。用虚拟的土壤养分和作物长势(NDVI)栅格图来检验变量施肥决策模型生

成的处方图。结果显示,模型可以正确识别出预设的三个不同的肥力管理区,并给出符合农艺逻辑的施肥推荐量,决策准确率为 97.6% ,模型仿真验证了本文所构建模型的有效性和准确性^[7]。

3.3 田间试验验证

将 5.2 公顷试验田分为两块:实验组(2.6 公顷)用本文建立的精准作业系统进行变量施肥;对照组(2.6 公顷)用农户常规的均匀施肥方式。试验前用无人机搭载多光谱相机对整个地块进行航拍,生成 NDVI 分布图。同时采用便携式土壤传感器进行网格化取样,得到土壤速效氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)含量分布。根据以上多源数据,把实验组地块分为肥沃区、中等区和贫瘠区三个管理区。

表 3.2 为地块初始土壤养分及作物长势分区情况。根据分区信息以及玉米的目标产量（11000kg/ha），对实验组进行变量施肥处方图的施肥模拟。对照组则按当地常规施用量均匀施肥。对玉米大喇叭口期追肥作业进行记录，两组的作业轨迹、作业参数、作业时间、燃油消耗等。试验之后，在田间进行多点采样，测量土壤养分残留、作物出苗率、株高、最终产量等指标，以评价作业对作物生长的实际影响。

3.4 结果分析与性能评估

对田间试验数据进行统计分析与系统性能评估。表 3.3 展示了作业过程数据的对比分析。作业精度评估方面，实验组的路径跟踪平均横向误差为 3.6cm，施肥量控制平均误差为 4.3%，表明系统具有较高的作业精度。作业效率评估方面，实验组的单位面积作业时间为 13.1 min/ha，相比对照组（14.8 min/ha）效率提升 11.5%；同时，单位面积燃油消耗为 7.3 L/ha，节省 11.0%，这得益于优化的路径规划和自动导航。

与此同时，作业效果评估利用 t 检验或方差分析等统计方法，比较两组在作物产量、肥料利用率

和经济效益等方面的显著性差异。表 3.4 展示了作物产量与效益对比分析。实验组的平均产量为 10843 kg/ha，比对照组（10258 kg/ha）增产 5.7%。特别地，贫瘠区（III 区）产量显著提升 14.4%，达到 10880 kg/ha，与肥沃区产量相当。氮肥农学利用率提升 39.3%，达到 41.5%。每公顷净收益增加 930 元，经济效益提升 21.4%。这些结果表明，本文系统在提升作物产量、提高资源利用率和增加经济效益方面具有显著优势。

图 3.1 以图表形式直观展示了精准作业模型带来的效益构成，包括增产收益和资源节约。

结合仿真与田间试验的全面验证，结果表明本文所构建的基于智能感知技术的农田作业装备精准作业模型是有效和可靠的。该系统能够精确感知作业环境、作物长势和装备状态，通过优化的路径规划、精准的参数调控和智能决策，实现了作业精度、效率和效果的全面提升。与传统作业方式相比，本系统在减少化肥、燃油等资源投入的同时，显著提高了作物产量和肥料利用率，为实现农业生产的降本增效与可持续发展提供了有力的技术支撑^[8]。

表 3.2 地块初始土壤养分与作物长势（拔节后期）分区信息

管理分区	面积（ha）	速效氮（mg/kg）	速效磷（mg/kg）	速效钾（mg/kg）	平均 NDVI 值
I 区（肥沃）	0.7	131.4	28.7	155.2	0.78
II 区（中等）	1.1	92.6	17.2	118.9	0.69
III 区（贫瘠）	0.8	68.3	11.5	94.6	0.61

表 3.3 作业过程数据对比分析

对比项目	对照组（均匀施肥）	实验组（变量施肥）	差异分析
作业方式	245kg/ha 尿素	I 区：160kg/ha，II 区：250kg/ha，III 区：310kg/ha	按需施肥
总施肥量（kg）	637.0	597.4	减少 6.2%
单位面积作业时间（min/ha）	14.8	13.1	效率提升 11.5%
单位面积燃油消耗（L/ha）	8.2	7.3	节省 11.0%
路径跟踪平均横向误差（cm）	-	3.6	高精度循迹
施肥量控制平均误差（%）	-	4.3%	控制精准

表 3.4 作物产量与效益对比分析

评估指标	对照组（均匀施肥）	实验组（变量施肥）	性能提升/差异
平均产量（kg/ha）	10258	10843	增产 5.7%
I 区产量（kg/ha）	10950	10890	-0.5%（无显著差异）
II 区产量（kg/ha）	10310	10760	+4.4%
III 区产量（kg/ha）	9514	10880	+14.4%（显著提升）
氮肥农学利用率（%）	29.8	41.5	提升 39.3%
每公顷净收益（元/ha）	4350	5280	增加 930 元（21.4%）

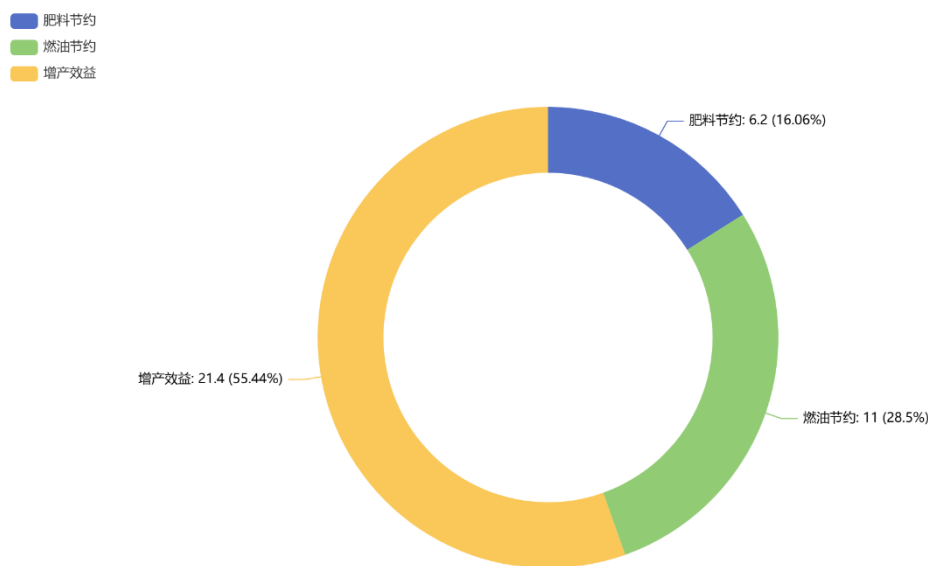


图 3.1 农田作业装备精准作业模型效益构成图

4 结束语

总之，智能感知技术给农田作业装备的精准化、自动化、智能化提供了坚实基础。构建完善的环境感知、状态监测、数据处理和决策控制体系，使装备能在复杂的农田环境中进行高精度的路径跟踪和参数变量调节。田间试验结果证明，该模型可以提高作物产量、提高肥料利用率、降低燃油消耗和资源消耗，具有明显的经济效益和生态效益。未来应在算法轻量化、深度学习模型嵌入、多机协同方向拓展，为智慧农业全流程自动化系统提供更高水平的技术支持。

参考文献

- [1] 陈钦财. 人工智能技术在农机装备中的应用分析 [J]. 中国农机装备, 2024, (10): 92-94.
- [2] 卢君宜. 基于物联感知技术的农田信息采集机器人研究进展 [J]. 产业创新研究, 2024, (18): 104-106.
- [3] 王一梅. 基于智能技术的农业精准种植模式研究 [J]. 河北农机, 2024, (17): 55-57.

- [4] 王鹏哲. 基于情境感知的农业知识智能推荐模型研究 [D]. 广西大学, 2024.
- [5] 向钰,李双成,石林榕,等. 基于 PLC 的智能农业播种装备控制系统设计 [J]. 集成电路应用, 2025, 42 (12): 816-818. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2025.12.371.
- [6] 吕崇贵,李龙. 丘陵山区农业生产需求下的智能农机产品设计 [J]. 农机市场, 2024, (10): 67-69.
- [7] 樊晖. 农业机械装备信息管理系统的设计与实现探讨 [J]. 农业开发与装备, 2022, (2): 31-33.
- [8] 刘明远,贺成柱,邹建强. 基于虚拟感性工学的农业装备形态设计 [J]. 包装工程, 2022, 43 (6): 41-48.

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS