

智能农机协同作业路径优化技术研究

李冉冉

河南省信阳市农业农村科教信息中心 河南信阳 464000

摘要: 智能农机协同作业路径优化对于提升农业生产效率与质量意义重大, 本文先分析影响路径优化的因素, 包括农田地形、农机性能、作业任务要求及环境因素。接着阐述关键技术, 涵盖协同感知、路径规划算法、通信与信息交互、智能决策技术。最后提出优化策略, 基于任务特性规划路径, 采用多农机协同避障策略, 实施能耗优化路径策略, 以及具备动态环境适应性调整策略, 旨在提升智能农机协同作业的效率、质量与适应性, 推动农业生产智能化发展。

关键词: 智能农机; 协同作业路径; 优化技术

引言

在农业现代化进程中, 智能农机协同作业成为提升农业生产效率与质量的关键。然而, 农田地形复杂、农机性能各异、作业任务多样以及环境因素多变, 给协同作业路径优化带来诸多挑战。为解决这些问题, 实现智能农机在协同作业中以最优路径高效运行, 有必要深入研究智能农机协同作业路径优化技术。本文将围绕影响路径优化的因素、关键技术以及优化策略展开探讨, 为提升农业生产智能化水平提供有力支持。

一、影响智能农机协同作业路径优化的因素

一是农田地形。不同的地形条件, 如平地、坡地、丘陵地等, 对农机的行驶稳定性与作业难度有不同的影响。在平地作业时, 农机的行驶阻力较小, 作业路径规划相对简单; 而在坡地或丘陵地作业时, 农机需要克服较大的重力分量, 行驶稳定性下降, 作业路径规划需要考虑地形坡度、起伏等因素, 避免农机出现侧翻或滑坡等安全事故。二是农机性能。农机的性能参数, 如行驶速度、作业宽度、转弯半径等, 对协同作业路径优化也有重要影响。不同类型与型号农机性能特点不同, 规划路径时需确保各农机协调配合, 避免作业宽度不匹配导致的重叠或遗漏, 同时根据行驶速度合理安排作业顺序与路径, 提升整体效率, 而且农机的行驶速度也会影响作业效率与路径规划, 在保证作业质量的前提下, 应根据农机的行驶速度合理安排作业顺序与路径, 提高整体作业效率。三是作业任务要求。不同的作业任务, 如平整地、种植、田间管理、收获等, 对作业精度、作业效

率、作业质量等方面有不同的要求。在进行路径优化时, 必须根据具体的作业任务要求, 结合农田的实际情况与农机的性能参数, 制定出符合要求的作业路径规划方案。四是环境因素。环境因素, 如天气条件、光照强度等, 也会对智能农机协同作业路径优化产生一定影响。在恶劣的天气条件下, 农机的行驶安全性与作业精度会受到影响, 此时需要调整作业路径规划, 避免在危险区域作业或降低作业速度, 确保农机与人员的安全^[1]。光照强度对一些依靠视觉传感器进行作业的智能农机也有影响, 在光照不足的情况下传感器的检测精度会下降, 影响作业质量, 因此在路径规划时需要考虑光照因素, 合理安排作业时间与路径。

二、智能农机协同作业路径优化关键技术

(一) 协同感知技术

协同感知技术借助多种传感器实现信息获取与共享, 传感器类型涵盖全球定位系统 (GPS)、激光雷达、摄像头等。通过GPS, 农机可实时获取自身位置、速度等精确信息; 激光雷达能扫描周围环境, 精准探测地形起伏、障碍物分布情况; 摄像头则可捕捉作物生长状况等视觉数据。不同农机间依靠传感器建立信息共享机制, 达成对作业区域的全面感知。在协同作业场景下, 各农机能及时知晓自身及其他农机的位置、姿态、作业进度等关键信息。这种信息交互可有效避免农机间的碰撞事故, 防止出现重复作业或作业遗漏等问题。并且, 协同感知技术所获取的丰富、准确数据, 为路径规划提供了坚实的数据基础。路径规划算法可依据这些数据, 综合考虑农田地形、作物分布、农机性能等因素, 制定出科学、

合理的作业路径，使智能农机在协同作业过程中，能够以最优的路径完成各项任务，提升整体作业效率与质量。

（二）路径规划算法

路径规划算法作为智能农机协同作业路径优化的核心要素，发挥着关键作用。常见路径规划算法有A算法、Dijkstra算法、遗传算法、蚁群算法等^[2]。A算法属于启发式搜索算法，其工作原理是依据对从起点至目标点代价的预估，来指引搜索方向，进而能在相对短的时间内探寻到较优路径。Dijkstra算法基于图论，是求解最短路径的算法，适用于无权图以及存在非负权图的路径规划场景。遗传算法是对生物进化过程进行模拟，借助选择、交叉、变异等操作，不断优化路径，逐步逼近最优解。蚁群算法则是受蚂蚁觅食行为启发，利用信息素引导“蚂蚁”寻找最优路径，通过信息素的积累与挥发机制，实现路径的优化选择。在实际的智能农机协同作业中，由于不同作业场景具有独特性，作业需求也各有差异，因此需结合具体情况挑选合适的路径规划算法。有时，为进一步提升路径规划的效率与准确性，还会将多种算法进行融合，综合各算法优势，为智能农机规划出更科学、合理的协同作业路径。

（三）通信与信息交互技术

通信与信息交互技术是智能农机协同作业得以顺利开展的关键支撑。智能农机在协同作业过程中，依赖无线网络实现彼此间的信息传输，常用的无线网络有Wi-Fi、ZigBee、4G/5G等。这些网络为农机之间搭建起信息传递的桥梁，使得位置、速度、作业指令等关键信息能够实时流动。稳定的通信网络至关重要，它保障了信息传递的及时性与准确性，有效规避因通信中断或延迟而引发的协同作业差错，确保各农机在作业过程中紧密配合、有序运行。借助通信与信息交互技术，不同农机之间能够实时共享作业状态与规划信息，实现协同作业的高效衔接。同时，该技术还打通了农机与远程监控中心的连接通道。远程监控中心可凭借此技术，实时获取各农机的作业数据，包括作业进度、设备状态等，进而对农机作业进行全方位、实时性的监控。一旦发现异常情况，管理人员能迅速做出反应，及时调度农机，调整作业安排，保障整个协同作业流程的稳定性和高效性，提升农业生产的智能化水平与管理效率。

（四）智能决策技术

智能决策技术是依托协同感知技术所获取的丰富信息，以及路径规划算法生成的结果，同时综合考虑农机

的性能参数和具体作业要求，从而做出科学合理的决策。在实际作业场景里，农田环境复杂多变，随时可能出现各种状况。智能决策系统能对各类信息进行快速分析与处理，当面临突发状况，如出现障碍物时，系统会迅速精准判断障碍物的类型、尺寸以及所处位置等关键信息。基于这些判断，结合农机自身性能和作业需求，选择最为适宜的应对策略，像规划绕行路线以避开障碍，或者在必要时暂停作业，保障农机和作业安全。在多农机协同作业时，智能决策技术的作用更为突出^[3]。它能实时掌握各农机的作业状态，包括作业进度、设备运行情况等，同时清楚剩余任务量，依据这些动态信息，智能决策系统可灵活调整作业分配，让各农机发挥最大效能，避免出现部分农机过载、部分农机闲置的情况，确保整个协同作业过程高效、有序推进，提升整体作业质量和效率。

三、智能农机协同作业路径优化策略

（一）基于任务特性的路径优化

不同农业作业任务，像耕地、播种、施肥、喷药、收割等，各有特点，对路径规划要求不同。耕地作业时，目标是提升土壤翻耕质量，可选用往返式或螺旋式路径规划。往返式路径能使农机按固定方向来回作业，保证耕地范围全面覆盖；螺旋式路径则以中心向外扩展或从外向内收缩作业，让翻耕更均匀。播种作业中，要依据种子间距和行距要求精确规划路径，防止漏播导致作物生长稀疏、产量降低，避免重播造成种子浪费和作物竞争。对于大面积农田作业，分区作业是有效方式，将农田划分成若干区域，依据农机数量、性能及作业能力，合理分配各区域作业任务，每区域由一台或多台农机负责。通过科学规划各区域内及区域间的路径，实现无缝衔接，减少农机空驶时间和距离，提高作业效率，保障不同任务在协同作业下都能高质量完成。

（二）农机协同避障策略

智能农机协同作业过程中，遭遇石头、树桩、沟渠等各类障碍物难以避免，多农机协同避障策略需全面考量各农机间的相对位置与运动状态，防止碰撞情况发生。分层避障方法是常用的有效策略，先借助全局路径规划为农机确定大致行驶路线，让农机对整体作业路径形成清晰认知；在农机依规划路线行驶时，利用局部传感器实时监测周边环境，一旦传感器检测到障碍物，系统会迅速依据障碍物的位置和大小，精准调整农机的行驶方向与速度，确保农机安全绕过障碍物^[4]。此外，多农机

间通过通信网络共享障碍物信息对协同避障起着关键作用，各农机将自身检测到的障碍物类型、位置、尺寸等关键信息及时传递给其他农机，当某台农机发现前方障碍物时迅速发送信息，其他农机接收后能提前规划避障路径、调整作业节奏，避免因信息不畅导致多台农机同时靠近障碍物，有效降低碰撞风险，保障多台农机在复杂作业环境中安全、高效地协同完成作业任务。

（三）能耗优化路径策略

降低农机能耗作为智能农机协同作业路径优化的关键目标，其路径策略可从多个维度推进。一方面，减少农机行驶距离与转弯次数是基础且有效的节能手段。通过科学规划路径，让农机以最短路线完成作业，规避不必要的绕行，可降低燃油或电力消耗；同时，鉴于频繁转弯会使农机能耗增加，规划路径时尽量安排农机直线行驶或采用大半径转弯方式。另一方面，精准选择行驶速度至关重要。不同农机有适宜的速度范围，速度过高，农机需克服更大阻力，能耗大幅上升；速度过低，作业效率降低，单位作业量能耗也会增加，所以要找到速度、能耗与效率的最佳平衡点。此外，采用智能节能控制技术能进一步优化能耗，该技术可实时监测农机负载和工况，依据信息自动调整发动机功率输出，负载轻时降低功率减少浪费，负载重时提升功率保障作业，通过这些综合策略实现智能农机协同作业能耗最小化，提升农业生产经济效益与环保效益。

（四）动态环境适应性调整策略

农业作业环境始终处于动态变化状态，天气改变、作物生长状况变化等情况频繁出现，这就要求智能农机协同作业路径优化必须具备动态环境适应性调整能力。天气因素对农机作业的影响极为显著，当遭遇暴雨、大风等恶劣天气时，农机作业会面临诸多风险，可能不得不调整作业计划甚至暂停作业。此时，路径优化系统需迅速接入气象信息，依据实时天气状况及时调整路径规划。暴雨可能导致农田出现积水、道路变得泥泞不堪，系统便会重新规划路径，避开积水严重区域，以此保障农机能够安全行驶，避免因恶劣天气造成设备损坏或人

员面临危险^[5]。作物生长是一个持续的动态过程，不同生长阶段对农机作业有着不同的要求，在作物生长初期，往往需要进行精细的耕地、播种作业；生长中期，则侧重于施肥、喷药；到了成熟期，主要进行收割工作。路径优化系统要借助传感器等设备实时监测作物生长状况，根据所获取的信息动态调整作业路径和参数，例如根据作物密度调整播种机的播种路径和间距，依据作物病虫害情况规划喷药农机的作业范围和药量，从而确保农机作业能够契合各阶段作物需求，让智能农机协同作业在动态变化的农业环境中始终保持高效与精准。

结语

综上所述，智能农机协同作业路径优化技术融合了多学科知识，是推动农业现代化的关键力量。从影响路径优化的诸多因素，到协同感知、路径规划算法等关键技术，再到基于任务特性、多农机协同避障等优化策略，每一环节都紧密相连。通过综合运用这些技术与策略，智能农机能在复杂多变的农田环境中高效、精准作业，降低能耗，提升农业生产效率与质量，实现经济效益与环保效益的双赢。未来，随着技术的持续创新，智能农机协同作业路径优化将迈向更高水平，为农业可持续发展注入强劲动力。

参考文献

- [1] 陈宁, 胡迪均. 基于车路协同的农机信息采集与通信技术应用研究[J]. 农机化研究, 2025, 47(4): 57-64.
- [2] 彭汪忆楠, 赖惠成, 于逸然, 等. 基于K-means++算法与YDSE算法的多农机协同优化[J]. 计算机应用研究, 2025, 42(5): 1453-1461.
- [3] 阎密. 基于机器学习的智能农机作业路径规划算法研究[J]. 南方农机, 2025, 56(13): 185-187.
- [4] 朱明波. 基于云计算的农业机械协同优化控制系统[J]. 南方农机, 2025, 56(11): 168-170.
- [5] 李仕春. 农机智能化对农业生产效率的提升作用及应用趋势[J]. 河北农机, 2025(13): 25-27.