

水稻联合收获机辅助导航系统关键技术研究

张光梅

东营市东营区辛店街道办事处农业综合服务中心, 山东 东营 257000

摘要:为提高水稻的田间收获效率,促进农业机械化发展进程,设计出一种水稻联合收获机辅助导航系统。机收水稻过程中,结合作物生长状态实时调整前进速度、割台高度等运行参数,优化水稻收获路径,提升机械化作业效率,使水稻收获质量得到保障。水稻联合收获机辅助导航的关键技术包括导航、信息采集及控制等技术。农田验证表明,该系统有助于提高水稻机械化收获效率,降低驾驶员的劳动负荷。

关键词:水稻;联合收获机;辅助导航;路径追踪;技术分析

中图分类号:S225.4

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2023.08.007

0 引言

2022年,我国水稻种植面积达到2 032.23 hm²,早稻总产量2 812.3万t^[1]。水稻收获是水稻生产的重要一环,劳动力投入大。收获期的水稻基本生长参数、土壤环境和生长期有差异,驾驶员需参照作物收获环境,动态调整行进速度、割台高度等水稻联合收获机的运行参数,这对驾驶员的驾驶技能水平提出较高要求,作业压力较大。

导航定位技术能自动规划农机设备的田间行进路径,并对路径进行自主追踪,减轻了驾驶员的工作强度。该项技术目前还不够成熟,农机设备的导向与定位不够精准,不能直接测定出水稻联合收获机的转向偏角等重要参数,导致稻田机械化收获作业形成较大的误差。将水稻联合收获机作为研究对象,成功设计出一种适配的辅助导航系统,田间收获作业验证了这种系统的实用性,对实现农机设备自主导航与作业路径优化有指导作用。

1 农机装备导航技术的研究进展

农机装备的精准定位是其进行自动驾驶的先决条件,可以运用不同导航定位技术实现。当前农机装备的导航定位技术主要有激光导航、视觉识别、惯性导航等,现实中可以组合使用上述技术。

激光导航是近些年发展起来的一种全新的导航技术,系统原理是激光雷达以发射脉冲的方式扫描作业区域两侧,根据脉冲最后返回到接收器的时间来推断雷达和田垄两侧的距离:

$$D = vt/2 \quad (1)$$

式中, D 为田垄两侧点到激光雷达的距离; v 为光速; t 为激光由发射至返回到接收器内的时间。

激光雷达的精准度与分辨率均较高,能辅助提高导航系统的定位精度。现实中,激光导航要完成多点位的测距任务,能更准确标定机器本体所处方

位,适用于视线欠佳状况下的运行导航、野外勘测定向等作业场景。

视觉导航定位利用摄像机/图像传感器等对目标对象所处环境内的物理因素进行光学处理,采集图像信息,并反馈至前期建好的子系统,确定目标对象与被采集图像的位置关系,自动定位目标对象。

惯性导航技术原用陀螺仪和加速度计协同测定运载体所处位置。通过分析测得的数据,推导出当前运载体在惯性参考坐标系内的运动状态,并掌握运载体在坐标系内的位置,明确瞬时速度及瞬时位置,计算其加速度。惯性导航系统运行全过程均没有外界资源的辅助,也不会辐射能量,抗干扰能力强,是一种典型的自主式导航系统。

2 水稻联合收获机辅助导航系统的工作原理与设计

2.1 辅助导航系统整体结构

水稻联合收获机在稻田的理想作业状态是“满幅收获”,但现实收获中,因为水稻秸秆之间有一定间隙,很难实现“满幅收获”。为提高水稻的整体收获效率,设计了一种水稻联合收获机辅助导航系统。该系统能精准辨识出稻田内的待收获区域,并快捷地为收获机规划出最合理的路径,实时修正田间行驶路径与目标路径之间的微小偏差,确保收获机能按照前期规划完成收获任务,系统的核心技术有导航定位、稻田收获区识别和作业路径优化。视觉导航定位系统主要由如下几部分构成:①工业相机,安装在收获机左前转向灯架上,主要用于捕捉收获机行进路径的前视觉信息;②后轮转角测量仪,能实时反馈后轮转角的位置信息;③电液转向阀组,能直接驱动转向液压缸转动,确保收获机后轮在水稻机械化作业过程中能正常运作;④控制箱,内部集成数据采集模块、供电模块等,协同调控转向轮状态,并测

定其转角大小;⑤笔记本电脑,这是系统的主控机,通过运行视觉导航软件发挥图像处理及局部纠偏的功用,进一步提升联合收获机导航作业过程的自动化控制水平。

2.2 工作原理

收获机上位机基于组态系统提供人机操作界面,对外动态展现农机装备的田间工作参数和运行状态,把水稻收割信息实时、完整地反馈给控制系统。视觉识别系统采集并辨识田间图像信息,执行图像处理及收获路径规划的任务,从而更加精准地控制动作过程,工作原理见图1。

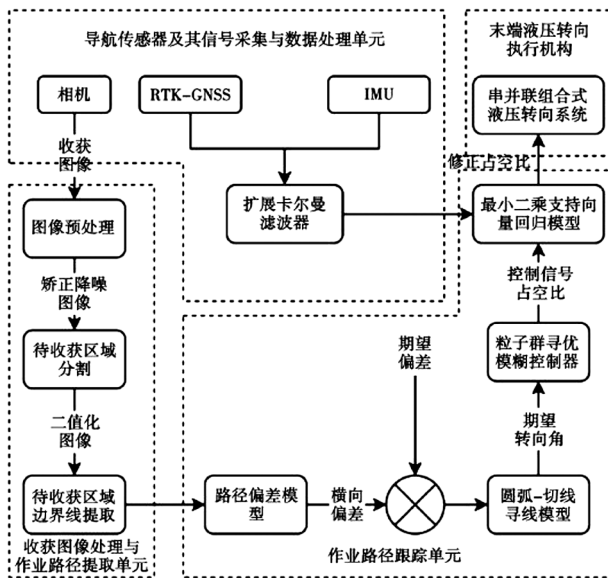


图1 水稻联合收获机辅助导航系统的工作原理

2.3 路径规划和控制技术

水稻联合收获机辅助导航系统主要执行路径规划与控制,即基于导航定位、视觉识别技术等得到收获机在稻田内的实际路径,动态修正实际路径和规划路径之间的偏差,维持控制算法的高精度是提升收获机辅助导航系统稻田作业精度的关键。视觉定位与追踪主要是定位图像内目标区域与导航路径内的障碍物,确保平台按照规划路径移动。当前,用于农业生产的定位与追踪辨识方法主要有如下三种:基于农作物生长特性的导航方法、基于田垄特征的道路识别方法、基于Hough变换的识别方法。其中,前两种视觉导航方法通过追踪图像内的特征区域(像素值、形状特征等),全面地获得轮廓信息^[2]。

水稻联合收获机辅助导航系统主要是联合视觉识别技术提取水稻收获信息,利用控制算法计算出收获机的路径偏差,导航路径拟合计算用于计算直线的参数,算法步骤如下。

步骤1:创建累加器*i*专门记录迭代频数,随后在既有的特征点(15个)内随机取两点,将其连接成一条直线,设定其直线方程:

$$y = kx + b \quad (2)$$

步骤2:创建2个累加器,代号分别是True与False,均被置于零位,记录除以上提取的2个特征点之外的其他特征点对该条直线的评价。出现代号True或False表明相应的特征点接受或拒绝该条直线。投票方式:依次运算出其他特征点(x_p, y_p)至该条直线的距离^[3]:

$$d_p = \frac{|y_p - kx_p - b|}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad (3)$$

式中, k, b 分别是直线的斜率与截距; d_p 是第*p*个特征点至直线的最短距离。

步骤3:其他特征点逐一对直线进行投票,若有 $d_p \leq 0.02W$,则据此可以认为该直线对应的特征点(x_p, y_p)符合要求,累加器True+1;反之则该条直线不符合要求,累加器False+1。运算完全部特征点并确认其均能接受该直线,则有True=13,可以把该直线的参数作为水稻联合收获机辅助导航系统最后的导航路线拟合结果;如果有部分特征点拒绝该直线,则累加器*i*+1,记录总迭代频次并返回步骤1循环运行。

步骤4:每张图像都包含15个特征点,应控制迭代次数(不宜过多)。结合实验测试结果可知,大多数图像大概迭代10次后就出现了契合设计条件的直线,继续执行搜索过程不仅无法提高直线的精度,反而会使算法实施期间耗用更多时间,综合分析后,本算法运行期间将最大迭代次数设定为20。 $i=20$ 表明连续随机抽取20次后依然没有出现能使全部特征点接受的直线,此时将投票最多的一组直线参数作为系统最后的拟合结果。

3 田间试验和分析

通过田间收获试验检验系统设计的合理性与应用的有效性,重点分析导航系统的田间适应性和作业成效。

3.1 试验条件的设计

田间试验之前,试验人员用五点法测出水稻生长基本参数与稻田土壤环境,测定结果见表1、表2。

表1 水稻基本参数

测定点	株高 (cm)	草谷比	产量 (t/hm ²)	割茬高 (cm)	秸秆量 (t/hm ²)
1	99	2.27	7.14	16	9.36
2	99	2.52	7.60	17	7.72
3	94	2.22	7.64	19	9.80
4	95	2.06	7.32	19	10.10
5	99	2.17	7.81	19	10.37

表2 稻田土壤环境的基本参数

测定点	含水率(%)	土壤坚实度(MPa)
1	28.6	0.368
2	30.2	0.602
3	29.7	0.597
4	28.6	0.502
5	28.3	0.558

3.2 测定指标和方法

田间试验前,在水稻收获区域边界每间隔 3.0m 做出明显标记,将收获区域到标记点的距离记为 d_{gi} ,根据式(4)、式(5)得出测定点割幅 Z_{gi} 和理想割幅的偏差 ΔZ_{gi} [4]:

$$Z_{gi} = d'_{gi} - d_{gi} (i = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

$$\Delta Z_{gi} = Z_{gi} - Z_m \quad (5)$$

将平均割幅偏差 $\overline{\Delta Z_g}$ 、最大割幅偏差 $\Delta Z_{g, \max}$ 及割幅率 Z_p 作为系统的评价指标:

$$\overline{\Delta Z_g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta Z_{gi} \quad (6)$$

$$\Delta Z_{g, \max} = \max(\Delta Z_{gi}) \quad (7)$$

$$Z_p = NZ_m / \sum_{i=1}^N Z_{gi} \quad (8)$$

稻田间真实割幅及平均割幅率的计算思路及方法是:已知联合收获机满割幅(标称割幅) $Y=256\text{m}$ 。机收一行后,沿着收获机单侧秸秆粉碎仪排草过程中生成的轨迹,每隔 2.0m 提取采样点测量,直到未收获区域边界。如果水稻秸秆杂余是均匀抛洒,那么可以通过测量两次前轮行驶轨迹的距离推算出稻田间实际割幅,记录采样点数量是 N ,对应采样点处实际测量割幅为 t_1, t_2, \dots, t_N ,联合式(9)与式(10)计算出收获机智能化导航作业的平均割幅率 Z_l 与直线精度 S_δ , S_δ 和目标收获区域边界的直线度存在明显的线性关系, S_δ 越小,直线度越好,田间收割一致性越高 [5]。

$$Z_l = NY / \sum_{i=1}^N t_i \quad (9)$$

$$S_\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (10)$$

式中, t_i 为采样点 i 处真实的测量割幅, cm; \bar{t} 为割幅均值。

3.3 实验结果和分析

田间实验结果见表 3。分析实验结果,水稻联合收获机辅助导航系统能精准辨识稻田待收获区域边界,且有效规避了局部漏割问题,较好地满足了水稻农田收获农艺要求。为进一步提升导航系统功能的稳定性及适用性,可以从如下两方面加强:

(1)设计检测算法。深入研究检测算法的鲁棒

性,增加深度学习原理、规则等广适性较强的图像处理算法,以便能更加稳定、精准地检测出目标导航收获边界。

(2)采集状态信息。改用抗震式的浮动相机支架采集图像相关信息,降低车身震动给图像采集过程带来的干扰;用惯性传感器测定转向轮转角,进而获得更丰富的收获机行驶趋势与状态信息,包括速度、加速度等。

表3 水稻联合收获机辅助导航系统的评价指标

实验区域	行进速度(km/h)	平均割幅(m)	平均割幅偏差(m)	最大割幅偏差	平均割幅率(%)
1	2.6	2.11	0.15	0.31	93.3
2	3.3	2.02	0.16	0.33	92.1
3	4.1	1.99	0.21	0.41	90.7
均值	3.33	2.04	0.18	0.35	92.03

4 结语

农业装备自动驾驶系统是现代农业智能化、精细化生产作业的一项核心技术,也是促进农业高效化、信息化发展的重要渠道。将智能导航系统加装到传统农机,能帮助驾驶员更加高效、顺利地完成任务,降低他们的劳动强度与精神压力。成功研发出一种水稻联合收获机辅助导航技术,联合运用视觉识别技术和路径优化方法能显著提高水稻收获效率。田间实验验证了系统设计的合理性与实用性,该系统能精准辨识水稻收获边界区域,提高水稻的收获效率,根据水稻收获边界智能调整作业路线。

参考文献:

- [1] 胡子谦,王登辉,胡瑞,等.基于拟人驾驶模型的联合收获机导航控制器设计与试验[J].华中农业大学学报,2022(4):248-258.
- [2] 陈杰,程胜,石林.基于深度强化学习的移动机器人导航控制[J].电子设计工程,2019(15):61-65.
- [3] 王梦华,王建华,付世玉,等.智能收获机无人驾驶控制系统开发及测试[J].拖拉机与农用运输车,2022(5):22-25.
- [4] 王伟康,罗承铭,张国忠,等.双电机履带式水稻收获机底盘自动驾驶系统设计与试验[J].华中农业大学学报(自然科学版),2022(2):199-207.
- [5] 丁幼春,王绪坪,彭靖叶,等.轮式谷物联合收获机视觉导航系统设计与试验[J].智慧农业,2020(4):89-102.

作者简介:张光梅,男,1969年生,工程师。研究方向为农业机械工程。