

王泉玉, 徐琪蒙, 卢彩云, 等. 免耕播种智能化关键技术研究现状与发展 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 27-35.
WANG Quanyu, XU Qimeng, LU Caiyun, et al. Research status and development of key technologies for no-tillage seeding intellectualization[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(6): 27-35.



免耕播种智能化关键技术研究现状与发展

王泉玉, 徐琪蒙, 卢彩云, 李洪文, 何 进, 王庆杰
(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要: 近年来, 免耕播种机具的发展创新推动了中国保护性耕作技术的快速进步。随着精准农业和测控技术的发展, 对行避茬、播量和播深监测控制等技术的研究应用使得免耕播种机具的智能化程度不断提升。本文以免耕播种为例, 介绍了机械触觉技术、机器视觉技术以及现代控制方法在免耕播种对行避茬技术中的研究现状, 阐述了红外检测技术、电容检测技术和图像检测技术在免耕播种播量监测中的应用现状, 介绍了主动和被动 2 种调节方式在免耕播种播深监测中的研究现状, 并从导航融合、算法和传感器研究等方面对未来免耕播种智能化发展方向进行了展望。

关键词: 保护性耕作技术; 农业机械; 免耕播种; 智能化
中图分类号: S223.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)06-0027-09

Research status and development of key technologies for no-tillage seeding intellectualization

WANG Quanyu, XU Qimeng, LU Caiyun, LI Hongwen, HE Jin, WANG Qingjie
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In recent years, the development and innovation of no-tillage seeding machines have promoted the rapid progress of conservation tillage technology in China. With the development of precision agriculture and control technology, the research and application of row stubble avoidance, seeding rate and seeding depth monitoring and control technology have improved the intelligence of no-tillage seeding machines. Taking no-tillage seeding as an example, this paper introduces the research status of mechanical tactile technology, machine vision technology and modern control methods in no-tillage seeding row-follow stubble avoidance technology, expounds the application status of infrared detection technology, capacitance detection technology and image detection technology in no-tillage seeding rate monitoring, and introduces the research status of active and passive adjustment methods in no-tillage seeding depth monitoring. The future development direction of no-tillage seeding intelligence is prospected from the aspects of navigation fusion, algorithm and sensor research.

Key words: conservation tillage technology; agricultural machinery; no-tillage seeding; intellectualization

收稿日期: 2021-07-16 网络首发时间: 2021-09-08 15:17:29
网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210908.1047.002.html>
作者简介: 王泉玉 (1998—) 男, 博士研究生, E-mail: quanyu0614@163.com; 通信作者: 李洪文 (1968—) 男, 教授, 博士, E-mail: lhwen@cau.edu.cn
基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-03); 中国农业大学 2115 人才工程; 中央高校基
本科研业务费专项 (2021TC011)

保护性耕作技术对农田实行免耕、少耕,用前茬作物秸秆、根茬覆盖地表,并进行必要的轮作,是一项符合现代农业可持续发展要求的农业耕作技术,其不仅可以减少风蚀、水蚀,提高土壤肥力和抗旱能力,还具有保水保墒、节本增效、培肥地力等优点^[1-2]。近年来,作为国内外农业可持续发展的重要技术内容之一,保护性耕作技术在中国的发展较为迅速,不仅初步形成了较为科学的区域性技术模式,而且适用机具的发展也日渐成熟^[3]。

播种是农业生产中的关键环节,也是目前保护性耕作免耕播种技术发展的重要研究内容。由于保护性耕作技术要求减少动土量、保墒蓄水,故多采用地表秸秆覆盖、土壤中保留作物残茬的方式保护耕地。上述方式使得播种前地表环境变得复杂恶劣,机具作业时容易造成秸秆壅堵、地轮打滑等问题,进而导致播种质量的下降。采用精量播种技术是规模化生产和实现节本增效的重要手段,智能导航、精准控制和信息采集等智能化技术推动着精准农业的推广和精量播种技术的发展。近年来,自动导航技术、测控技术等农业装备精准作业技术在保护性耕作中得到一定范围的应用,使得免耕播种质量在一定程度上得到了提高^[4-5]。应用现代农业智能化和信息化技术,提高免耕播种质量,凸显该项技术的良好经济效益、环境效益和社会效益,有利于加快保护性耕作技术的发展与推广。

本文主要介绍免耕播种对行避茬技术、免耕播种播量监测控制和免耕播种播深监测控制中智能化关键技术的研究与应用现状,为免耕播种智能化的发展方向提供借鉴。

1 免耕播种对行避茬技术

在麦玉轮作一年两熟区,由于小麦免耕播种前茬作物大多为玉米,播种时若开沟器碰上粗大的玉米根茬,则会引发堵塞、拖堆等问题,甚至造成停机^[6]。针对上述问题,相关科研人员提出了对行播种的思路,即在玉米行间播种小麦,避开玉米根茬^[7]。如图 1 所示,前茬玉米的播种行距为 60 cm,后茬小麦的播种行距为 15 cm,即在 2 行玉米中间播种 3 行小麦。按照此播种模式,开沟器与玉米根茬的最小距离为 15 cm,考虑到玉米根须辐射半径为 3~5 cm,以及玉米播种直线度误差为 2 cm 左右,为避开开沟器碰上玉米根茬,要求播种横向偏差小于 10 cm。如此小的误差范围提高了对拖拉机驾驶员的驾驶技术要求并且增加了工作强度,为减轻人力劳动强度和提高对行精度,研究对行避茬导航技术是有必

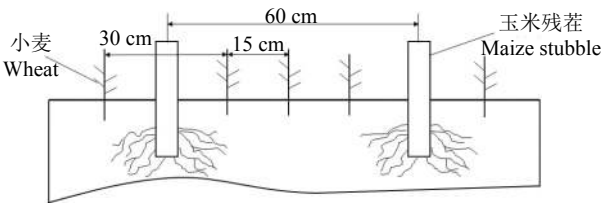


图 1 小麦对行播种示意图
Fig. 1 Sowing wheat following the maize rows

要的。小麦免耕对行播种作业的关键在于识别根茬行提取导航路径,并控制作业机具与玉米根茬保持一定的距离,避免开沟器碰到根茬降低播种质量。

应用导航控制技术实现横移对行在行间除草领域的研究和应用已较为成熟,其原理为利用传感器获取偏差信息,控制器发送信号,执行部件动作实现作业部件的横向移动。Astrand 等^[8]应用视觉导航进行行间除草,以导向轮作为转向装置,通过自适应比例-积分-微分 (Proportion-integral-differential, PID) 方法控制导向装置移动,如图 2 所示。Griepentrog 等^[9]设计了一种双机架结构,利用载波相位差分全球定位系统 (Real time kinematic differential global position system, RTK-GPS) 获取位置信息,通过 PID 控制,实现锄铲自动横移。张漫等^[10]将基于全球导航卫星系统 (Global navigation satellite system, GNSS) 的拖拉机导航系统和基于机器视觉的农机具导航系统相结合,通过可编程逻辑控制器 (Programmable logic controller, PLC) 控制液压阀,实现除草铲的横向移动。近年来,通过横向移动实现对行的方式越来越多地应用到其他农机作业环节,包括播种、喷药和收获等,技术手段和智能化程度也不断提高,这有助于免耕播种对行避茬技术的进步和发展。



图 2 基于导向轮的除草机导航系统
Fig. 2 Navigation system of weeder based on guide wheel

1.1 玉米根茬行识别技术

随着信息技术的发展,导航技术在播种作业、田间管理和收获作业中的研究与应用越来越广泛^[11-15]。将导航技术应用到对行播种作业中,不仅

可以减轻人工作业的劳动强度, 而且能够提高对行精度。目前应用于免耕播种环境下的根茬识别导向技术主要有机械触觉技术和机器视觉技术。

根据免耕播种机原理和免耕播种环境要求, 魏延富^[16]提出利用机械式导向系统提高播种作业的直线性, 以农田中的玉米秸秆(根茬)为导向, 利用安装在拖拉机前方的信号探测装置获取玉米秸秆(根茬)的位置信息。李洪文等^[17]设计了一种适用于垄作免耕播种方式的自动导向装置, 能够较好地引

导机具进行原垄播种。李娇等^[18]在设计对比拖拉机导航系统和机具导航系统时, 以半椭圆形机械触杆作为检测根茬的信号探测装置。在免耕对行避茬播种思路提出的前期, 利用机械触杆探测玉米根茬, 通过控制拖拉机前轮转向避开根茬进行播种。该方式具有结构简单、技术经济可行性强的优点, 但也存在玉米根茬间隔不连续和农田障碍物导致的机械探测信号缺失或不准确的缺点, 机械触觉导向原理如图 3 所示。

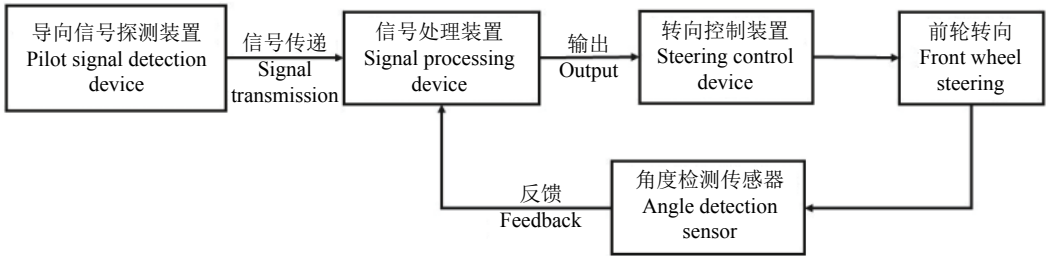


图 3 机械触觉导向原理图

Fig. 3 Schematic diagram of mechanical tactile guidance

针对机械式导航方式信号采集准确性较差的问题, 农业农村部保护性耕作研究中心的研究人员借鉴国内外机器视觉技术在农业机械领域的研究和应用经验, 开展了针对免耕播种对行避茬导航路径检测的研究, 机器视觉导向原理如图 4 所示。陈媛^[19]提出了基于图像处理技术的视觉导航方法, 将单目摄像机安装在铁牛拖拉机前端正中位置获取根茬图像, 采用迭代阈值分割法可有效地将根茬行

和土壤背景分离, 选用过已知点的 Hough 变换方法实现了行间及行茬直线的有效检测提取。王晓燕等^[20]提出一种视觉导航方法, 用来识别玉米根茬行, 选取迭代法分割直立根茬图像, 选用平滑算法提高了直线检测的准确性。陈婉芝^[21]分别研究了基于普通彩色图像和高光谱图像的玉米根茬行图像分割, 并提出一种改进的最小二乘导航线提取方法, 缩短了检测时间, 提高了检测精度。

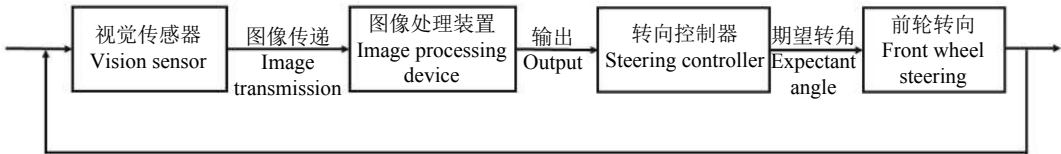


图 4 机器视觉导向原理图

Fig. 4 Schematic diagram of machine vision guidance

在免耕播种根茬行识别技术中, 机械触觉技术具有结构简单和实用可行的优点, 但是存在定位精度低和实时性较差的缺点; 利用机器视觉识别根茬

行具有精度高、速度快的特点, 但是还要加强适应免耕播种环境的图像处理算法的研究。2 种根茬行识别技术的优缺点对比如表 1 所示。

表 1 不同类型根茬行识别技术对比		
Table 1 Comparison of different types of stubble row recognition techniques		
识别技术 Recognition technology	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
机械触觉技术 Mechanical tactile technology	结构简单, 成本低, 安装维护方便	探测信号不连续, 易受田间障碍物影响
机器视觉技术 Machine vision technology	图像信息更全面, 灵活性强, 可实时进行导航路径规划	受光照影响较大, 数据处理算法耗时长, 对处理器要求较高

玉米根茬行的快速有效检测是机器视觉对行避茬过程中的关键技术,但是由于玉米根茬与行间秆叶、裸露田间土壤颜色接近,因此增加了快速有效检测根茬行的难度,对精度的要求也有所增加。现有作物行检测的主要方法特点如表 2 所示。

1.2 对行避茬控制技术

农机的自动驾驶控制主要包括 2 个方面,分别

是横向位置偏差和航向偏差,导航控制器将农机的位置信息与规划路径相比得出的偏差信号发送给控制机构,控制并减小农机与规划作业路径之间的横向偏差和航向偏差,以满足农业生产的需要^[22-23]。由于农田作业环境复杂,所以农机导航控制算法需要有一定的适应性、稳定性、准确性和鲁棒性。常用的农机导航控制方法特征对比如表 3 所示。

表 2 作物行检测方法特点

Table 2 Characteristics of crop row detection methods

检测方法 Detection method	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
最小二乘法 Least square method	检测速度快	易受噪声影响
Hough变换 Hough transformation	抗干扰能力强,鲁棒性强	计算量大,耗时长
垂直投影 Vertical projection	计算简单,抗噪声效果好	受杂草影响较大
线性回归 Linear regression	计算简单	受噪声影响较大

表 3 不同导航控制方法的特征对比

Table 3 Characteristic comparison of different navigation control methods

控制方法 Control method	是否建模 Modeling or not	优点 Advantage	缺点 Disadvantage	适用系统 Applicable system
PID控制 PID control	否	鲁棒性强,结构简单且易实现	超调量和响应时间存在矛盾	线性
模糊控制 Fuzzy control	否	对参数变化鲁棒性和适应性强	规则选择缺乏系统性	非线性
纯追踪控制 Pure pursuit control	是	控制参数少,稳定性强	结构固定,性能优化较困难	非线性
最优控制 Optimized control	是	可以使性能指标达到最优	依赖模型准确性	非线性

魏延富^[16]在机电伺服触觉式秸秆导向系统中,设计了基于电液伺服控制和反馈控制的转向控制装置,提高了该导向系统的适应性。针对玉米秸秆行间接触式导航控制精度低的问题,何卿等^[24]在导航控制系统中设计了双层控制器,该系统以模糊控制器和 PID 控制器分别作为上、下层控制器,当行驶速度不超过 1 m/s 时,拖拉机导航精度在 50 mm 以内,平均误差为 15 mm,满足玉米秸秆行间要求。李娇等^[18]设计了农机和机具 2 种导航系统,以数字信号处理器 (Digital signal processing, DSP) 作为控制单元,通过 MATLAB/Simulink 仿真,对比研究了拖拉机导航系统和机具偏转导航系统的运动控制特性,结果显示,机具偏转系统实时响应速度快,精度高,但稳定性较差。李洪文等^[25]设计了一种免耕机具导向系统,主要机械结构为机具导向架,以 DSP 作为控制单元,采用经典 PID 控制算法控制电液比例换向阀进行工作,试验结果表明,机具导向架的调节范围为-10.8°~10.7°,该系统具有较好的稳定性,控制精度高,实时响应速度快。陈婉芝^[21]在免耕对行避茬装置中,设计了模糊控制器控

制开沟器偏转,试验结果表明,当拖拉机速度不超过 1.2 m/s 时,播种机开沟器能有效避开根茬,满足对行作业要求。

在免耕对行避茬技术中现有的应用控制方法主要是模糊控制和 PID 控制, PID 控制方法适用于线性系统,对非线性系统的控制效果不佳,而农机作业具有高度非线性特点,模糊控制虽然适用于非线性系统,但是其规则主要依靠专家经验。为提高免耕对行避茬播种装置的响应速度和控制精度,还需要深入研究各种控制方法的特点及组合效果。

2 免耕播种播量监测与控制

播量监测控制技术可以提高播种精度,降低生产成本,改善种子发芽率^[26]。在免耕播种作业过程中,仅凭驾驶员观察无法及时观测到播种状况,而在播种作业过程中的种肥箱排空、开沟器堵塞、排种轴转动等故障,会导致 1 行或多行漏播,从而导致减产。在玉米茬地免耕播种小麦时,由于地表覆盖大量秸秆,作业环境更加恶劣,因开沟

器堵塞导致的漏播现象更加严重^[27-28]。所以, 对免耕条件下小麦和玉米播种质量的监测显得至关重要。

国外最早在 20 世纪 40 年代开始对精密播种机监控系统进行研究和应用, 在 20 世纪 90 年代, 国外播种监控的研究已较为成熟并研制出装备^[29]。国内外对玉米免耕播种机播种监测系统的研究已较为成熟, 在各品牌播种机中已经应用。例如: 德国雷肯 Solitair8 气力式精量播种机^[30](图 5) 在种子分配器下方配备监视传感器, 当排种管排种不顺畅或者堵塞时, 传感器会发出报警信号; 黑龙江德沃 2BMQ 牵引式免耕精量播种机^[31](图 6) 可实现堵肥缺肥报警, 种子漏播报警, 播种粒数统计等功能; 德邦大为 1205 型免耕精量播种机^[32] 配备了五位一体播种监控系统。



图 5 雷肯 Solitair8 气力式精量播种机
Fig. 5 LEMKEN Solitair8 pneumatic precision seeder



图 6 德沃免耕精量播种机
Fig. 6 DEVO no-tillage precision seeder

在谷物播量监测中常见的技术方法有光电技术、电容技术和图像技术, 以下分别介绍这 3 种检测技术在免耕播种机播量监测控制方面的研究现状。

2.1 基于光电检测技术的播量监测与控制

红外传感技术是播种质量光电检测技术的一种, 由于其成本低且易于维护, 所以在免耕播种机中的应用较为广泛。图 7 是美国 Precision Planting

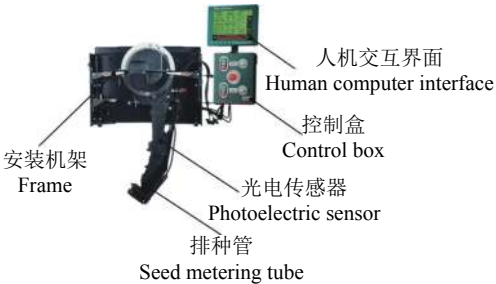


图 7 Precision Planting 公司的排种器检测试验台
Fig. 7 The test bed for seed metering device from Precision Planting company

公司生产的排种器检测试验台^[33], 其采用光电传感器对排种过程进行检测, 相关排种质量参数会在触摸屏显示。

针对免耕播种机工作环境尘土大, 对光的削弱作用较强的问题, 冯全等^[34] 研制了一种适用于尘土较大环境的免耕播种机排种监测器, 其采用抗尘性能良好的近红外对管作为传感器, 可同时对 10 行排种通道中的排种情况进行监测, 如发生漏播、堵塞现象将进行声光报警。针对小麦种子重叠导致检测精度低的问题, 姜萌等^[35] 基于红外检测原理, 以红外发光二极管 (Light-emitting diode, LED) 为敏感元件, 开发了内插式播种量检测传感器, 该播种量检测系统具有较高的检测精度, 且具有较好的抗日光和抗粉尘干扰性能。针对种箱排空导致漏播的问题, 郭子豪^[36] 将每一对对射式红外光电传感器的发射端和接收端等高度地固定在种箱的一对相对侧壁上, 利用 3 组对射式红外光电传感器可有效检测种箱的排空情况。董燕^[37] 在免耕机的种肥箱内安装缺料传感器, 用来监测种肥箱内种肥的剩余量, 在耧腿阻塞检测中采用自制的对射式红外发射电路和接收电路检测开沟器是否堵塞。刘建英等^[38] 采用光电传感器、555 定时器和互补金属氧化物半导体 (Complementary metal oxide semiconductor, CMOS) 器件, 为 2BM-5 型气吸式精量免耕播种机设计了实时监测系统, 用于监测排种管内种子的下落情况。车宇等^[39] 采用红外检测技术, 设计了一种对射式传感器, 基于 PIC(Peripheral interface controller) 单片机平台开发了配套播种质量监测系统, 该系统可对播种过程中的堵塞、漏播等现象发出声光报警信号, 避免漏播断条现象的发生。陈广大等^[40] 和戈天剑等^[41] 将 ARM 微处理器和红外光电检测技术应用到免耕播种机工况监控系统中, 对播种质量进行监测。

2.2 基于电容检测技术的播量监测与控制

利用电容法^[42] 进行播量监测控制的原理是: 电

容传感器由 2 个相对放置的电容极板组成, 根据电容量的物理表达式, 当两极板间介质的介电常数发生变化时会引起电容量改变。当种子通过两电容极板间时, 由于种子与空气的介电常数不同, 使电容传感器两极板间的介电常数发生改变, 进而电容量发生变化, 通过检测电容量的变化实现对种子的监测。针对气力式免耕播种机作业中因排种管堵塞和种箱排空等造成漏播的问题, 王振华等^[43] 基于单片机技术设计了一种适用于气力式免耕播种机的工作情况监测系统, 该系统采用在种箱底部加装电容式料位传感器的方式监测种箱料位的高低。陈建国等^[44] 采用电容法对小麦播种量进行检测, 对种子数量与电容变化量之间的线性关系建立模型, 并提出一种精度补偿算法, 使该系统具有较高的检测精度。周利明等^[45] 设计了一种基于 AD7745 和单片机的高精度微电容传感器, 用于小麦播种机排种量的检测; 此外, 周利明等^[46] 还采用微电容信号监测玉米排种器性能, 以电容传感器获取种子的运动信息, 能够有效监测排种过程。

2.3 基于图像检测技术的播量监测与控制

图像检测技术相对于前 2 种技术方法, 检测精度高, 自动化程度高, 成本也高, 由于其测试系统和设备较为复杂, 目前的研究大都集中于实验室台架试验。廖庆喜等^[47] 提出利用高速摄影检测排种器性能和种子的破碎情况, 弥补了光电检测技术无法

判断种子破碎情况的缺点。张晓亮等^[48] 针对免耕播种机不能调整株距的问题, 设计了多级链轮调节系统, 使用多路传感器对图像进行采集, 利用 TMS320DM642 内核对图像进行处理, 发出智能控制指令, 最后将信息进行反馈, 以得到最佳的株距控制。陈进等^[49] 基于高速摄像技术建立了精密排种器性能检测系统, 对排种图像进行处理, 提取种子的特征值。Akdemir 等^[50] 利用影像分析系统检测传送带上某一特定区域内已播小麦、大麦等种子的数目。Li 等^[51] 基于图像处理技术搭建了小麦精密播种试验平台 (图 8), 对小麦种子的播种过程进行图像采集。

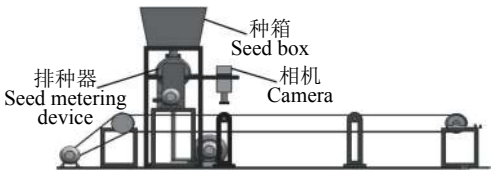


图 8 小麦精密播种试验平台
Fig. 8 The test platform for wheat precision seeding

综上所述, 在免耕播种质量监测的研究中, 红外检测技术主要用于计数和漏播检测, 电容传感器主要用于种箱和肥箱的料位检测, 图像检测技术由于成本高、系统复杂, 目前还主要集中在实验室台架研究阶段。上述 3 种不同类型的检测技术的优缺点对比如表 4 所示。

表 4 不同类型检测技术的优缺点对比
Table 4 Comparison of advantages and disadvantages of different detection technologies

检测技术 Detection technology	优点 Advantage	缺点 Disadvantage
红外检测技术 Infrared detection technology	成本低, 性能可靠, 维护简便, 可通过改变传感器的排布方式和优化电路设计提高测量精度	易受振动、光线、温度等因素的影响
电容式传感器 Capacitive sensor	简便经济, 容易维护, 可在线非接触测量	无法对播种籽粒数、漏播率等参数进行统计
图像处理技术 Image processing technology	快速准确, 测量精度高, 自动化程度高	所需设备和测试系统较为复杂, 图像采集设备易受外界干扰, 成本较高

3 免耕播种播深监测与控制

在免耕播种条件下, 地表条件相对较差, 土壤坚实度差异较大, 对播种深度一致性影响较大, 而播深一致性是保证出苗率和出苗长势的重要因素^[52-54]。因此, 对免耕播种机的播深控制研究在一定程度上影响了保护性耕作这一技术的推广应用。

播深控制技术分为主动调节式和被动调节式 2 种。被动调节式主要利用调节弹簧和平行四连杆机构调节开沟器在竖直方向上的相对高度, 实现单

体仿形, John Deere 公司的多种播种机采用开沟器两侧安装橡胶限深轮结合四连杆机构的方式, 以达到控制开沟深度的目的, 国内免耕播种机大都采用这种调节方式, 如图 9 所示。主动调节式主要利用超声波传感器和压电传感器等结合液压驱动进行深度调节, 例如 Amazone 公司将超声波传感器安装在开沟器上, 实时探测开沟深度。

Nielsen 等^[55] 将角度传感器加装到免耕播种机开沟器的旋转点上, 为控制系统提供反馈信息, 通



图 9 采用限深轮和四连杆机构控制开沟深度
Fig. 9 Control of rowing depth with depth-limiting wheel and four-bar linkage

过控制电液装置保持开沟器开沟深度一致。蔡国华等^[56]设计了一种开沟深度自动控制系统,该系统利用超声波传感器进行开沟深度的检测,当实际开沟深度与期望开沟深度之间的偏差超过阈值时,控制器发出控制信号,以液压缸动作调节开沟深度。黄东岩等^[57]设计了一种主动作用式播种深度自动控制系统,应用聚偏二氟乙烯 (Polyvinylidene fluoride, PVDF) 压电薄膜制作胎面形变感应器,实时监测播种单体对地表的压力,当压力不足时,空气弹簧产生推力,增大播种单体对地表的压力,从而保证播种深度相对一致。赵金辉等^[58]设计了开沟深度控制系统,采用闭环控制的方式,实现了开沟深度的精确和实时控制,采用补偿延迟时间的方法,实现了开沟深度的同步仿形。朱龙图^[59]利用弯曲强度传感器获取播种单体对地表的压力,播种深度控制器接收到信号后,调节气动装置压力值,从而调节播深。

在实际生产中,利用播种单体自重、调节弹簧和平行四连杆机构的被动调节方式应用比较多,但越来越多的学者将主动调节作为研究对象,采用超声波传感器或者压力传感器等采集播种深度信息,进而通过液动或气动装置控制播种

深度。

4 展望

近些年,随着国家政策的重视和农民传统思想的转变,保护性耕作技术在我国取得了巨大的进步,也为我国可持续农业的发展做出了重要的贡献。本文从免耕播种对行避茬技术、免耕播种播量监测控制技术和免耕播种播深监测控制技术 3 个方面介绍了现代智能导航与测控技术在免耕播种机上的应用现状。结合目前自动导航技术和智能测控技术在免耕播种机上的应用现状,本文提出未来免耕播种智能装备的研究重点:

1) 差分 GNSS 技术在水稻插秧、收获等农田作业领域的研究较为成熟,但是在保护性耕作田间作业方面的研究较少,建议加强对 GNSS 导航技术、惯性导航技术以及视觉导航技术等多种不同导航融合方式的研究,提高免耕播种作业的定位精度和控制精度。

2) 在免耕播种对行避茬技术的研究中,针对玉米根茬与图像背景中土壤和覆盖秸秆颜色特征相似的特点,加强对图像分割方法、直线检测方法和控制方法的深入研究,提高识别算法的效率和执行

部件对行过程的响应速度和平稳性。

3) 在免耕播种播量和播深监测的研究中, 针对免耕播种灰尘大和机器振动大的特点, 研发通用性强、灵敏度高和防雨、抗尘性能好的传感器, 采用 5G 等先进传输技术实现无线信号传输, 减少有线布控。

参考文献:

- [1] 农业部农业机械化推广司. 中国保护性耕作[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [2] 高旺盛. 论保护性耕作技术的基本原理与发展趋势[J]. *中国农业科学*, 2007, 42(12): 2702-2708.
- [3] 何进, 李洪文, 陈海涛, 等. 保护性耕作技术与机具研究进展[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(4): 1-19.
- [4] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. *智慧农业*, 2019, 1(1): 1-7.
- [5] 高万林, 张港红, 张国锋, 等. 核心技术原始创新引领智慧农业健康发展[J]. *智慧农业*, 2019, 1(1): 8-19.
- [6] 魏延富, 高焕文, 李洪文. 三种一年两熟地区小麦免耕播种机适应性试验与分析[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 97-101.
- [7] 姚宗路, 王晓燕, 李洪文, 等. 2BMD-12 型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2005(5): 46-51.
- [8] ÅSTRAND B, BAERVELDT A J. A vision based row-following system for agricultural field machinery[J]. *Mechatronics*, 2006, 15(2): 251-269.
- [9] GRIEPENTROG H W, NOERREMARK M, NIELSEN J, et al. Autonomous inter-row hoeing using GPS-based side-shift control[J]. *Agricultural Engineering International: The CIGR E-Journal*, 2007, 9: 1-9.
- [10] 张漫, 项明, 魏爽, 等. 玉米中耕除草复合导航系统设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(S1): 8-14.
- [11] PEREZ-RUIZ M, SLAUGHTER D C, GLIEVER C, et al. Tractor-based real-time kinematic-global positioning system (RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant[J]. *Biosystems Engineering*, 2012, 111(1): 64-71.
- [12] ORTIZ B V, BALKCOM K B, DUZY L, et al. Evaluation of agronomic and economic benefits of using RTK-GPS-based auto-steer guidance systems for peanut digging operations[J]. *Precision Agriculture*, 2013, 14(4): 357-375.
- [13] KURITA H, IIDA M, CHO W, et al. Rice Autonomous harvesting: Operation framework[J]. *Journal of Field Robotics*, 2017, 34(6): 1084-1099.
- [14] TU C, WYK B, DJOUANI K, et al. An efficient crop row detection method for agriculture robots[C]// IEEE. 2014 7th International Congress on Image & Signal Processing. Dalian, China: IEEE, 2014: 655-659.
- [15] CHOI K H, HAN S K, HAN S H, et al. Morphology-based guidance line extraction for an autonomous weeding robot in paddy fields[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 113: 266-274.
- [16] 魏延富. 机电伺服触觉式秸秆导向系统试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [17] 李洪文, 何卿, 王庆杰, 等. 玉米垄作免耕播种机自动导向装置: 200610089792. X[P]. 2007-01-24.
- [18] 李娇, 李洪文, 何卿, 等. 拖拉机自动导航与机具偏转导航的仿真对比研究[J]. *农机化研究*, 2009, 31(7): 22-25.
- [19] 陈媛. 基于机器视觉的秸秆行茬导航路径的检测研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [20] 王晓燕, 陈媛, 陈兵旗, 等. 免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(6): 158-163.
- [21] 陈婉芝. 基于机器视觉的免耕播种机对行避茬技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [22] 胡静涛, 高雷, 白晓平, 等. 农业机械自动导航技术研究进展[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(10): 1-10.
- [23] 姬长英, 周俊. 农业机械导航技术发展分析[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(9): 44-54.
- [24] 何卿, 高焕文, 李洪文. 接触式拖拉机导航控制系统[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(1): 97-101.
- [25] 李洪文, 李娇, 苏艳波, 等. 玉米茬地免耕播种机具导向系统设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(4): 41-46.
- [26] 农牧渔业部南京农业机械化研究所. 八十年代国内外农机化新技术[M]. 北京: 农村读物出版社, 1984.
- [27] 廖庆喜, 高焕文, 舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1): 108-112.
- [28] 赵丽平, 那晓雁. 精密排种器的研发现状[J]. *农业科技与装备*, 2014(6): 30-31.
- [29] FUSS T D, HAUCK D L, JACOBSON J T, et al. Air seeder blockage monitoring system: US19970956053[P]. 1998-11-03.
- [30] 黑龙江瑞丰盈现代农业科技有限公司. 德国雷肯 Solitair8 气力式精量播种机[EB/OL]. [2021-07-16]. <https://www.nongjitong.com/dealer/rfyny/373904.html>.
- [31] 黑龙江德沃科技开发有限公司. 黑龙江德沃 2BMQ 牵引式免耕精量播种机[EB/OL]. [2021-07-16]. http://dewojt.com/product_er.php?class_id=16&id=77.
- [32] 北京德邦大为科技股份有限公司. 德邦大为 1205 型免耕精量播种机[EB/OL]. [2021-07-16]. <http://www.debont.com.cn/cn/product/83.html>.
- [33] 赵东岳. 精量排种器排种性能检测系统的设计与试验[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [34] 冯全, 栗震霄, 吴建民, 等. 免耕播种机高抗尘排种监测器的设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(9): 68-70.
- [35] 姜萌, 刘彩玲, 都鑫, 等. 小麦精少量播种播量检测系统研制[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(5): 50-58.
- [36] 郭子豪. 基于 LabVIEW 的免耕播种机工作性能检测系统设计[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- [37] 董燕. 精准定位变率施肥播种免耕机的研究[D]. 济南: 山东科技大学, 2010.
- [38] 刘建英, 刘飞, 张鹏举. 气吸式免耕播种机排种器监测系统设计与试验[J]. *农机化研究*, 2015, 37(9): 143-146.
- [39] 车宇, 伟利国, 刘婵韬, 等. 免耕播种机播种质量红外监测系统设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(S1): 11-16.

[40] 陈广大, 马占辉, 马超, 等. 基于 ARM 的玉米免耕播种施肥机监控系统设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 209-212.

[41] 戈天剑, 赵斌, 衣淑娟, 等. 气吸式免耕播种机工况监测系统的研究与实验[J]. 农机化研究, 2017, 39(11): 76-80.

[42] 郝永亮. 玉米排种器排种质量检测试验仪设计与试验[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.

[43] 王振华, 李文广, 翟改霞, 等. 基于单片机控制的气力式免耕播种机监测系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1): 56-60.

[44] 陈建国, 李彦明, 覃程锦, 等. 小麦播种量电容法检测系统设计及试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(18): 51-58.

[45] 周利明, 张小超, 苑严伟. 小麦播种机电容式排种量传感器设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 99-103.

[46] 周利明, 王书茂, 张小超, 等. 基于电容信号的玉米播种机排种性能监测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 16-21.

[47] 廖庆喜, 邓在京, 黄海东. 高速摄影在精密排种器性能检测中的应用[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(5): 570-573.

[48] 张晓亮, 时磊, 王娜, 等. 基于传感和信息采集的免耕智能播种机设计[J]. 农机化研究, 2016, 38(5): 160-164.

[49] 陈进, 边疆, 李耀明, 等. 基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 90-95.

[50] AKDEMIR B, KAYISOGLU B, BENET B. Developing image analysis system for laboratory tests of precision and bulk sowing machines. [C]//CIGR. XXXVII Brazilian Congress of Agricultural Engineering. Iguassu Falls City, Brazil: CIGR, 2008.

[51] LI Q, LIN H, XIU Y F, et al. The Design and development of test platform for wheat precision seeding based on image processing techniques[C]// China Agricultural University, China National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture. Computer and Computing Technologies in Agriculture III. Beijing: China Agricultural University, China National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, 2009: 352-358.

[52] 刘鑫, 尹承苗, 李慧, 等. 播种深度和播后淹水时间对冬小麦出苗率及冬前幼苗质量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 189-194.

[53] 郑亭, 樊高琼, 王秀芳, 等. 耕作方式、播深及覆土对机播套作小麦麦苗素质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 164-168.

[54] HÅKANSSON I, ARVIDSSON J, KELLER T, et al. Effects of seedbed properties on crop emergence: 1. Temporal effects of temperature and sowing depth in seedbeds with favourable properties[J]. Acta Agriculture Scandinavica, 2011, 61(5): 458-468.

[55] NIELSEN S K, MUNKHOLM L J, M LAMANDÉ, et al. Seed drill depth control system for precision seeding[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 144: 174-180.

[56] 蔡国华, 李慧, 李洪文, 等. 基于 ATmega128 单片机的开沟深度自控系统试验台的设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 11-16.

[57] 黄东岩, 朱龙图, 贾洪雷, 等. 基于压电薄膜的免耕播种机播种深度控制系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 1-8.

[58] 赵金辉, 刘立晶, 杨学军, 等. 播种机开沟深度控制系统的设计与室内试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 35-41.

[59] 朱龙图. 免耕播种机播种深度自动控制系统研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.



李洪文, 中国农业大学教授, 教育部长江学者特聘教授。主要从事保护性耕作技术与装备研究, 现任农业农村部保护性耕作研究中心主任、中国农业大学国家保护性耕作研究院院长, 教育部、农业农村部保护性耕作技术与装备创新团队负责人。以第一发明人获国家发明专利 38 项, 以第一作者/通信作者发表 SCI/EI 收录论文 102 篇, 出版专著 6 部。获国家科技进步二等奖 4 项, 其中 3 项为第一完成人, 获省部级科技奖励 9 项。获“全国优秀科技工作者”、“全国农业科技推广标兵”、“全国创新争先奖”等荣誉。

【责任编辑 李晓卉】