

一种网络算法下的自动插秧机可行性设计

张悦辉, 惠华先

(南阳农业职业学院, 河南 南阳 473000)

摘 要: 为实现自动插秧机工作过程的可行性,基于网络算法设计一种能够进行前视距离追踪的插秧机自动导航算法。通过建立插秧机运动过程数学模型,建立插秧机直线跟踪过程稳定条件,并以速度和插秧机行走偏差数据为输入参数,以插秧机前视距离为输出参数,建立插秧机前视追踪距离控制算法模型。试验验证表明:该插秧机前视距离追踪控制算法能够有效提高插秧机导航追踪系统稳定性,为自动插秧机的稳定导航可行性提供参考依据。

关键词: 自动插秧机; 网络算法; 距离追踪; 系统稳定性

中图分类号: S233.91

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2023)01-0139-04

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2023.01.026

0 引言

插秧机在工作过程中,受田地环境参数及其他负载的影响,车身行进速度不稳定,且行进方向存在时变性,对插秧机自动行走安全和插秧一致性均造成不同程度的影响^[1-2]。为保证自动插秧机行走安全性和插秧过程的稳定性,自动插秧机在行走过程中必须保证机器行走姿态能够进行主动调节,同时保证行走时与前方障碍物距离的实时追踪^[3-5]。

笔者采用模糊控制网络算法,进行插秧机前视距离追踪过程算法优化,将行进速度和插秧机行走偏差作为输入参数,在线进行自动插秧机前视距离追踪,并在 1m/s 和 0.2m/s 两种不同的行进速度条件下,进行插秧机前视距离追踪系统稳定性验证。

1 插秧机行走数学模型

将插秧机自动行走路径 AB 设定为 y 轴,垂直于行走路径设定为 x 轴,建立的插秧机行走路径 XOY 直角坐标系,则插秧机行走过程中的方向偏差值 d 可表示为横坐标值 x,如图 1 所示。插秧机行走过程中,车身与行走路径之间的偏差角度不大于 90°。

通过几何参数分析,建立插秧机自动行走过程运动学模型为

收稿日期: 2020-11-09

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(21B510007)

作者简介: 张悦辉(1989-),女,河南南阳人,讲师,硕士,(E-mail)rao-tanlan5485400@163.com。

$$\begin{cases} \dot{d} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \frac{v}{l} \tan \delta \end{cases}$$

其中, d 为插秧机横向偏差; v 为插秧机行进速度; y 为插秧机行进距离; θ 为插秧机航向角; l 为插秧机前后轴距离; δ 为实际转向角。

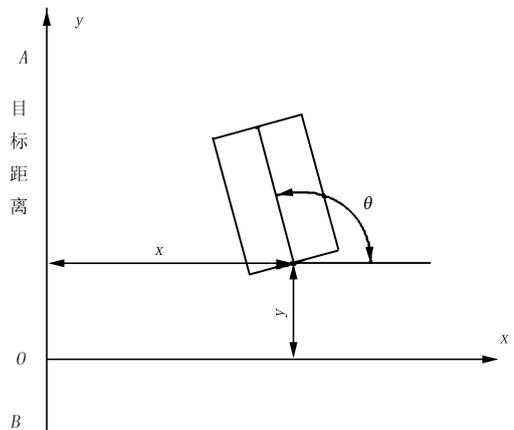


图 1 插秧机行走模型坐标系

Fig. 1 Coordinate system of transplanter walking model

插秧机自动行走过程中,其方向的变化调节通过步进电机进行驱动,在控制过程中,电机转速和控制器的脉冲输出成正比^[6-7]。因此,插秧机的方向自动控制系统可以通过惯性模型进行分析,即

$$\dot{\delta} = - \frac{\delta - \delta_U}{T}$$

其中, δ_U 为插秧机前轮目标转角; T 为控制系统惯性时间常数。

插秧机自动行走过程转弯曲率半径和前轮转角之间的关系为

$$\gamma = \frac{\tan\delta}{l}$$

其中, γ 为插秧机行走过程中的实际转弯曲率半径。

当插秧机前轮进行小角度的方向调整时, 转弯曲率半径和前轮转角之间的关系可转化为线性表达式, 即

$$\gamma = \frac{\delta}{l}$$

因此, 插秧机行走过程转弯曲率半径的变化过程也可表示为一阶惯性模型, 即

$$\dot{\gamma} = -\frac{\gamma - \gamma_U}{T}$$

其中, γ_U 为当前状态插秧机转弯曲率半径。

插秧机自动行走过程中, 其直线运动追踪模型可表示为

$$\begin{cases} \dot{d} = v\cos\theta \\ \dot{\theta} = v\gamma \\ \dot{\gamma} = -\frac{\gamma - \gamma_U}{T} \end{cases}$$

2 距离追踪控制算法

所设计的插秧机自动行走追踪控制算法采用一种网络通信控制算法, 即将插秧机行进过程方向偏差和行进速度作为输入参数, 进行插秧机追踪距离的跟踪^[8-9]。建立的插秧机跟踪控制网络算法为

$$\begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -v & 0 \\ 0 & 0 & v \\ \frac{\varphi_d}{T} & \frac{\varphi_\theta}{T} & \frac{\varphi_\gamma - 1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ \theta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

矩阵当中, 参数所在位置为 $d = 0$, $\theta = \frac{\pi}{2}$, 因此可得

$$\begin{cases} \varphi_d = \frac{\partial\gamma_U}{\partial d} \Big|_{(0, \frac{\pi}{2})} \\ \varphi_\theta = \frac{\partial\gamma_U}{\partial\theta} \Big|_{(0, \frac{\pi}{2})} \\ \varphi_\gamma = \frac{\partial\gamma_U}{\partial\gamma} \Big|_{(0, \frac{\pi}{2})} \end{cases}$$

插秧机跟踪控制网络算法变换矩阵特征多项式可表示为

$$f(\lambda) = \lambda^3 - \frac{(\varphi_\gamma - 1)\lambda^2}{T} - \frac{v\varphi_\theta\lambda}{T} + \frac{v^2\varphi_d}{T}$$

要求插秧机自动行走控制系统能够在平衡位置保持系统稳定性, 需满足

$$\begin{cases} \varphi_\gamma - 1 \leq 0 \\ \varphi_\theta \leq 0 \\ -(\varphi_\gamma - 1)\varphi_\theta + Tv\varphi_d \leq 0 \end{cases}$$

自动插秧机直线追踪原理图, 如图2所示。

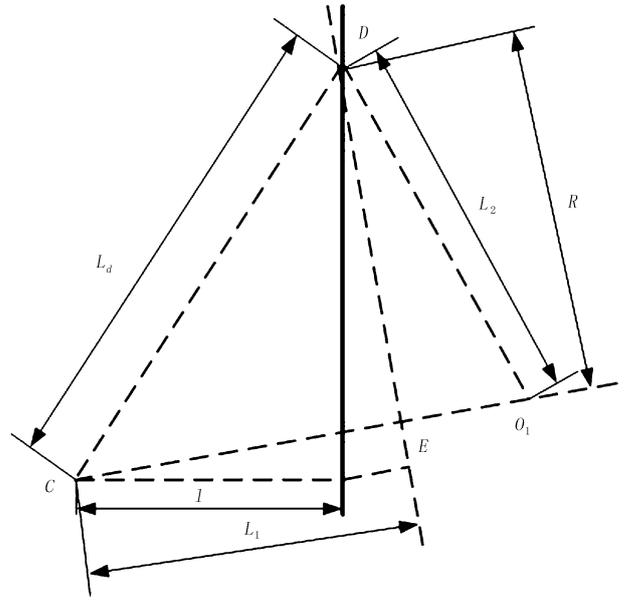


图2 插秧机直线追踪原理图

Fig.2 Schematic diagram of straight line tracking of transplanter

其中, O_1 为插秧机转弯过程中的瞬时圆心; R 为转弯过程中的瞬时转弯半径; L_d 为前视距离, 即插秧机与前方障碍物之间的距离。

由此可以得出插秧机前轮目标转角以及转动相应角度对应的转弯曲率半径, 即

$$\begin{cases} \delta_U = \arctan \frac{2l(d\sin\theta + \sqrt{L_d^2 - d^2}\cos\theta)}{L_d^2} \\ \gamma_U = \frac{\tan\delta_U}{l} = \frac{2(d\sin\theta + \sqrt{L_d^2 - d^2}\cos\theta)}{L_d^2} \end{cases}$$

3 插秧机自动行走控制器设计

自动插秧机前端与障碍物的距离越小, 表示插秧机接近于障碍物, 导致插秧机自动行走控制器进行超调, 甚至导致插秧机行走控制系统出现不稳定状态^[10]。插秧机前端与障碍物的距离大, 插秧机自身处于稳定行走状态, 但无法达到距离追踪的目的。因此, 插秧机自动行走控制器在设计过程中, 要求能够

进行较小横向偏差的识别,同时在满足插秧机行走稳定性的前提下,能够根据行进速度的大小进行前视距离追踪的实时调整^[11-13]。

插秧机自动行走控制器采用一种网络控制算法,并借助模糊控制器对控制参数进行模糊化。根据实际使用过程参数变化范围,插秧机横向偏差 d 的基本取值域可表示为 $[-0.5, 0.5]$, 其偏差量化等级为 $\{-1, -0.5, 0, 0.5, 1\} = \{NL, NS, Z, PS, PL\}$, 量化因子为 2。

插秧机行进过程前视距离基本取值域可表示为 $[0, 6]$, 量化因子为 4, 前视距离偏差量化等级为 $\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\} = \{Z, S, M, L, VL\}$ 。

插秧机行进速度基本取值域可表示为 $[0, 1.5]$, 其偏差量化等级为 $\{0, 0.5, 1\} = \{Z, S, L\}$, 量化因子为 $\frac{2}{3}$ 。表 1 所示为建立的插秧机行走控制器控制规则。

表 1 插秧机行走控制器控制规则

Table 1 Control rules of transplanter walking controller

横向偏差 d	车身行进速度 v		
	Z	S	L
NL	Z	S	M
NS	Z	M	L
Z	Z	L	VL
PS	Z	M	L
PL	Z	S	M

4 自动追踪试验分析

为验证自动插秧机行走控制器对目标行走路径的追踪性能,在 1m/s 和 0.2m/s 两种不同的行进速度条件下,进行插秧机前视距离追踪系统稳定性验证。设定插秧机初始横向偏差 $d = 1m$,行进速度为 0.2m/s 时最佳前视追踪距离为 1.2m,行进速度为 1m/s 时最佳前视追踪距离为 3m。图 3 所示为行进速度为 0.2m/s 时插秧机横向偏差变化曲线,图 4 所示为行进速度为 1m/s 时插秧机横向偏差变化曲线。

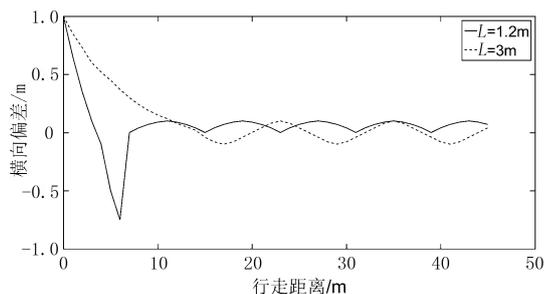


图 3 横向偏差变化曲线(行进速度 0.2m/s)

Fig. 3 Lateral deviation curve (traveling speed 0.2m/s)

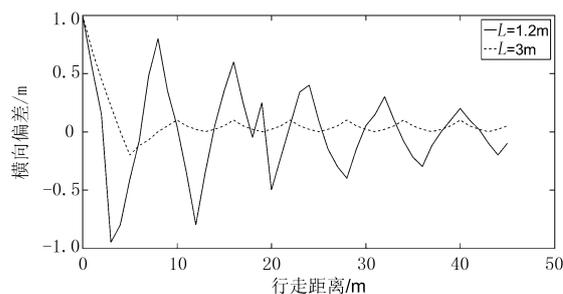


图 4 横向偏差变化曲线(行进速度 1m/s)

Fig. 4 Lateral deviation curve (traveling speed 1m/s)

由图 3 和图 4 可以看出:在行进速度为 0.2m/s 时,当插秧机距离最佳追踪距离 1.2m、行进 7.5m 后,插秧机追踪系统基本达到稳定状态;当插秧机距离最佳追踪距离 3m、行进 17m 后,插秧机追踪系统基本达到稳定状态;在行进速度为 1m/s 时,当插秧机距离最佳追踪距离 1.2m 时,插秧机追踪系统未达到稳定状态;当插秧机距离最佳追踪距离 3m、行进 10m 后,插秧机追踪系统基本达到稳定状态。插秧机自动追踪试验误差对比数据如表 2 所示。

表 2 插秧机行走追踪误差对比数据

Table 2 Comparative data of tracking error of transplanter

前视距离 /m	插秧机行进速度 0.2m/s		插秧机行进速度 1m/s	
	最大误差	行进距离/m	最大误差	行进距离/m
1.2	-0.06	7.5	-0.79	未达到稳定状态
3.0	-0.10	17.0	-0.08	9.5

5 结论

试验结果表明:不同的行进速度对插秧机目标追踪的稳定性有较大的影响;采用网络控制算法建立的插秧机自动行走控制系统,能够在不同的行进速度下进行适应性调整,并能够在较高的行进速度条件下,实现远距离的目标追踪,有效改善了插秧机行进路劲跟踪控制系统的稳定性。

参考文献:

[1] 赵熙玮. 自动驾驶插秧机转向控制系统设计[J]. 广西农业机械化, 2019(5): 36.

[2] 白岚, 王慧博. 水稻插秧机自动路径规划的算法与仿真[J]. 农业开发与装备, 2019(4): 101-102.

[3] 何杰, 朱金光, 张智刚, 等. 水稻插秧机自动作业系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 17-24.

[4] 姜勇, 姜智, 郭鑫, 等. 基于遗传算法-反向传播神经网络的地下无人驾驶车辆自主导航技术[J]. 机械制造,

- 2018, 56(12): 26-30.
- [5] 赵祚喜, 靳俊栋, 可欣荣, 等. 自动导航插秧机作业性能试验研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13): 236-240.
- [6] 唐小涛, 陶建峰, 李志腾, 等. 自动导航插秧机路径跟踪系统稳定性模糊控制优化方法[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 29-34.
- [7] 熊中刚, 左源岸, 杨莎. 基于插秧机自动导航运行参数远程监测系统软件设计[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 251-256.
- [8] 陈鑫鑫, 张复春, 郝雁中. 神经网络辅助的 GPS/INS 组合导航滤波算法研究[J]. 电子技术应用, 2015, 41(5): 84-87.
- [9] 谭兴龙, 王坚, 赵长胜. 神经网络辅助的 GPS/INS 组合导航自适应 UKF 算法[J]. 测绘学报, 2015, 44(4): 384-391.
- [10] 高为广, 陈谷仓. 结合自适应滤波和神经网络的 GNSS/INS 抗差组合导航算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(11): 1323-1328.
- [11] 任文涛, 迟德霞, 刘金波, 等. 遥控插秧机自动转向系统设计及试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 175-179.
- [12] 迟德霞, 王洋. 水稻插秧机自动导航技术研究现状[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16407-16408, 16412.
- [13] 胡炼, 罗锡文, 张智刚, 等. 基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 88-92.

Feasibility Design of Automatic Transplanter Based on Network Algorithm

Zhang Yuehui, Hui Huaxian

(Nanyang Agricultural Vocational College, Nanyang 473000, China)

Abstract: In order to realize the feasibility of the working process of the automatic transplanter, this paper designs an automatic navigation algorithm of the transplanter based on the network algorithm, which can track the forward-looking distance. By establishing the mathematical model of the transplanter motion process, the stable conditions of the transplanter linear tracking process were established. Taking the speed and the deviation data of the transplanter as the input parameters, and the forward looking distance of the transplanter as the output parameter, the control algorithm model of the forward looking tracking distance of the transplanter was established. The experimental results show that the forward-looking distance tracking control algorithm can effectively improve the stability of the rice transplanter navigation tracking system, and provide reference for the stability of the automatic rice transplanter navigation feasibility.

Key words: automatic transplanter; network algorithm; distance tracking; system stability