

智能锄草机器人系统设计与仿真*

张春龙 黄小龙 耿长兴 张俊雄 李伟

(中国农业大学工学院,北京 100083)

【摘要】 针对锄草机器人田间运动及锄刀避苗锄草等作业问题,阐述了智能锄草机器人系统工作原理,研究了移动机器人平台,平台为四轮驱动、四轮独立转向,可实现运动速度在 $0 \sim 1.5$ m/s内连续可调,每组转臂可绕其自身 Z 轴 360° 自由旋转。设计了三指手爪锄草机械手,三指公转,其中一指为活动手指可同时自转,锄草机器人工作时两个固定指的割刀连续入土锄草,系统根据机器视觉苗草位置信息,通过控制活动手指的旋转速度与方位角实现瞬时位置调整,进而通过拟合指端旋移曲线即可完成锄草和避苗等作业任务。苗间锄草仿真分析表明,在有效避苗基础上,作物行两侧各布置一组锄草机械手时锄草率可达90%以上。

关键词: 锄草机器人 移动机器人平台 苗间锄草 三指手爪机构 仿真 设计

中图分类号: TP242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)07-0196-04

Design and Simulation of Intelligent Weeding Robot System

Zhang Chunlong Huang Xiaolong Geng Changxing Zhang Junxiong Li Wei

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to solve the problems of weeding robot including the flexible movement in field and removing weeds without injuring crop seedlings, the principle of intelligent weeding robot system and the mobile robot platform were studied. The mobile platform was a four-wheel driven and four-wheel steering robot. It could move within the speed of $0 \sim 1.5$ m/s and each leg could rotate freely around Z -axis of itself. A three-finger manipulator was also designed. All the three fingers could rotate around their public-axis and one of them could also around its own Z -axis. When the robot worked, based on the location information of seedlings and weeds gotten by the machine vision, the rotation speed of movable finger could be controlled to avoid injuring the seedlings while the two fixed fingers would remove the weeds between two crop seedlings continuously. The simulation of the trajectories of three-finger manipulator showed that more than 90% weeds could be removed when a manipulator was installed on each side of crop rows.

Key words Weeding robot, Mobile robot platform, Intra-row weeding, Three-finger manipulator, Simulation, Design

引言

智能锄草机器人运用多传感器获取农田信息,控制锄草机具清除田间杂草,摒弃了传统的化学除草方式。国内外从20世纪90年代开始对自动化锄草机械进行研究。Bjorn Astrand^[1]等研发了田间智

能化除草机器人样机,由两个视觉系统分别识别作物行与杂草中的单株作物。Sørensen^[2]等开发了锄草机器人 HortiBot,车载摄像机实现场景信息获取和苗草识别,引导锄草机构完成锄草耕翻作业。Nørremark^[3]等研制了一种八钉指旋转锄草机构,主要由液压驱动的钉指转盘、闭锁装置和8根钢筋钉

收稿日期:2010-04-28 修回日期:2010-06-07

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B07)、高等学校博士点专项科研基金资助项目(20090008110007)和中国农业大学研究生科研创新专项资助

作者简介:张春龙,博士生,主要从事机器人技术研究,E-mail: zcl1515@cau.edu.cn

通讯作者:李伟,教授,博士生导师,主要从事计算机视觉与机器人技术研究,E-mail: liww@cau.edu.cn

指组成,闭锁装置开合可带动钉指单独伸缩,实现避苗锄草。Steketee^[4]等提出了一种类指锄草设备,它可由可置换锄草指型的辅助装置和固定有24个锄草刀具的旋转体组成。Athanasios^[5]等对锄草刀具进行了数学建模和运动学仿真分析,提出了一种具有最优几何特征的盘状旋转锄刀,其由液压驱动旋转,以刀具内切面割除苗间杂草。刘继展^[6]等研究了六爪锄草机构,通过六爪转盘结构和凹、凸锁止轮的啮合,同时实现行间与苗间锄草。魏兆凯^[7]等设计了一种大豆苗间锄草松土机,采用单体仿形旋转锄组件,可一次完成行间和苗间除草松土作业。张朋举^[8]等设计了一种八爪式苗间锄草装置,通过虚拟样机设计及运动学仿真,得到了合理的速比和锄草铲齿运动轨迹,以及优化的装置结构。

农田起伏、沟壑交错、土壤成分非均质、作业对象颜色形态多异等给智能锄草机器人进入农田带来诸多困难。本文在分析锄草机器人难点问题基础上,研究智能锄草机器人工作原理、移动平台及三指手爪锄草机械手,并进行苗间锄草仿真分析。

1 锄草机器人系统工作原理

机械锄草机器人系统主要由2个信息流、3个执行运动部件组成。信息流包括:机器视觉苗草识别信息和DGPS移动平台导航信息。3个执行运动部件包括:田间轮式移动机器人平台、锄草机械手升降系统和锄草机械手。本文主要介绍移动机器人平台和锄草机械手。

系统机构组成和工作原理如图1、2所示。移动机器人平台通过车载DGPS获取道路方向与位置信息,实现机器人的道路导航、轨迹规划、速度与方向角的控制。安装在移动机器人平台前方的CCD摄像机获取田间苗草位置信息,与锄草机械手形成闭环控制单元,通过机器视觉对苗间杂草的识别,实现对无序、非规则、簇生杂草的割除及作物秧苗的避障护苗轨迹规划与运动控制。机器人底盘安装有机械手升降系统,下降时机械手指形割刀入土进行田间锄草工作,升起时可方便运输作业。

2 移动机器人平台

移动机器人平台是锄草机器人的动力平台,基本结构如图1所示,由车体、转臂机构、动力传动部件和车轮等组成。机器人车体中主要装载有控制系统、作为机器人动力源的蓄电池和基于多传感器融合技术的信息获取系统等。

2.1 移动机器人平台高地隙结构

高地隙结构能够实现田间作业有限障碍物的通

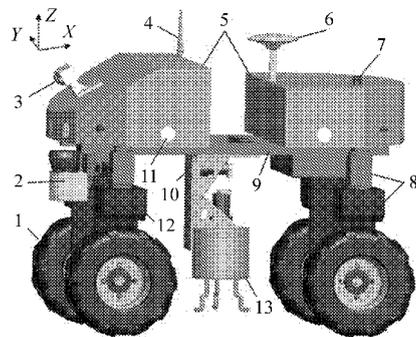


图1 锄草机器人系统结构图

Fig.1 Structural model of weeding robot

- 1. 车轮 2. 激光雷达 3. CCD 摄像机 4. 天线 5. 车厢
- 6. GPS 7. 急停按钮 8. 转臂机构 9. 车体 10. 机械手升降系统 11. 超声雷达 12. 传动部件 13. 锄草机械手

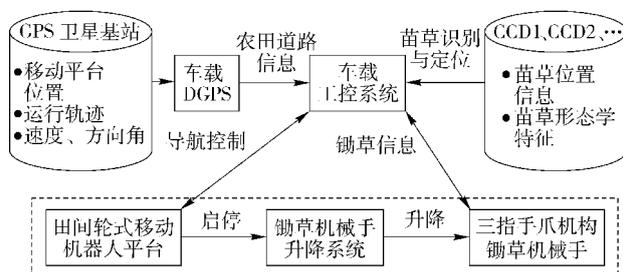


图2 系统工作原理

Fig.2 Block diagram of weeding robot

过。底盘地隙高度600mm,左右轮距692mm,前后轮轴距850mm,如图3所示。移动平台在田间工作时可跨垄作业,通过性较好。能完成田间自主导航运动、小角度爬坡越障。

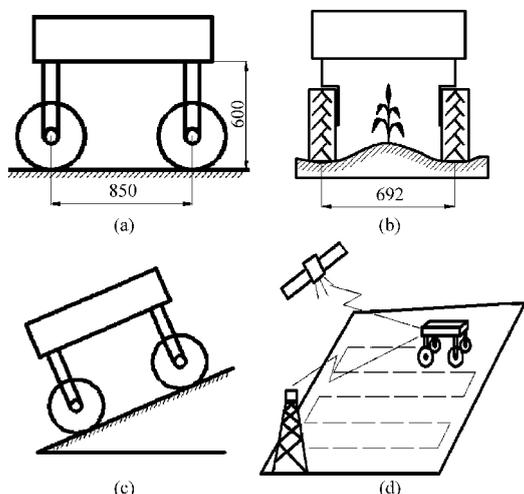


图3 主要结构尺寸及功能示意图

Fig.3 Schematic of main structural dimensions and functions

- (a) 高地隙及轴距尺寸 (b) 跨行作业及轮距尺寸
- (c) 小角度爬坡 (d) 农田作业自主导航

2.2 四轮独立驱动、独立转向控制

根据田间工况需求,移动机器人平台采用四轮

独立驱动、独立转向控制,4组结构尺寸完全相同的转臂机构安装于车体四角,每组转臂机构和驱动部件各自拥有一台空心杯直流有刷电动机,行星减速机和编码器与电动机集成于一体,具有体积小、质量轻、转动惯量小、能量转换效率高、响应速度快和控制精度高等优点,可实现平台运动速度在0~1.5 m/s内连续可调。每组转臂可绕自身的Z轴360°自由旋转,实现独立驱动和全方位独立转向,平台设计过程融进了“三独立”思想^[9~10],即独立的驱动系统和独立的转向系统构成独立的转臂模块,可根据不同的工作要求调整平台的底盘地隙、前后轴距及左右轮距。

平台的控制系统主要由基于工控机设计的信息处理及运动规划系统、基于AVR单片机设计的运动控制系统、直流有刷电动机驱动系统和基于光电检测技术的测量反馈系统构成,是整个机器人系统中最为重要的组成部分。

控制系统如图4所示,信息获取系统采集到苗草信息后将其输送至工控机进行处理,可得作物幼苗的大小、位置坐标和机器人自主行走所需的导航线等数据,此时工控机作为上位机形成运动控制指令并发送给运动控制器,运动控制器根据上位机指令进行运动分配,计算出每台驱动和转向电动机应执行的转速和转角信息,并发送给电动机驱动器,由其完成最终的驱动和控制工作,这一过程中编码器实时检测电动机转速和转角以确定移动平台是否按指令路径运行。

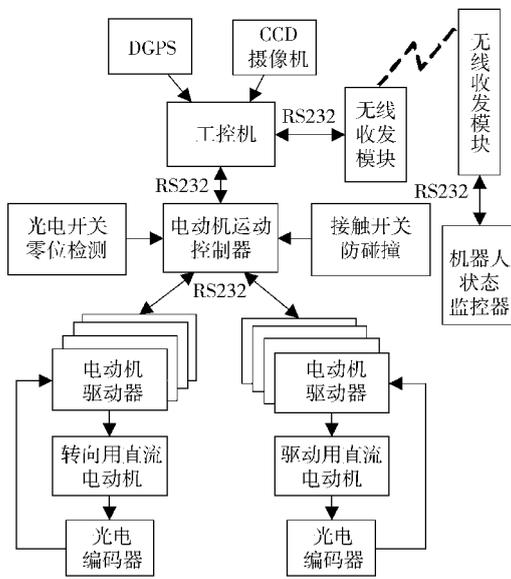


图4 移动机器人平台控制系统结构图

Fig. 4 Block diagram of the mobile platform control system

3 锄草机械手

苗间锄草因为苗草聚生、相邻紧密,特别是作物

种植的实际苗间距不一致,使锄草机器人在苗间运动的轨迹规划成为难点。

3.1 三指手爪机构

为了同时实现苗间锄草与行间锄草功能,设计了三指手爪机构如图5所示,三指同时公转,其中一个活动手指同时可绕自身轴线作自转运动。自转的作用是实现苗间锄草时对苗的有效避让。锄草机器人工作时两个固定指割刀连续入土锄草,系统根据机器视觉苗草位置信息,通过控制该活动手指的旋转速度与方位角可以实现瞬时位置调整,进而通过拟合指端旋移曲线完成锄草和避苗等作业任务。

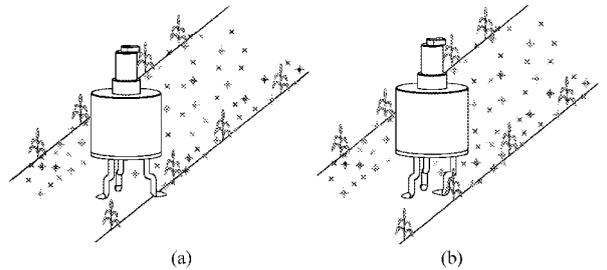


图5 苗间锄草与活动指避苗示意图

Fig. 5 Schematic diagram of intra-row weed control and seedling-avoiding

(a) 苗间锄草 (b) 活动指避苗

3.2 苗间锄草工况仿真分析

图6为玉米种植情况及苗间锄草手爪工作示意图,株距为300 mm,行距为500 mm。取玉米植株中心为圆心,60 mm为直径的圆形区域为免锄草区域以避让玉米幼苗和保护植株根系。手指绕转轴公转转速为 ω_r ,指端线速度为 v_r ,小车前进速度为 v_f 。

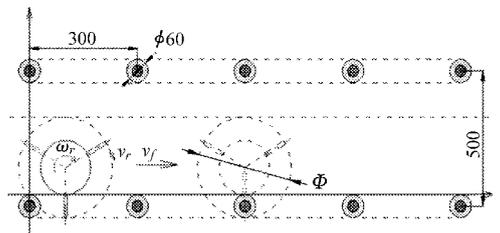


图6 手爪机构锄草工作示意图

Fig. 6 Schematic top-view of intra-row weed control

图7为锄草机械手工作时3把指形割刀运动轨迹及有效割除面积示意图,区域1为有效割除范围。经仿真分析实验得:当割刀外端直径 $\Phi = 260$ mm、 $v_r/v_f = 2.75$ 时,轨迹线可满足苗间锄草和避苗要求,割刀运动轨迹如图7所示。

图8为指形割刀在苗间区域有效割除面积示意图。区域1为指形割刀有效割除区域,区域2为割刀未能到达区域,该区域内的杂草不能被割除。单组机械手可以割除的苗间杂草比例 $\varepsilon = a/(a+b) \approx 76\%$,式中 a 、 b 分别为区域1、区域2的面积。

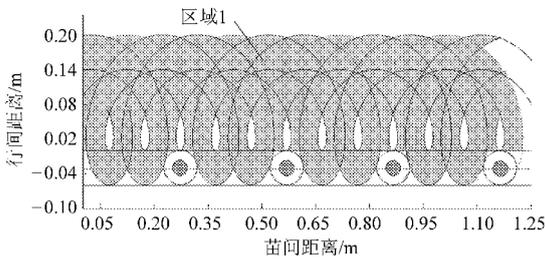


图7 割刀运动轨迹及有效割除面积示意图

Fig. 7 Simulation of the trajectories of the three-finger weeder

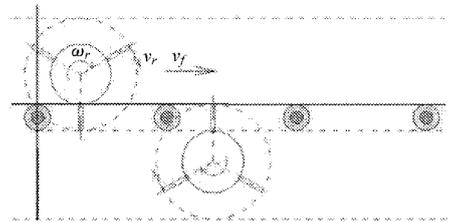


图9 两侧布置锄草机械手示意图

Fig. 9 Schematic of intra-row weed control with two weeders

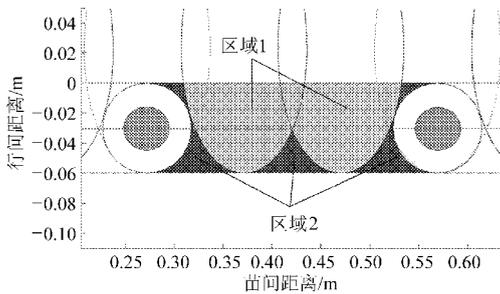


图8 苗间有效锄草范围

Fig. 8 Simulation of intra-row weeding area

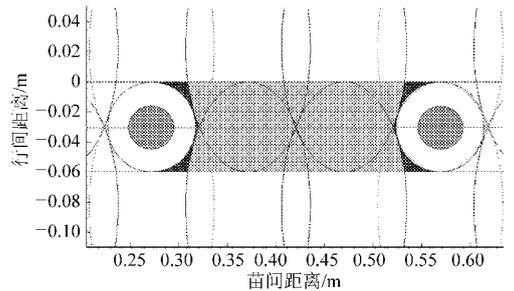


图10 两侧布置锄草机械手时有效锄草范围

Fig. 10 Simulation of intra-row weeding area with two weeders

如图9所示,一行作物两侧分别布置一组锄草机械手,前后间隔安装,可以有效提高苗间杂草的割除比例,如图10所示,锄草率可达90%以上。

4 结论

(1) 研究了智能锄草机器人系统组成及工作原理,该系统的2个信息流、3个执行运动部件将有效地实现锄草智能化系统的信息反馈与控制作业。

(2) 研制的移动机器人平台为高地隙、四轮驱动、四轮独立转向,可实现平台运动速度在0 ~

1.5 m/s内连续可调。每组转臂可绕其自身Z轴360°自由旋转,适于农田环境作业。

(3) 设计了三指手爪锄草机械手,三指公转,其中一个活动手指同时自转,系统根据机器视觉苗草位置信息,通过控制活动手指的旋转速度与方位角可以实现瞬时位置调整,进而通过拟合指端旋移曲线即可完成锄草和避苗等作业任务。

(4) 苗间锄草仿真分析表明,在有效护苗基础上,作物行两侧各布置一组锄草机械手时锄草率可达90%以上。

参 考 文 献

- 1 Bjorn Astrand, Albert-Jan Baerveldt. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control [J]. *Autonomous Robots*, 2002, 13(1): 21 ~ 35.
- 2 Claus G Sørensen, Michael Nørremark, Rasmus Nyholm Jørgensen, et al. Hortibot: feasibility study of a plant nursing robot performing weeding operations—part IV[C]// 2007 ASABE Annual International Meeting. Minneapolis, USA, 2007, Paper Number: 077019.
- 3 Nørremark M, Griepentrog H W, Nielsen J, et al. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops [J]. *Biosystems Engineering*, 2008, 101(4): 396 ~ 410.
- 4 Steketee, Jan Jacobus. Weeding device: Netherlands, EP1116427[P]. 2001-07-18.
- 5 Athanasios P Dedousis, Richard J Godwin. The rotating disc-hoe: an overview of the system for mechanical weed control [C]//2008 ASABE Annual International Meeting, Providence, Rhode Island, 2008, Paper Number: 083438.
- 6 江苏大学. 一种除草机器人的六爪执行机构: 中国, 200810019830.3[P]. 2008-08-13.
- 7 魏兆凯, 张修春. 大豆苗间除草松土机的设计[J]. *农机化研究*, 2009(6): 83 ~ 86.
Wei Zhaokai, Zhang Xiuchun. Design of soybean's thinning weeding ripping machinery [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009(6): 83 ~ 86. (in Chinese)

90°和90°~120°三区间,研究3个色调域的多重分形谱特征,分形谱高度和宽度精细地刻画了柑橘果皮色调的统计分布信息。

(2)宫川温州蜜柑果皮色泽与成熟度间存在显著的对应关系,通过多色调域的多重分形谱特征能进行柑橘成熟度的无损检测。

参 考 文 献

- 1 应义斌,徐惠荣,徐正冈. 用于柑桔成熟度无损检测的色度频度序列法研究[J]. 生物数学学报,2006,21(2):306~312.
Ying Yibin, Xu Huirong, Xu Zhenggang. Non-destructive maturity evaluation of citrus by hue frequency sequence method [J]. Journal of Biomathematics, 2006, 21(2):306~312. (in Chinese)
- 2 应义斌,饶秀勤,马俊福. 柑橘成熟度机器视觉无损检测方法研究[J]. 农业工程学报,2004,20(2):144~147.
Ying Yibin, Rao Xiuqin, Ma Junfu. Methodology for non-structure in section of citrus maturity with machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2):144~147. (in Chinese)
- 3 曹乐平,温芝元,陈理渊. 基于统计纹理的柑橘糖度与有效酸度检测[J]. 测试技术学报,2009,23(1):63~67.
Cao Leping, Wen Zhiyuan, Chen Liyuan. Determination of sugar content and valid acidity of citrus fruit based on statistics texture [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2009, 23(1):63~67. (in Chinese)
- 4 曹乐平,温芝元,陈理渊. 基于小波神经网络的柑橘 pH 机器视觉检测[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3 741 ~ 3 745.
Cao Leping, Wen Zhiyuan, Chen Liyuan. Citrus fruits pH value measurement based on machine vision with wavelet neural network model [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(11):3 741~3 745. (in Chinese)
- 5 Naoshi Kondo, Usman Ahmad, Mitsuji Monta, et al. Machine vision based quality evaluation of Iyokan orange fruit using neural networks [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 29(1~2):135~147.
- 6 Mendoza F, Aguilera J M. Application of image analysis for classification of ripening bananas [J]. Journal of Food Science, 2004,69(9): 471~477.
- 7 Pedro Atencio, Germán Sánchez T, John William Branch. Automatic visual model for classification and measurement of quality of fruit: case mangiferaindical[J]. Dyna Rev. Fac. Nac. Minas, 2009, 76(160):317~326.
- 8 Amirulah R, Mokji M M, Ibrahim Z. Implementation of starfruit maturity classification algorithm on embedded system[C]// 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems, 2010, 1:810~814.
- 9 曹乐平,温芝元,沈陆明. 基于色调分形维数的柑橘糖度和有效酸度检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 143 ~ 148.
Cao Leping, Wen Zhiyuan, Shen Luming. Sugar content and the valid acidity test of the citrus based on the fractal dimensions of hue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3):143~148. (in Chinese)
- 10 彭复员,周麟,阎旭光. 基于相关的多重分形奇异性分析的红外弱目标检测[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(1): 67~71.
Peng Fuyuan, Zhou Lin, Yan Xuguang. Infrared weak target detection based on correlation analysis of multi-fractal singularity spectral [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2004, 23(1):67~71. (in Chinese)
- 11 孙霞. 分形原理及其应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003: 53~88.

(上接第 199 页)

- 8 张朋举,张纹,陈树人,等. 八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 56~59.
Zhang Pengju, Zhang Wen, Chen Shuren, et al. Virtual design and kinetic simulation for eight claw intra-row mechanical weeding device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 56~59. (in Chinese)
- 9 Thomas Bak, Hans Jakobsen. Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(2): 125~136.
- 10 王友权,周俊,姬长英,等. 基于自主导航和全方位转向的农用机器人设计[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):110~113.
Wang Youquan, Zhou Jun, Ji Changying, et al. Design of agricultural wheeled mobile robot based on autonomous navigation and omnidirectional steering [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7):110~113. (in Chinese)