

除草机器人减震悬架越障性能分析*

孙艳霞 陈 勇 金小俊 王 艳

(南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037)

摘要: 为能够同时进行苗间和行间除草的高效除草机器人配置了悬架机构,使机器人具有减震性能,提高了机器人农田适应性。设计并制作了机器人物理样机。越障过程分析表明,该机器人悬架具有较强的调节性能。运用ADAMS软件建立了机器人虚拟样机,分析了机器人在凸起、斜坡和凹坑地面的越障能力。仿真结果表明机器人在这3种地形上均有良好的适应性。

关键词: 除草机器人 苗间杂草 行间杂草 悬架 仿真

中图分类号: TP242.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S1-0264-05

Structure Design and Simulation Analysis of Weeding Robot

Sun Yanxia Chen Yong Jin Xiaojun Wang Yan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: A weeding robot that could work on intra-row weeding and inter-row weeding simultaneously was proposed to improve weeding efficiency. The robot adopted suspension structure for the optimization of field adaptability. Physical prototype of the robot was developed and manufactured. According to the obstacle-crossing analysis, the suspension structure was of good adjusting function. The obstacle navigation characteristic of weeding robot was simulated by ADAMS. Its ability of crossing obstructions in convex, concave and oblique lands was researched and simulated. The results showed that the robot could move on these three typical lands with excellent adaptability.

Key words: Weeding robot Intra-row weed Inter-row weed Suspension structure Simulation

引言

农田粗放式的大面积喷洒除草剂不仅浪费药剂,而且污染环境^[1]。国内外正在开展农药精确施用方法的研究^[2~4]。目前研究的精确除草设备主要有智能喷雾机^[5]和除草机器人^[6~11],但只能单独进行苗间或者行间除草,并且无减震性能。

为提高工作效率并改善对农田非结构化环境的适应性,本文提出一种能够同时进行苗间和行间除草的除草机器人。苗间采用机械除草方式,行间采用直接施药方式(切割后涂抹除草剂)。

1 除草机器人结构与工作原理

该除草机器人适用于玉米地苗期除草,主要由

车身结构、苗间除草机构及行间除草机构等组成,如图1所示。车身结构是一个四轮小车,由2个直流伺服电动机驱动前轮行驶,前轮和电动机通过齿轮箱连接,采用差速转向,后轮采用万向轮。为保持机器人工作平台稳定,将具有独立越障功能的双横臂悬架应用到机器人车身结构中,使机器人具有减震性能,提高了农田适应性。苗间除草机构主要由气缸、导轨、滑块以及除草执行器组成,采用机械除草方式。机器人通过导航系统沿作物行线行驶,杂草识别系统识别到作物时,苗间除草机构的除草执行器张开,从而避开作物,越过作物后闭合,继续进行除草工作。行间除草机构由滚齿和滚轮两部分组成,滚齿表面有毛刺刀刃,用以切割杂草。滚轮外部包裹着一层海绵,用以汲取除草剂。该机构采用基

收稿日期: 2013-06-18 修回日期: 2013-07-07
*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B07)和教育部留学回国人员科研启动基金资助项目
作者简介: 孙艳霞,硕士生,主要从事机电一体化研究,E-mail: sunyanxia@hotmail.com
通讯作者: 陈勇,教授,博士生导师,主要从事机电一体化研究,E-mail: chenrongjsnj@163.com

于直接施药方法,即切割杂草后在杂草切口处涂抹除草剂,药剂用量少,无需进行行间杂草识别,提高了除草效率。

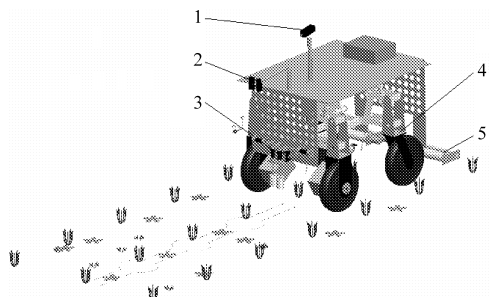


图 1 除草机器人结构图
Fig.1 Structure of weeding robot

1. 导航摄像机 2. 杂草识别摄像机 3. 行间除草机构 4. 车身
5. 行间除草机构

图 2 为机器人物理样机,整机长×宽×高为 950 mm×680 mm×590 mm,机器人针对农田玉米行距 500 mm 设计,行间除草机构中的滚筒长度为 270 mm,左右各一个,可以完全覆盖行间杂草区域。以此为本体,配备杂草识别系统、自动导航视觉系统和机器人行驶控制器。除草机器人结构轻便,不需要背负喷雾水箱,负载小,能耗低。

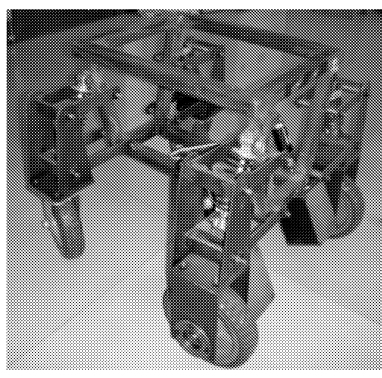


图 2 机器人物理样机
Fig.2 Physical prototype of robot

2 越障过程分析

图 3a 为悬架原理图,机器人前后悬架相同,机器人工作平台为动平台,基础平台为地面。机器人遇到凹凸不平的地面时(即基础平台随环境变化),机器人平台需要维持水平,以减小摄像机抖动,保证图像采集的质量。以左轮为例,左轮遇到障碍时,左轮抬高,上横臂 1 和下横臂 1 绕铰链点旋转,压缩弹簧,平台保持水平,以适应高低起伏的地面。为分析机器人越障原理,现对机器人平台姿态调整过程作分析。

从平台姿态调整的角度和对田地障碍的分析,越障情况可总结为 3 种。

第 1 种是单轮越障,即单个轮子遇到障碍(凸

起或凹坑),其余 3 个轮子遇到的障碍高度相等或相差不大,如图 3b 所示。该情况下机器人平台的俯仰角、侧倾角和横摆角都有一定的变化,轮子遇到障碍,左轮抬起,压缩弹簧,以减小俯仰角、侧倾角和横摆角,保持平台的水平。

第 2 种是双轮越障,即前悬架或后悬架的左、右轮同时越障,左、右轮遇到的障碍高度相等或相差不大,前后轮之间障碍高度相差较大,如图 3c 和 3d 所示。该情况下机器人平台的俯仰角较大,侧倾角和横摆角变化微小。左右轮遇到障碍,同时抬起,压缩弹簧,减小俯仰角,保持平台的水平。

第 3 种是单侧越障,即前后悬架的同侧轮遇障,同侧轮子遇到的障碍高度相等或相差不大,左右侧轮子遇到的障碍高度相差较大,如图 3e 和 3f 所示。该情况下机器人平台的侧倾角较大,俯仰角和横摆角变化微小。同侧轮子遇到障碍,轮子抬起,压缩弹簧,减小侧倾角,保持平台的水平。

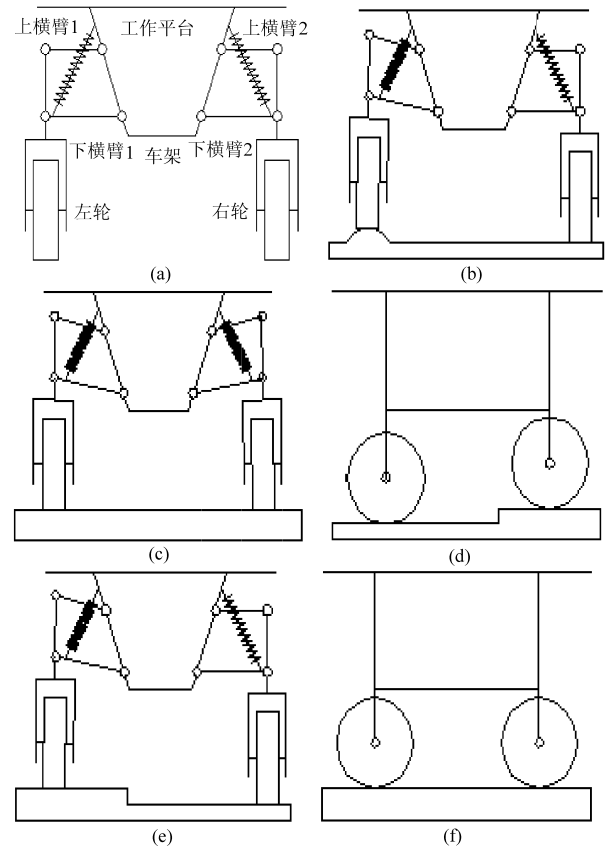


图 3 机器人越障姿态示意图
Fig.3 Robot postures of obstacle-crossing
(a) 悬架原理图 (b) 单轮越障(凸起) (c) 双轮越障
(d) 双轮越障侧视图 (e) 单侧越障 (f) 单侧越障侧视图

通过对 3 种越障形式的分析,机器人在农田遇障时,悬架能够很好地调节,使机器人平台趋于水平。悬架中加入了减震器,调节更加平稳。越障时机器人平台质心俯仰角、侧倾角和横摆角均有一定

的变化。

3 基于 ADAMS 的越障仿真分析

3.1 机器人模型的建立

在 Pro/E 2.0 中建立机器人整机模型,利用接口程序 MECH/Rro2005,将模型导入 ADAMS 2005。

根据机器人各部件的设计尺寸要求,在 Pro/E 中建立除草机器人模型,主要部件包括车架、前后悬架、车轮以及工作平台。机器人质量为 25 kg,工作平台上放置的控制系统等有效负载,总质量为 10 kg,简化为作用在平台质心的一个定向力,大小为 100 N,方向与重力方向一致。车轮直径 200 mm,工作平台长宽为 700 mm×600 mm,平台质心即为平台几何中心。模型导入后,修改模型名称、质量和惯

性矩,在减振器上端与下端之间添加弹簧力,添加约束和驱动,采用接触力函数来模拟车轮与地面之间的作用力。

3.2 机器人在 3 种典型地面的适应性分析

对于农田的非结构化环境,农田中往往会出现凸起、斜坡或者凹坑障碍,机器人遇障时,机器人工作平台平稳性会降低,因此机器人农田适应性分析非常重要。

建立了农田凸起、斜坡、凹坑 3 种典型地面的仿真模型,如图 4 所示。凸起地面的高度设置为 50 mm;斜坡地面倾斜角度为 20°,高度为 70 mm;凹坑地面的宽度为 400 mm,深度为 50 mm。这些地面参数的设置符合农田正常状况,仿真分析可以反映机器人的农田适应性。

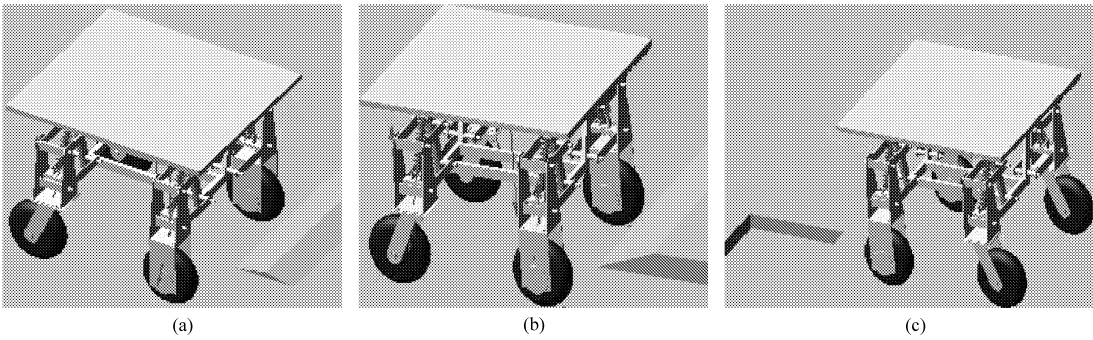


图 4 3 种典型地面仿真模型
Fig. 4 Simulation models on three typical lands
(a) 凸起地面 (b) 斜坡地面 (c) 凹坑地面

机器人行驶时,工作平台质心处会产生 6 种运动,即纵向、侧向、垂直方向上的运动以及侧倾、横摆、俯仰。平台质心处的侧倾角、横摆角以及俯仰角,在机器人行驶过程中,对机器人的稳定性、平顺性以及动力性和制动性都有一定的影响^[12]。本文选取平台质心的俯仰角、横摆角和侧倾角作为性能评价指标。

3.2.1 凸起地面仿真分析

图 5 为凸起地面平台质心角度随时间的变化。机器人越凸起障碍最高点时,俯仰角随时间变化曲线出现一个波谷和一个波峰。轮子翻越障碍后,角度趋于平稳,保持在一个稳定值。侧倾角曲线出现 2 个波峰,轮子越过障碍后,俯仰角保持在 0°。俯仰角和侧倾角在机器人越障后,保持平稳,接近于 0°,对机器人沿作物行行驶没有影响。轮子越障时,横摆角开始下降,后轮越障后略有回升,最终保持恒定,但偏离 0°。横摆角过大会使机器人偏离作物行,当偏离角度超过允许范围时,导航系统将调整机器人行驶路线。

凸起地面的前轮接触力(图 6)开始时变化不大,越凸起时略有起伏,但变化范围不大,持续时间

较短,越过凸起后恢复平稳,机器人行驶基本保持平稳状态。

仿真结果表明,机器人可以翻越 50 mm 高的凸起障碍,俯仰角为 1.4°,侧偏角为 1.2°,横摆角为 0.08°,平台质心角度变化较小,机器人能平稳行驶,可以适应田间一般的凸起地面。

3.2.2 斜坡地面仿真分析

图 7 为斜坡地面平台质心角度随时间的变化。仿真计算开始时,俯仰角保持平稳,接近 0°,机器人前轮开始翻越斜坡时,俯仰角下降,前轮到达斜坡平台后轮还未到达斜坡时,俯仰角保持恒定值。后轮翻越斜坡,俯仰角回升,后轮到达斜坡平台后,俯仰角恒定,接近 0°。侧倾角在前后轮翻越斜坡时一直增大,前后轮均到达斜坡平台后保持定值,当前后轮回到地面平面时,可恢复到 0°。横摆角越障时一直下降,可由导航系统进行调节回 0°。

图 8 为斜坡地面的前轮接触力,机器人还未行驶到斜坡时,轮子接触力一直保持平稳。在接触斜坡后出现了波动,但变化不大,接触力变化较均匀,机器人行驶基本平稳。

仿真结果表明,机器人可以翻越斜坡角为 20°、

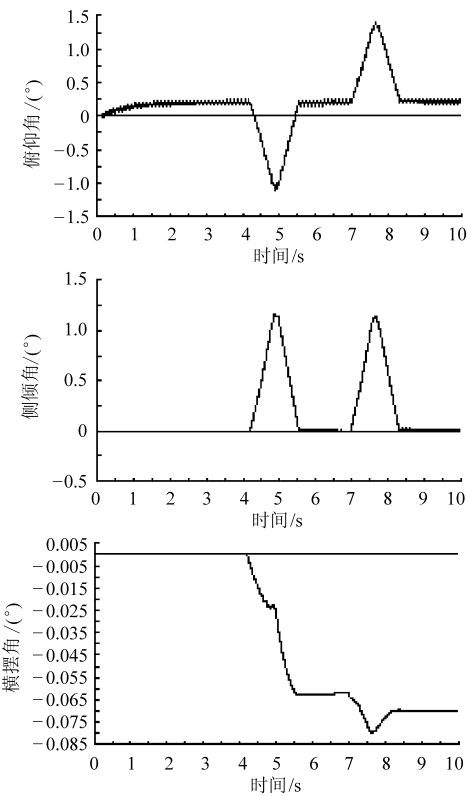


图5 凸起地面平台质心角度变化曲线
Fig.5 Centroid angle of platform in raised ground

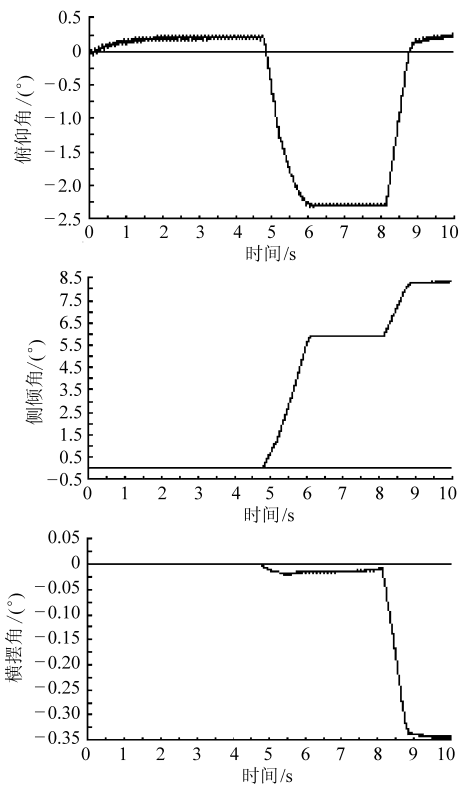


图7 斜坡地面平台质心角度变化曲线
Fig.7 Centroid angle of platform in slope ground

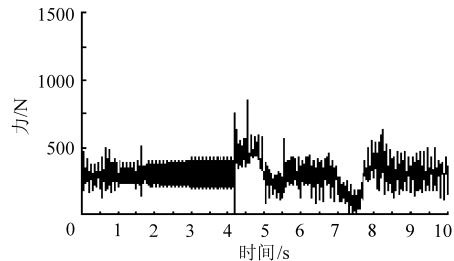


图6 凸起地面的前轮接触力
Fig.6 Contact force of front wheel

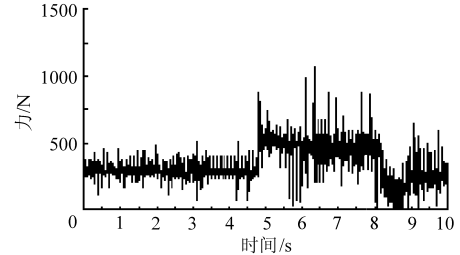


图8 斜坡地面的前轮接触力
Fig.8 Contact force of front wheel

高为 70 mm 的斜坡,俯仰角为 2.3°,侧偏角为 8.2°,横摆角为 0.35°,机器人能平稳行驶,可以适应田间一般的斜坡地面。

3.2.3 凹坑地面仿真分析

图 9 为凹坑地面平台质心角度随时间的变化。俯仰角与侧倾角开始保持平稳,2 s 时机器人前轮开始陷入凹坑。前轮陷入凹坑地面时,由于重力作用,机器人前轮受到一定冲击,但持续时间很短。后轮

陷入凹坑表现为俯仰角与侧倾角曲线出现波谷。越障后,俯仰角与侧倾角恢复到 0°。横摆角变化较大,前后轮全部越过凹坑后,横摆角保持恒定,可以通过导航系统调整回 0°。

图 10 为凹坑地面的前轮接触力,机器人还未行驶到凹坑时,轮子接触力一直保持平稳,但轮子越凹坑落地瞬间,轮子接触力有突变,但只在很短的瞬间,越障后接触力恢复平稳状态。

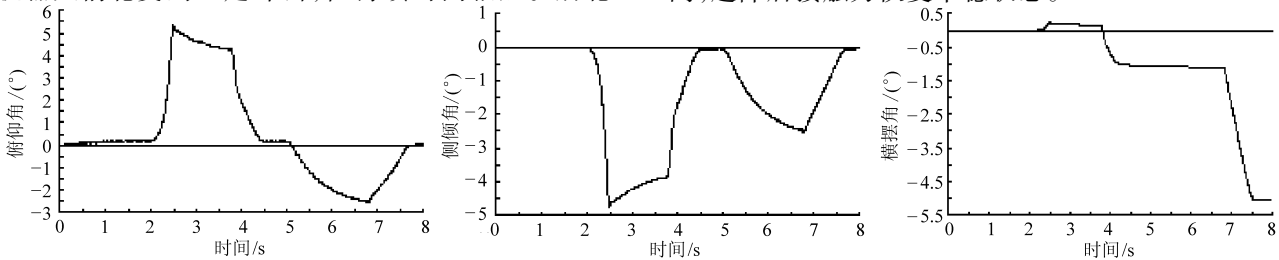


图9 凹坑地面平台质心角度变化曲线
Fig.9 Centroid angle of platform in depressed ground

仿真结果表明,机器人可越过宽度为 400 mm、深 50 mm 的凹坑,俯仰角为 5.4°,侧偏角为 4.6°,横摆角为 5°,越过凹坑后,机器人恢复平稳行驶,可以适应田间一般的凹坑地面。

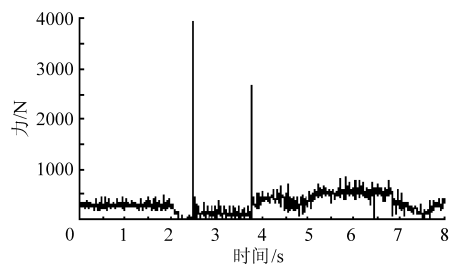


图 10 凹坑地面的前轮接触力
Fig. 10 Contact force of front wheel

4 结 论

(1)设计了能够同时进行苗间和行间除草的高效除草机器人,提高了除草效率。该机器人体积小,运动灵活,并且具有减震性能,能够适应农田的非结构化环境。苗间除草机构采用机械除草方式,行间除草机构采用基于直接施药方法的除草方式,除草剂用量少,环境污染小。

(2)运用虚拟样机技术,在 ADAMS 中建立了机器人仿真模型,分析机器人农田适应性。以机器人平台质心角度作为性能评价指标,仿真结果表明,机器人在农田各种环境中均具有良好的适应性。

参 考 文 献

1 Slaughter D C, Giles D K, Downey D. Autonomous robotic weed control systems: a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(1):63 ~ 78.

2 Guijarro M, Pajares G, Riomoros I, et al. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(1): 75 ~ 83.

3 Victor Alchanatis, Leonid Ridel, Amots Hetzroni, et al. Weed detection in multi-spectral images of cotton fields[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2005, 47(3):243 ~ 260.

4 Lee W S, Slaughter D C, Giles D K. Robotic weed control system for tomatoes[J]. Precision Agriculture, 1999, 1(1):95 ~ 113.

5 Tian L. Development of a sensor-based precision herbicide application system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(2):279 ~ 289.

6 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.

7 Hong Y Jeon, Lei F Tian. Direct application end effector for a precise weed control robot[J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(10):458 ~ 464.

8 陈勇,田磊,郑加强. 基于直接施药方法的除草机器人[J]. 农业机械学报,2005,36(10):91 ~ 93.
Chen Yong, Tian Lei, Zheng Jiaqiang. Development of weeding robot based on direct herbicide application method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(10):91 ~ 93. (in Chinese)

9 张春龙,黄小龙,耿长兴,等. 智能锄草机器人系统设计与仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(7):196 ~ 199.
Zhang Chunlong, Huang Xiaolong, Geng Changxing, et al. Design and simulation of intelligent weeding robot system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(7):196 ~ 199. (in Chinese)

10 郭伟斌. 除草机器人设计与控制[D]. 南京:南京林业大学,2008.
Guo Weibin. Researches on design and control of the weeding robot[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008. (in Chinese)

11 赵德升. 基于机器视觉的精确喷施智能除草装置杂草实时识别技术[D]. 镇江:江苏大学,2009.
Zhao Desheng. Real-time weed identification technique for precise spraying intelligent weeding device based on machine vision [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)

12 宗长富,陈国迎,梁赫奇,等. 基于模型预测控制的汽车底盘协调控制策略[J]. 农业机械学报,2011,42(2):1 ~ 7.
Zong Changfu, Chen Guoying,Liang Heqi,et al. Vehicle chassis coordination control strategy based on model predictive control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(2):1 ~ 7. (in Chinese)