

机器视觉在农业机器人自主导航系统中的研究进展

姜国权, 何晓兰, 杜尚丰, 柯 杏

(中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要:自主导航是移动机器人的关键技术。机器视觉由于信息量大和人性化特征, 视觉导航已成为农业机器人获得导航信息的一种主要方式。为此, 综合分析了目前国内外视觉导航技术的研究现状及其存在的问题; 同时, 探讨了研究中需要解决的关键技术。最后, 展望了农业机器人视觉导航技术的发展趋势。

关键词:自动控制技术; 机器视觉; 综述; 农业机器人; 自主导航; 信息融合

中图分类号: TP242.6³

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2008)03-0009-03

0 引言

在经历了沿犁沟、田垄、农作物秆的机械触杆导航、预埋引导电缆的有线引导地磁导航、无线电或激光导航、用惯性导航进行航程推算等多种导航方式的发展过程后, 目前对农业机器人的导航研究主要集中在机器视觉和 GPS 导航这两种最具发展前途的方式上^[1, 2]。

与 GPS 导航系统相比, 机器视觉导航有如下优点: 一是采用相对坐标系, 提供差值信号, 使用起来比较灵活; 二是视觉导航具有信息探测范围宽、目标信息完整等优势, 它能够检测微小目标, 如对沟、坑、杂草等都能“看见”, 误差可达毫米级水平。

1 农业机器人的机器视觉导航方法

1) 人工路标方法。该方法采用白色标记线作为路标, 敷设于机器人行走的地面上, 机器人的视觉传感系统在行走过程中不断地监测标记线, 并随时控制机器人的转向机构调整机器人的移动方向。该方法具有路径标识简单、可靠、成本低、柔性好和图像处理易于实现的优点; 但对机器人的作业环境有很高的要求, 一般用于地面条件良好的温室内。

2) 基于田间作物在空间排列的特征进行视觉定位导航方法。农业机器人可以根据田间作物的图像判断作物排列行与机器人的相对位置, 规划出行走基准线; 然后, 利用两条道路边界平行的特点, 求得图像上无限远处的点和机器人的自身位置及其

行走方向。此类机器人已应用于喷洒除草剂和施肥等作业。

2 机器视觉导航国内外研究现状

在具有行或垄等结构的农田中, 运用机器视觉来进行农业机器人自主导航, 最早可以追溯到 20 世纪 80 年代早期, 那时相对低廉可靠的 CCD 图像传感器开始出现。20 世纪 90 年代以来, 随着计算机、微电子等相关技术的不断进步, 一些复杂的图像处理和分析算法能够顺利实现, 使得农业机器人视觉导航技术的研究迅速发展起来。

2.1 国外研究现状

1996 年, 日本京都大学的 Torii 等人^[3, 4]研制了一种具有定点作业能力的智能农药喷洒装置。其在 HIS 空间中, 基于几条水平扫描线, 结合直线最小二乘法识别出农田中作物行作为导航路径。这种方法利用作物和垄沟的色度差异来进行分割, 当出现大面积杂草或作物缺失时, 视觉系统将无法正确识别, 同样也不能应付色度差异不大的其它农田环境。在导航控制中, 针对视觉获取的横向偏差和航向偏差以及角位移传感器测出的导向轮转角等 3 个状态设计横向反馈控制。人工草坪标定实验中取得了最大横向误差为 0.024m, 航向角误差为 1.5°; 但农田实验时纵向速度较小, 只有 0.25m/s。

美国 Gerrish^[5]等在 Case7110 拖拉机后轴的左侧安装了一个彩色 CCD 摄像机, 离地面 2.79m, 仰俯角为 15°。系统初始化时, 由使用者首先选出代表作物和土壤的像素点, 然后视觉系统根据初始信息进行自动识别, 导航信息由图像中固定的某一点进行计算。在速度为 12.9km/h 和 4.8km/h 两种条件下, 跟踪直线状的玉米行时, 分别取得了均方差为 12cm 和 6cm 的导航精度。

收稿日期: 2007-06-06

基金项目: 国家 863 计划课题 (2006AA10A304)

作者简介: 姜国权 (1969-), 男, 河北唐山人, 博士研究生, (E-mail) jguoquan@163.com。

通讯作者: 杜尚丰 (1961-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士生导师, (E-mail) du_grad_stud@163.com。

英国 Silsoe 研究所的 Hague 和 Tillet^[6]研究出一种作物行的图像识别算法,该法不依赖于颜色或者亮度上的图像分割结果,而是根据摄像机的安装位置,利用几何关系设计出作物图像滤波器。该算法已经应用于除草机械,在作业速度为 1.6m/s 的情况下,侧向位置偏差的均方根值控制在 15.6mm 以内。

瑞典 Halmstad 大学 Astrand 和 Baerveldt^[7,8]提出了作物行的识别算法。他们为了克服光照变化对杂草识别的影响使用了杂草识别和导航两个独立的视觉系统,以便把识别杂草的视觉系统单独封闭起来采用人工光源。在杂草比较多的条件下,视觉导航系统也取得了 2cm 左右的精度。

2.2 国内发展现状

南京农业大学的沈明霞^[9]运用形态学分析对农田景物区域进行了形态特征提取,并在此二值膨胀的基础上利用先验知识对各区域进行了识别分类;然后利用腐蚀、膨胀、开闭等形态变换,对农田景物进行了处理。实验表明,该算法可以有效地去除景物图像中的细小纹理,从而能够获取图像农作物区域范围;但是它对农田形状要求比较高,只能识别矩形田块,对非矩形田块的农田识别效果不好。

吉林大学的王荣本^[10]教授研制出一种基于机器视觉的玉米施肥智能机器,该机器在拖拉机正前方位置安装一套彩色 CCD 系统,通过对拖拉机前方地表图像识别,判断某一垄沟中心线与拖拉机纵向对称线的侧向偏差,运用自动控制理论设计最优导向控制器,控制前轮偏转角,实现拖拉机对目标路径的准确稳定跟踪。

西安交通大学杨为民^[11]博士等采用基于 Hough 变换和动态窗口技术的农田作业环境视觉信息处理算法,然后在仿真分析的基础上建立了导航规划器和操向控制器,最后在东方红 LF80-90 拖拉机上建立了机器视觉导航的试验系统,通过实车试验验证了研究结果。

华南农业大学的罗锡文和张志斌^[12]等在动态阈值化的图像中,采用改进 C 均值聚类算法,确定“垄”的中心轨迹,去除了背景石块、杂草等随机离散点给系统导航参数带来的噪声;接着把聚类后的目标中心轨迹点划分成 3 段依次进行 Hough 变换,以提取出每一直线段的导航信息,组成弯道导航参变量序列,提供移动平台转向控制信息。同时,在实验室进行了田间导航试验,结果表明田间实验航向角标准差为 4.6°,位置标准差为 0.0018mm,平台移动速度为 0.5m/s,处理速度为 2.5fps。

中国农业大学的袁佐云^[13]等提出了采用垂直

投影法对作物图像进行作物行定位的方法,经过对大豆等作物行的实验,得到了作物行中心线。

3 视觉导航的关键技术

1) 图像的实时处理技术。图像处理是整个视觉导航的基础,能否提供实时正确的图像信息对导航系统起着决定性的作用。目前视觉信息处理的内容主要包括:视觉信息的压缩和滤波、导航特征边缘抽取和障碍物检测、道路阴影的消除与道路分割、有特定标志的图像处理、三维信息感知等。其难点是视觉处理如何适应室外非结构化的道路环境以及三维视觉建模。

2) 导航控制算法。导航控制是整个导航系统的核心,在复杂多变的自然环境下,农业机械人的运动过程中存在高度的非线性和大量的随机干扰,采用不依赖于数学模型的智能控制方法具有良好的控制效果和鲁棒性,众多实车试验的结果也证明了这一点。因此,在实际的复杂环境中控制系统应该具有自学习和自适应的能力。

4 农业机器人视觉导航技术的展望

目前,农业机器人视觉导航技术已取得了很好的研究成果。计算机技术、电子技术、通信技术、传感器技术、控制技术、网络技术的迅猛发展必将推动和促进农业机器人视觉导航技术取得更多的研究成果。农业机器人视觉导航技术的发展有以下几方面的趋势:

1) 多传感器的信息融合。一般来说,单个传感器存在着一些不可克服的缺陷:只能提供环境的部分信息,并且其观测值通常会存在不确定性以及偶然的错误或缺失;有效探测范围小,无法适应所有情况;系统缺乏鲁棒性,偶然的故障会引起整个系统的瘫痪。因此,通过视觉传感器与其它传感器得到的多种导航信息融合,可以有效地提高导航的精度和可靠性,解决如地头转弯等无有效导航特征情形下的导航问题,实现完全意义的自主导航。

2) 基于夜视环境下的导航研究。夜间作业不仅可以提高生产效率,如满足夏季水稻抢收的要求,而且像油菜这样的农作物适合在夜间收获,因此需要在夜视方面开展研究。

3) 导航系统结构将朝着分布式、模块化、网络化、多机器人协作的方向发展。分布式和模块化的结构有利于减少机器人的体积和自重。通过互联网实现农业机械人的远程操作以及基于网络的多机器人协作是导航技术的新的研究热点。

4) 神经网络技术的应用。神经网络是一种高

度并行的分布式系统,可以对视觉系统探测到的图像进行处理。利用其良好的鲁棒性、抗噪声和非线性处理能力可以很好地对环境进行识别。因此,研究开发智能程度更高的、无监督情况下具有自学能力并应用模糊规则指导学习的自适应神经网络具有良好的应用前景。

5 结束语

综上所述,农业机器人视觉导航技术虽然取得了一些成果,但还没有达到实用化的水平,仍存在着许多问题有待于解决。目前机器人视觉处理系统一般是基于图像处理特征提取,定位方式和环境适应性受到限制。视觉系统的发展,一方面要从多传感器数据融合的角度,将视觉系统与多类异质传感器获得的数据进行有效的融合,以获得被测对象的一致性解,提高系统适应性和环境识别能力;另一方面让系统具有基于知识的自组织特征提取能力,实现场景对象表达、障碍物判断和定位导航的动态更新。总之,随着计算机技术、传感技术的发展,农业机器人视觉导航技术必将取得更大的突破和发展,系统结构将更简单、更实用。

参考文献:

- [1] Hague T, Marchant J A, Tillett N D. Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25:11-28.
- [2] Wilson J N. Guidance of agricultural vehicles a historical perspective[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25:3-9.
- [3] Toru Torii, Satoshi Kitade, Tsukasa Teshima, et al. Crop row tracking by autonomous vehicle using machine vision (part 1) [J]. Journal of JSAE, 2000, 62(2):41-48.
- [4] Toru Torii, Akira Takamizawa, Tsuguo Okamoto, et al. Crop row tracking by autonomous vehicle using machine vision (part 2) [J]. Journal of JSAE, 2000, 62(5):37-42.
- [5] Gerrish J B, Fehr B W, Van Ee G R, et al. Self-steering tractor guided by computer vision[J]. Appl. Eng. Agric, 1997, 13(5):559-563.
- [6] Hague T, Tillett N D. A bandpass filter-based approach to crop row location and tracking[J]. Mechatronics, 2001(11):1-12.
- [7] Astrand, B, Baerveldt, A J. Robust recognition of plant rows[C]//International conference of recent advances in mechatronics, 1999:268-283.
- [8] Bjorn Astrand, Albert-Jan Baerveldt. An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control[J]. Autonomous Robots, 2002, 13:21-35.
- [9] 沈明霞. 自主行走农业机器人视觉导航信息处理技术研究[D]. 南京:南京农业大学, 2001.
- [10] 王荣本, 纪寿文, 初秀民, 等. 基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统设计概述[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2):151-154.
- [11] 杨为民, 李天石, 贾鸿社. 农业机械机器视觉导航研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1):160-165.
- [12] 张志斌. 机器视觉导航技术在农用移动平台上应用研究[D]. 广州:华南农业大学, 2005.
- [13] 袁佐云, 毛志怀, 魏青. 基于计算机视觉的作物行定位技术[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(3):69-72.

Review of Machine Vision Research in Agricultural Robot Autonomous Navigation

JIANG Guo-quan, HE Xiao-lan, DU Shang-feng, KE Xing

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Autonomous navigation is the key technology of mobile robot. Because of informative and humane feature, Vision-based navigation has become one of the main approaches to obtain navigation information in agricultural robot. So the author analyzed comprehensively the current situation and question at home and abroad in this field, discussed the main technology needed in the application and at last prospected the trends of vision-based navigation technology in the future agricultural robots.

Key words: auto-control technology; machine vision; summary; agricultural robots; autonomous navigation; Information fusion