

农业机械视觉导航研究现状及分析

张豪¹, 郭辉^{1,2*}, 韩长杰^{1,2}, 赵晓伟¹ (1. 新疆农业大学机械交通学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业工程装备创新设计重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要 由于农业机械的自主导航技术越来越成熟, 因此可以代替人员进行高温、高湿及有毒的工作。为了深入研究自主导航方法, 对自主导航技术进行了综述, 并分析了视觉导航系统的基本组成模块及其优势。根据视觉信息的基本处理过程, 重点对图像处理、定位与跟踪等方面进行了介绍, 又从节约资源的角度介绍了动力输出的控制, 并讨论了一些国内外的研究现状。最后, 阐述了未来自主导航技术的难点及发展趋势。

关键词 自主导航; 图像处理; 定位; 跟踪; 动力输出

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)13-354-03

Analysis on Visual Navigation and Dynamic Control of Agricultural Machinery

ZHANG Hao¹, GUO Hui^{1,2*}, HAN Chang-jie^{1,2} et al (1. Mechanical College of Transportation, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052; 2. Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Engineering Equipment Innovation Design, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract Because agricultural machinery autonomous navigation technology becomes more and more mature, so, it can be replaced the man to be used in high temperature, high humidity and toxic work. In order to study the autonomous navigation method, the autonomous navigation technology was reviewed. The basic building blocks of visual navigation system and its advantages were studied. According to the basic processing of visual information, image processing, positioning and tracking and other aspects were made a detailed description, and from the perspective of resource conservation, control of power output was introduced, and some researches at home and abroad were discussed. Finally, the difficulties and development trend of the future autonomous navigation technology were described briefly.

Key words Autonomous navigation; Image processing; Positioning; Tracking; Power output

近 30 年来, 由于电子信息技术的快速发展, 使视觉导航的研究成为自主导航领域研究的热点。随着农业机械智能化的要求越来越高, 自主导航在现代智能农业机械中占据重要地位。农业机械自主导航有着广泛的应用前景, 在自动农药喷洒、中耕除草、收割作业、插秧种植等方面都有广泛的用途^[1-3]。农业机械自主导航在经历沿田垄和农作物行的机械触杆导航、预埋电缆导航、电磁导航、无线电导航、激光导航和惯性导航等多种方式的发展后, 目前对农业机械的导航主要集中在视觉导航, 视觉导航具有灵活性、快速性和准确性的特点。20 世纪 80 年代, 美国开始对基于视觉的自主导航的研究, 我国在自主导航的研究起步较晚, 规模也较小, 但在短期的时间内也取得了许多硕果。

目前, 农业机械自主导航的研究主要集中在导航路径的规划、导航控制方法和导航硬件系统的选择。导航路径的规划主要研究如何从摄像机采集的图像信息中快速准确地提取出路径参数并规划导航路径, 在很大程度上是对图像处理

算法的研究; 导航控制方法是实时调整当前位置, 保证行驶路径与规划路径重合; 导航硬件系统是对组成结构的研究, 加大对信息获取的能力。由于田间的环境比较复杂, 往往存在路面的凹凸不平、导航路径上存在较大且无法避免的障碍物, 自主导航机械要通过这样的复杂环境需要较大的动力。实时控制动力输出的大小可以达到最大化节约能源的目的, 对于能源短缺的今天具有重要的意义。

1 视觉导航的主要关键技术

与 GPS 导航相比, 机器视觉导航具有以下优点: ①信息收集得比较丰富, 目标信息完整, 范围广; ②机器视觉导航比 GPS 更加灵活; ③实时性和精确度也有较大提高。视觉导航技术的基础是机器视觉, 但是与机器视觉又有所不同, 主要表现在机器视觉的基础上增加了实时定位跟踪技术。一般视觉导航有信息获取、信息处理和定位跟踪 3 个部分构成, 具体工作原理如图 1 所示。在构成视觉导航的 4 个部分中, 视觉图像处理和定位跟踪是视觉导航工作的核心部分。

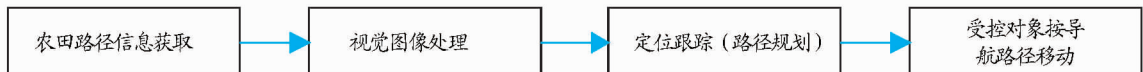


图 1 视觉导航的工作原理

1.1 图像处理 在拍摄自然环境下的图像时由于光照、阴影、拍摄的角度及道路两旁的杂草等都会使采集的图像信息比较复杂, 要将有用的信息提取出来难度很大。因此, 应对复杂的图像进行图像预处理、图像的特征提取等特殊化处理, 将导航路径凸显出来。

1.1.1 视觉图像的预处理。 由 CCD 摄像机采集的图像背景复杂, 不易分辨出导航路径且未经过处理的图像含有大量的噪声, 需要进行平滑滤波消除或减少这种强噪声的干扰。目前常用的图像平滑滤波有均值滤波、中值滤波、顺序统计滤波和自适应滤波等。2000 年, James S · Walker 等^[4]提出自适应树小波萎缩法将 1 种小波收缩与小波变换的统计特性结合起来的图像去噪新方法, 去噪效果良好; 2006 年, A. L. Cunha 等^[5]提出了具备平移不变性的、非抽取的轮廓变换, 通过对金字塔分解和方向滤波器均不采取下采样来实现。

作者简介 张豪(1989-), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向: 农业自动化设备研究。*通讯作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事机械设计与试验工作。

收稿日期 2015-03-20

1.1.2 视觉图像特征的提取。视觉图像特征提取是对图像信息分类的重要方法,也是进行决策的基础。在农田中进行路径提取主要是边缘检测和阈值分割。边缘是划分目标物与背景的重要标志,图像的边缘检测就是利用 1 幅图像的不同区域像素点的灰度值不同,将目标区域和背景区域分割开。目前,常用的边缘检测有微分边缘检测和模板匹配边缘等。1998 年,德国博士 Steger 利用 Hessian 矩阵确定图像中线边缘的法线方向,然后通过求解法线方向的极值点得到线条边缘的子像素级位置。阈值分割是根据图像中不同区域像素点的灰度值不同,通过选取合适的阈值可以将图像分成目标和背景 2 个部分。图像的阈值分割方法有很多,主要有整体阈值法、双阈二值化、动态阈值化和局部二值化等。无论视觉图像的预处理还是图像的阈值分割和边缘检测,其处理结果将关系到后期的视觉定位和跟踪。因此,在进行图像处理时一定要选取最优的算法,为保证后期的视觉定位和跟踪的顺利进行奠定基础。

1.2 视觉定位和跟踪 视觉定位和跟踪主要是完成对图像中的目标区域和导航路径中的障碍物进行定位,使移动平台能够自主地按照目标路径移动,工作流程如图 2 所示。在农田中常用的定位和跟踪识别方法有基于作物特征的导航方法、基于田垄特征的道路识别方法和基于 Hough 变换的识别方法等。基于特征的视觉导航方法是通过跟踪图像中的特征区域(像素值、形状特征等)获取轮廓信息。伦冠德^[6]通过 Hough 变换和图像增强技术,完成了田间路径的定位和跟踪。周俊等^[7]提出了 1 种以强化学习为基础使机器人不断适应动态变化的导航环境,构建离散的环境状态,并制定了自主导航学习 Q 值,取得了较好的效果。

据农田作物物的特征信息,采用定位基准线的图像处理方法,用 Hough 提取定位基准线和导航参数,研究表明该方法可以有效提取农业车辆的导航路径。王丰元等^[10]提出采用梯度算法提取目标物的边界,然后利用 Hough 提取导航路径,并在复杂的农田中进行了试验验证。袁佐云等^[11]对于目前导航路径的难以定位的困难问题,提出了垂直投影投影法路径定位思想。

2.2 国外研究现状 国外研究的起步较早,现在已经取得了很大的成就,主要采用 Hough 变换、模型匹配、虚交点分析和统计分析等方法,然后通过相机的标定参数和几何关系得到车辆的位置。Will 等^[12]用 2 台 CASE 拖拉机视觉导航平台,在试验中完成了 17 km/h 的直线行走和 10 km/h 的曲线跟踪。韩国 Cho^[13]依靠视觉导航和超声波传感器研制了自动农药喷洒机,在实际的应用中完成了自主导航和避障。日本 Kubota 等^[14]研制了喷药、除草和移栽等农业机器人,其导航理论是激光测距和视觉导航。

3 存在问题及发展趋势

3.1 多传感器相结合 在农业机械视觉导航中,存在受光照不均匀、作物缺失和杂草等外界干扰的影响较大,单一的视觉信号越来越难以满足精确自主导航的要求,因受环境变化的影响较大,检测导航信息的稳定性也受到较大影响。近年来,随着电子技术的快速发展,多传感器信息融合技术被广泛应用到自主平台的导航研究中,利用多传感器探测到的环境信息具有互补性和实时性等特点。通过 GPS 及其他传感器得到的多种导航信息融合,可以有效提高导航的精度和可靠性,解决田间地头转弯和大面积缺苗等无有效导航特征情景下的导航问题,实现完全意义的自主导航。

3.2 数学理论的应用 Hough 变换作为一种直线检测算法,具有鲁棒性、受噪声和缺苗影响较小等特点,适合农田这种非结构化的路径规划,但是 Hough 是一种全局检测算法,计算量较大,不能满足实时性的需求^[15]。基于动态窗口和 Hough 变换相结合的处理算法可以解决计算速度较慢的问题。今后应当继续寻找图像处理的新方法,将数学中的多尺度理论、小波变换和现代时间序列与农业工程中的随机现象相结合,提高农田中对路径的提取的效率和精度。

3.3 动力输出控制 电子和信息技术的发展,为快速获取和处理地面上物体的三维图、地面的坡度和凹凸程度等信息提供了技术基础。国内外众多学者研究农业机械的自主导航都是将动力输出控制在某一固定的值,具有以下缺点:①当前进阻力较小时,造成燃油消耗较高,浪费资源;②当前进阻力较大时,导致机器打滑或熄火。农田中基于图像处理快速的获取规划路径中障碍物的模型信息和在进行自主导航深耕作业时准确获取土壤阻力信息对实时改变动力的输出具有重要的意义。对障碍物的模糊信息获取,只需要获得其长、宽、高信息建立模型,分析需要多大的动力才能越过障碍物。机器视觉是从摄像机获取的图像信息出发,通过摄像机参数和机器语言,推算导航路径上物体的大小和形状等特征信息,并估算需要多大的动力可以使平台顺利越过障碍

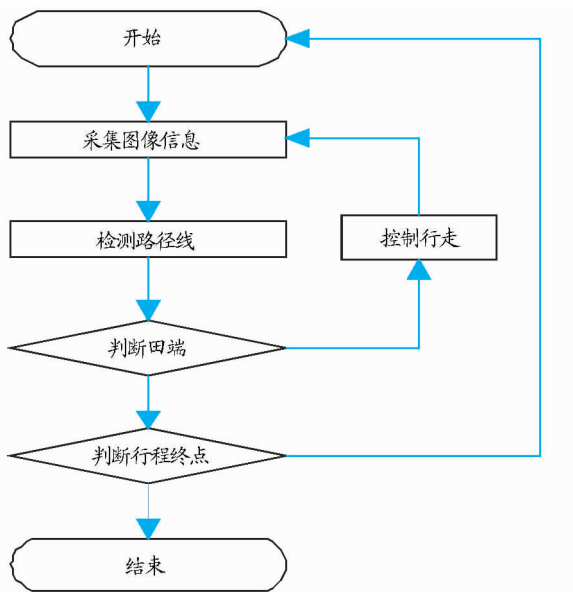


图 2 自主导航的工作流程

2 农业车辆视觉导航的研究现状

2.1 国内研究现状 目前,国内研究较少,主要集中在理论研究和方法探索的基础上,主要采用 Hough 变换测出图像中的位置和方向角误差对车辆进行姿态估计^[8]。张卫等^[9]根

物。因此,机器视觉的主要任务就是利用计算机实现对空间物体的描述和识别,也就是解决三维点与二维图像点的对应关系问题。目前,基于机器视觉原理获取三维信息已经成为三维信息获取领域的技术主流。为了定量获取物体三维信息提出了多种技术:接触法、雷达法、逐层切片恢复形体方法、几何光学聚焦法、莫尔条纹法、从运动恢复形状、从轮廓恢复形状、单目视觉法和立体视差法^[16-17]。三维重建流程如图3所示。

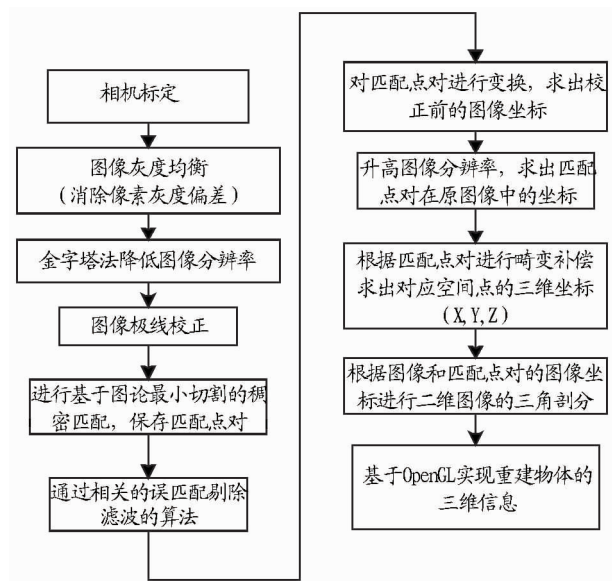


图3 三维重建流程

3.4 图像处理算法的改进 为了进一步提高图像处理的确性和快速性,一些人工智能的算法被运用到视觉导航的图像处理的研究中。具有代表性的就是最优解策略和遗传算法,前者将能量函数作为目标函数,经过能量的进化过程产生能量函数的最小值,典型的有神经网络、模拟退火算法;后者是模拟生物学的自然选择和遗传机理的随机搜索优化方法,从1组初始值(即1个群体)出发进行繁衍优化,包括3个基本步骤:选择、交叉和变异。相对于遍历搜索策略,人工智能算法可以改变搜索的空间,提高算法的运行速度。

4 小结

以 CCD 摄像机作为传感器的视觉导航是一种体积小、

能耗低、便于控制、廉价和可靠的导航方案,在多个领域得到了广泛应用,尤其在进入 21 世纪后,随着传感器的微型化和计算机处理能力的提高,导航技术在各个领域的应用也在不断提升和完善。同时,视觉导航也将与其他导航方式一起,融合发展出集各种导航方式优点为一体并能克服单一导航缺点的导航方式。我国是一个能源匮乏的国家,自主导航动力输出实时控制的研究具有重要的意义。

参考文献

- [1] 管叙军,王新龙. 视觉导航技术发展综述[J]. 航空兵器,2014(5):3-8,14.
- [2] 王先敏,曾庆化,熊智,等. 视觉导航技术的发展及其研究分析[J]. 信息与控制,2010(5):607-613.
- [3] 姜国权,何晓兰,杜尚丰,等. 机器视觉在农业机器人自主导航系统中的研究进展[J]. 农机化研究,2008(3):9-11.
- [4] WALKER J S, CHEN Y J. Image denoising using tree base wavelet subband correlation and shrinking [J]. Optical Engineering, 2000, 39(11): 2900-2908.
- [5] DA CUNHA A L, ZHOU J, DO M N. The nonsubsampled contourlet transform theory, design, and application [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10): 3089-3101.
- [6] 伦冠德. 农业机械视觉导航系统技术研究[J]. 农机化研究,2007(9):235-237.
- [7] 周俊,陈钦,梁泉. 基于强化学习的农业移动机器人视觉导航[J]. 农业机械学报,2014(2):53-58.
- [8] 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(1):160-165.
- [9] 张卫,杜尚丰. 机器视觉对农田中定位基准线的识别[J]. 中国农业大学学报,2006(4):75-77,88.
- [10] 王丰元,周一鸣,孙壮志. 车辆引导路线检测的计算机视觉技术初探[J]. 农业机械学报,1998(1):2-6.
- [11] 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(3):69-72.
- [12] WILL J, STOMBAUGH T, BENSO E. Development of a flexible platform for agricultural automatic guidance research [J]. ASAE, 1998, 32(2): 156-164.
- [13] CHO S I, KI N H. Autonomous speed sprayer guidance using machine vision and fuzzy logic [J]. ASAE, 1999, 42(4):1137-1143.
- [14] HATA S, TAKAI M, KOBAYASI T. Crop - row detection by color line sensor [C]//Proceedings International Conference for Agricultural Machinery and Process Engineering, 1993:19-22.
- [15] 张卫,杜尚丰. Hough 变换在农田机械视觉导航中的应用[J]. 仪器仪表学报,2005(S1):706-707.
- [16] 罗桂娥. 双目立体视觉深度感知与三维重建若干问题研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [17] 刘刚,司永胜,冯娟. 农林作物三维重建方法研究进展[J]. 农业机械学报,2014(6):38-46,19.
- [18] 王健强. 基于嵌入式 web 的农作物远程环境监控系统设计[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版,2014(2):215-217.
- [19] 杨建思,陈永喜. 城市三维信息系统的实现方法[J]. 武汉大学学报:工学版,2001,34(6):126-128.
- [20] 朱会霞,王福林,索瑞霞. 物联网在中国现代农业中的应用[J]. 中国农学通报,2011,27(2):313.
- [21] 邢志卿,付兴,房骏,等. 物联网技术在现代农业生产中的应用研究[J]. 农业技术与装备,2010(4):16-20.
- [22] XIANG Z Q, FU X, FANG J, et al. The applied and research of the internet of things in the modern agriculture [J]. Agricultural Technology and Equipment, 2010(4):16-20.
- [23] YAN M J, XIE N, WANG Z, et al. The application of the internet of things in the modern agriculture [J]. China Agriculture Report, 2011, 27(8):464-467.
- [24] 王建强. 基于嵌入式 web 的农作物远程环境监控系统设计[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版,2014(2):215-217.

(上接第 350 页)