

农业车辆自动导航系统综述

吴延霞¹, 赵 博², 毛恩荣²

(1. 德州学院 汽车工程系, 山东 德州 253023; 2. 中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要: 农业车辆的自动控制系统是车辆导航系统的重要组成部分。为此, 主要介绍了国内外农业车辆自动导航系统的发展现状, 概述了环境感知、路径规划、车辆模型的建立与控制方法等车辆导航的主要研究内容, 并对其关键问题进行了分析总结, 旨在对农业车辆自动导航系统实际的研究、开发提供了新的思路与建议。

关键词: 农业车辆; 自动导航; 机器视觉; 多传感器融合; 智能控制

中图分类号: S219; S126

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2009)03-0242-04

0 引言

随着高新技术的应用和电子信息技术的渗透, 以及现代化精细农业的要求, 农业车辆的技术发展迅速。其中, 自动导航是现代智能农业车辆的一个重要组成部分, 有着广阔的发展前景。在自动喷洒农药肥料、收割作业、中耕除草、插秧耕作等许多方面有着广泛的用途。农业车辆的自动导航的实现将使驾驶员从繁重的工作中解放出来, 减少疲劳, 提高生产效率和操纵安全性, 对我国农业车辆的智能化、农业生产精细化有着重大促进作用。

农业车辆自动技术导航在经历了在田间的机械触杆导航、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, 目前对农业车辆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]。

1 国内外研究现状

1.1 国外发展现状

1.1.1 北美

John Deere Technology Center 的 John Reid 所领导的团队在拖拉机自动驾驶方面进行了大量的工作, 实现了等高地面的直线行驶和避障等, 并在此基础上实现了部分农业作业的智能化。例如, 果园除草、果树的检测等。

University of Illinois at Urbana - Champaign 的张勤领导的课题组采用 John Deere 7700 型拖拉机为平台,

利用 STH - MD1 双目摄像机实现了田间直线行驶; 同时, 还以 John Deere GATOR 型农用车为平台, 加装 FOG IMU 与 GPS 实现导航, 并通过 WLAN 无线与基站进行数据交换与基站 GIS 相比对进行矫正。

2003 年, 在美国加利福尼亚州首府萨克拉门托举行的部长级国际农业科技会议农业科技展上, 美国自动农业公司展出了一种装备全球卫星定位系统的农机自动驾驶仪, 能够帮助司机确定准确的行驶路线, 使拖拉机等农机车辆在耕作时走得笔直, 数千米内偏差不到 1 英寸, 可避免因技术不熟练造成的重耕和漏耕, 提高了耕地使用率。

1.1.2 欧洲

丹麦 Aalborg University 的 K. M. Nielse, P. Andersen 等为了检测作物中夹杂的杂草以绘制用于精细农业操作的定点喷药、施肥和除草作业点, 用 GPS 和陀螺仪实现导航控制, 基于机器视觉开发了用于绘制杂草分布图的自动行走车^[2-3]。

The Royal Veterinary and Agricultural University 的 Simon Blackmore 等建立了两个自动驾驶实验平台 (Autonomous Platform and Instrumentation system, API) 对拖拉机的规定路径行驶 (deterministic tasks), 避障行驶 (reactive behaviours) 和农机具控制系统 (reflexive responses) 的研究; 硬件配置为 GmbH (Gesellschaft mit beschränkter Haftung Company with Limited Liability) 2001 年生产的 3 缸 19.8kW Hakotrac 3000 拖拉机、AgroNav GT2000 控制器 (嵌入式 PC) 和 RTK GPS。PC 与 RTK GPS 之间通过 RS232 进行通信, PC 与 ESX 单片机通过 CAN 总线进行通信, 对转向、油门和 CVT 实现 PID 控制, 有 3 种工作模式: 自诊断、遥控驾驶、自动驾驶; 操作系统采用 Windows 2000, AgroNav Plan 插接 AutoCAD 实现路径规划。

收稿日期: 2008-05-27

作者简介: 吴延霞 (1972 -) 女, 山东德州人, 讲师, 工学硕士, (E-mail) qcgy1972@163.com。

荷兰 Institute of Agricultural and Environmental Engineering IMAG - DLO 的 R. P. Van Zuydam 应用电子地图与 RTK GPS 技术实现对拖拉机转向的控制,田间实验最大误差 12cm,混凝土路面实验最大误差 2cm。

1.1.3 日本

北海道农业试验场农业研究中心开发了一套拖拉机自动驾驶系统,该系统基于位置识别的 Kalman 滤波方法,将 GPS 和陀螺仪等传感器复合起来,实现拖拉机的自动导航;将 GPS 的位置信息作为观测值,对陀螺仪自身偏移进行估计,提高拖拉机的位置精度和方向精度,用以实现自动田间旋耕作业的无人驾驶拖拉机作为试验用车,进行的试验基本上能够实现拖拉机按既定路线自动行驶。

Kyoto university 的 Michihisa Iida, Masahiko Suguri 与 Yanmar Co, Ltd. 的 Masayuki Fujii 和 Shuji Shiozaki 通过对拖拉机制动力进行实时分配进行 PID 控制,实现了拖拉机保持直线行驶的能力,可以降低拖拉机驾驶的疲劳,提高直线行驶的可操作性和稳定性。

北海道大学应用价格较低的差分 GPS (Differential GPS; DGPS) 和地磁方位传感器 GDS (Geomagnetic Direction Sensor), 设计开发了低成本的移动车辆自动导航系统,并制定了两套导航系统方案 (NAV - 1, NAV - 2)。在 NAV - 1 中,首先设定目标点,以 GDS 作为自动驾驶的主要导航传感器,选择较低精度的 DGPS 作为车辆目标方位与设定的目标点之间的距离的估计,然后诱导车辆接近目标点,注重设定目标点的接近程度;NAV - 2 则是以直线路径作为自动跟踪的目标,通过移动平均和 AR 模型组合的滤波方法,降低了 DGPS 测位偏差的影响以实现路径自动跟踪。北海道大学与生研机构使用了地磁方位传感器 GDS 和陀螺仪 (使用 FOG, Fiber Optical Gyroscope) 作为导航传感器,应用传感器复合技术 (Kalman 滤波方法) 统一了所有传感器的输出数据,以提高这些传感器的输出精度以及直线导航系统的精度。当旋耕作业时,拖拉机速度在 1.5m/s,移动距离为 40m 的时候,预测路线与实际路线的均方根误差是 3.8cm,最大偏差在 10cm 以下。

Japan national agricultural research center for hokkaido region 的 Keii Chinoue 博士等以 4 轮驱动的 75PS 拖拉机为平台,微机控制拖拉机的油门、离合器、制动系统等,采用 DGPS (MX9400GPS 接受器 C/A 码,精度 20cm, 1hz 采样频率, Leica CO., Ltd.) 和 FOG (JG - 35FD, Nihon Kouku Denshi Co., Ltd) 实现导航,采用基于拖拉机运动模型的控制方法,用 kalman 滤波估算拖

拉机的侧滑并且考虑了液压转向系统的延迟,在车速 1.5m/s 的耕地实验中偏差在 0.1m 之内。

日本北海道大学的 Noboru Noguchi 等使用 GPS (FMS750, 精度 2cm, 20Hz) 和 FOG (JG35FD)/IMU (JCS7401A) 作为定位导航传感器,以 MD77 拖拉机 (56W, Kubota Ltd) 为平台,以 0.5m/s 的速度进行耕地试验,以 2.5m/s 的速度做喷药试验,最大横向偏差 7cm、平均误差 3cm。岩手大学鸟巢领导的课题组以 Mistubishi MT2501D (18kW) 型拖拉机为平台,采用拖拉机运动学模型,用最优控制原理开发控制器,用激光导航实现了拖拉机的直线、正弦、圆型路线平地的自动行驶与拖拉机接拖挂 (FOG 导航) 的直线、正弦、圆型路线行驶的控制,拖拉机接拖挂试验的最大偏差 20cm,他的博士生朱忠祥采用神经网络的方法针对斜坡上的拖拉机自动驾驶进行了研究,所有研究只是对拖拉机的转向进行控制但没有对车辆原地起步、油门和变速器进行控制。

日本的 Torii 等人^[4-5]利用视觉导航研制了一种具有定点作业能力的智能农药喷洒装置。他们在 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的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。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°,不过其在农田实验时纵向速度较小,只有 0.25m/s。

1.2 国内发展现状

在国内,南京农业大学的周俊等^[6]在小四轮拖拉机的基础上设计改装了一种农用轮式移动机器人试验原型,采用视觉作为导航传感器,探讨了基于区域和边缘两种农用轮式移动机器人视觉导航跟踪路径的检测方法,分析了轮式机器人导航系统的行为特点,给出了相应的系统状态方程和系统观测方程等,但其实验是以校园内的人工绿篱作为路标进行的,与实际的农田还存在着较大差别。西安交通大学的杨为民等^[7]根据改进的 Marr 理论框架,提出了完整的农业机械导航机器人视觉系统结构,在对大量农田作业环境图像分析的基础上,将自然环境中的导航特征分为边界类和团块类特征,开发了基于 Hough 变换和动态窗口的实际作业环境图像分析算法。其余的研究大多集中在一些农业应用的相关智能化上,如中国农业

大学自1999年始陆续开展了拖拉机作业机组AMT方面的研究;中国农业大学、华南理工大学分别研究的激光平地机的导航研究;浙江大学的基于图像边缘检测的(收获季节)导航研究。

2 农业车辆自动导航的主要研究内容

目前,农业车辆自动导航的研究内容主要包括环境感知、路径规划、车辆模型的建立与控制方法。

2.1 环境感知

环境感知主要是通过各种传感器获得导航所需的车辆及周边环境的信息。目前,主要利用视觉传感器和GPS来获取车辆的导航信息。

2.1.1 机器视觉

随着图像处理技术的迅速发展,尤其是各种特殊的集成电路的出现,机器视觉在多个领域得到了应用,农业车辆系统也从中受益。视觉传感器在导航系统中主要任务是识别路线和检测障碍物,起到相对定位作用^[8],它不仅工作性能优异,而且在识别路线时,还能区分作物和杂草、检测病虫害,具有广泛适用性、功能多样性以及高性价比,其不足是测量精度受环境影响较大:能见度降低时(如大雾、黑夜、阴雨天等),其测量范围和精度会降低。

2.1.2 全球卫星定位系统(GPS)

GPS系统也是一种可全天候工作的定位系统,能够提供车辆的三维空间位置信息,目前大多数的车辆采用GPS导航,其相关技术和应用正在深入研究中。GPS系统的不足是在有些情况下,如林荫、路边高层建筑以及气候的影响等因素会造成GPS信号丢失,从而影响其使用。虽然采用DGPS、卡尔曼滤波等技术可以改善GPS导航的性能,但导航精度和可靠性的问题依然存在。所以,在以GPS为主的车载导航方案中,必须要辅助以其它定位方法,以保证在GPS接收终端在发现丢星现象时仍然能得到一定精度的定位信息,使得车载导航能够正常进行。目前,应用最多的定位方式是DR航迹推算及MM(地图匹配技术)。

2.2 路径规划

路径规划是农业车辆导航的最基本的环节之一。它是按照某一性能指标规划一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰路径。根据车辆对环境信息知道的程度不同,可分为两种类型:环境信息完全知道的全局路径规划和环境信息完全未知或部分未知的局部路径规划。地理信息系统(GIS)它是一种处理和展示空间数据的应用软件系统。它通过连续地接受、分析、统计大量田间信息,利用计算机绘

制出不同的信息网,如土壤类型图、地形图、养分图及植被图等。每一套数据形成一个覆盖图,这些数据都可以更改、拷贝和更新。如果这些数据与农业耕作措施相结合,那么就构成一个决策系统。它与GPS系统相结合,可以进行大范围的工作路径规划。根据拖拉机作业方式和田间尺寸的不同建立试验田的导航电子地图,规划出当前要行驶的期望路径。在拖拉机平台上能够实时显示并与导航定位系统给出的拖拉机状态比较,得到路径跟踪偏差。

2.3 车辆模型的建立与控制方法研究

由于农田地面状况比较差,农业车辆作业时,轮胎与地面相互作用的过程较复杂,要想建立比较合理而准确的模型是很困难的;但是由于车辆的模型中蕴涵着的大量信息可以反映车辆行驶过程中的状态的变化,因此应尽量挖掘车辆模型所提供的信息。车辆模型是控制方法的基础,是保证理论分析正确性的前提。同时,对车辆建立精确的数学模型也是提高控制精度关键所在。目前对车辆模型的研究主要集中于车辆运动学与动力学模型。近年来,随着智能控制方法(模糊控制、神经网络等)在农业车辆上的应用,不需要建立精确的车辆模型同样可以达到良好的控制效果^[9]。

农业车辆的控制方法主要是指对车辆的转向进行控制,即是指调节车辆的前轮转角以取得需要的横向偏差和方位偏差,实现车辆按预期路径行走。其研究方法主要是设计合适的控制器,它根据车辆定位数据与期望的路径比较得到的定位误差,然后按一定的控制规律控制车辆按规划的路径行驶。农业车辆的工作环境较为复杂,有些情况是不可预知的,且经常处于变化中,因此控制器的设计应充分考虑影响车辆运动的各种因素,如电液控制部件、车辆的动力学特征、工作路况和车辆速度等,从而根据车辆的状态和工作环境为转向机构提供合适的控制命令,使车辆沿理想路径前进。

目前的控制方法主要有基于运动学模型的控制方法、基于动力学模型的控制方法、基于PID控制的方法和基于智能控制的方法等。

3 农业车辆自动导航中的关键问题

农业车辆有其自身的特点,其服务对象是农作物,工作地点主要在农田内,由于农田的非结构化自然环境里存在着多种不确定因素给导航系统造成巨大干扰,因此进一步研究农业车辆自动导航中的关键问题对提高农业车辆的实时性、鲁棒性、精确性是非

常有必要的。

3.1 图像处理

应用视觉导航时,由于田间实际情况复杂,其中杂草、光照以及阴影等对路径识别的影响很大,如何有效地对复杂环境下的路径进行识别是农业车辆自动导航的关键所在。

3.2 多传感器融合技术

不同传感器有不同的特性和不同的使用范围,现在还没有一种适用于农用车辆使用的全能传感器。另外,单个传感器的信息都存在一定的局限性,利用单一传感器感知导航信息(车辆位姿)很难满足车辆导航系统所要求的精度和可靠性。一般来说,单个传感器存在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,甚至造成灾难性的后果。因此,为了提高对目标的识别和估计能力,提高测量的可靠性,就要利用数据融合的相关技术,对分布在不同位置的多个同类或异类传感器所提供的局部不完整观察量进行数据融合,从而消除多传感器信息之间可能存在的冗余和矛盾,充分利用各传感器数据的互补性,降低量测值的不确定性,确定符合实际的测量值,形成对系统环境相对一致的感知描述,从而提高系统决策的正确性。但是,对一个实际系统而言,增加传感器的数目,在提高系统的性能的同时也会增加系统的成本,所以必须综合考虑系统的性价比。

3.3 智能控制

神经网络和模糊控制是当前两种主要的智能控制技术,它们都能模拟人的智能行为,不需精确的数学模型就能解决许多不确定的、非线性的自动化问题,因此将智能控制技术应用与农业车辆的自动导航中具有很好的发展趋势。模糊控制的基本思想是把普通集合中的绝对隶属关系灵活化,并利用人类的专家经验来弥补车辆动态特性中非线性 and 不确定因素带来的影响,较好解决了环境的不确定性,但是模糊控制也有缺点:控制规则和隶属度函数一经确定便无法修改,从而限制了其自适应能力。神经网络拥有固有的并行计算、分布式信息存储、容错能力强及具备自适应能力等一系列优点,将人工神经网络和模糊控制结合起来,可利用神经网络的学习能力调节模糊控制,一方面使模糊控制具有自适应能力,另一方面也

使神经网络获得了模糊控制的推理归纳能力。

4 总结

一个真正具有应用价值的农业车辆导航系统,必须同时具有实时性、鲁棒性、精确性这3个技术特点。实时性要求系统的处理速度必须与农业车辆的行驶速度同步;鲁棒性要求农业车辆能对不同的环境、不同作物,以及变化的天气条件(日照、阴影、夜间、阴雨天等)均有良好的适应性;精确性要求农业车辆的导航精度要达到一定要求,在田间作业时不能损坏作物。同时农业车辆的主要任务是完成各种生产作业,如收获、耕耘、施肥等,因此在搭建导航系统的同时还要考虑其作业形式,因此我们在实际研制开发过程中,必须综合考虑各种功能,并结合其他学科的先进技术对该领域进行系统研究。

参考文献:

- [1] Wilson J N. Guidance of agricultural vehicles - a historical perspective[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 3-9.
- [2] Reid J F, Zhang Q, Noguchi N, et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 155-167.
- [3] John F. Reid. Precision Guidance of Agricultural Vehicles [R]. UILU-ENG-98-7031, Japanese Society of Mechanical, Meeting, 1998.
- [4] T. Torii, T. Teshima, T. Okamoto, et al. Vision based navigation of a boom sprayer[J]. Journal of JSAM, 2003, 65(5): 70-75.
- [5] CHO S I, Ki N H. Autonomous speed sprayer guidance using machine vision and fuzzy logic[J]. ASAE, 1999, 42(4): 1137-1143.
- [6] 周俊, 姬长英. 智能车辆横向控制研究[J]. 机器人, 2003, 25(1): 26-30.
- [7] 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.
- [8] 杜元虎. 基于视觉的自主车辆导航与控制技术的进展[J]. 现代制造工程, 2005(8): 119-122.
- [9] Qin Zhang. A generic fuzzy electrohydraulic steering controller for off-road vehicles[J]. Automobile Engineering, 2003, 217: 85-95.

(下转第252页)

Technical System and Applied Result of Mechanization Conservation Tillage

Hu Yanqing¹, Lu Bingfu²

(1. Engineering School, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Institute of Sciences of Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: The technique of conservation tillage is one of the most advanced agricultural techniques in the world. It could decrease flow on surface of fields, protect soil from water and wind erosion, increase organic matter content in soil, improve physical and chemical character and fertility of soil, which contained methods of free and little tillage and cover of field with remaining stubble. It was also the linchpin way to realize sustainable development of arid farming, which could keep soil, water, fertilizer in fields and improve environment of ecology.

Key words: agricultural mechanization; conservation tillage; arid fields

(上接第 245 页)

Abstract ID:1003-188X(2009)03-0242-EA

A General Survey of Automatic Navigation System in Agriculture Vehicle

Wu Yanxia¹, Zhao Bo², Mao Enrong²

(1. Department of Automobile Engineering, Dezhou University, Dezhou 253023, China; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: A control system plays an important role in the agricultural vehicle navigation system. This paper introduced the development of domestic and international agricultural vehicle automatic navigation system, outlined the main content about vehicle navigation such as environmental perception, path planning, and control methods of vehicle model, and their key issues were analyzed and summarized. The summary provided new ideas and proposals for the practical research and development on agricultural vehicles automatic navigation system.

Key words: agricultural vehicle; automatic navigation; machine vision; multisensor data fusion; intelligent control

(上接第 248 页)

Abstract ID:1003-188X(2009)03-0246-EA

Study on Cooperative Innovation Motives for University – industry – research institute Alliance of Agricultural Equipment Manufacturing Industry

Xu Shen, Chen Zhi

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: As an important way of cooperative innovation, university – industry – research institute alliance has important strategic meaning to improve technological innovation level of agricultural equipment manufacturing industry. Through the research on motives of cooperative innovation for university – industry – research institute alliance, this paper aims at providing basis of study for proper alliance mode and effective cooperative mechanism.

Key words: agricultural equipment manufacturing industry; university – industry – research institute alliance; motives of cooperative innovation