

智能车辆导航技术

付梦印 邓志红 刘 彤◎著



科学出版社
www.sciencep.com

智能车辆导航技术

付梦印 邓志红 刘 彤 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以智能车辆导航技术为核心,系统全面地介绍了该领域的基本理论、关键技术及其应用。内容包括:惯性导航系统和卫星定位系统的原理及在智能车辆中的应用;视觉导航中的图像去噪、分割和识别等处理方法,以及这些方法在目标识别中的应用;智能车辆路径规划和地图匹配技术,重点介绍了基于几何约束条件的具有拓扑结构的路径规划、分层规划及分区域规划、地图匹配算法及作者的研究成果。本书内容翔实、全面,理论和实践并重,既有学术价值,对工程实践也有指导意义。

本书适于控制科学与工程、兵器科学与技术、仪器科学与技术及车辆工程等学科研究人员、工程师、教师参考,同时可以作为这些专业高年级本科生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能车辆导航技术 / 付梦印,邓志红,刘彤著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-023568-8

I. 智… II. ①付…②邓…③刘… III. 智能控制—汽车—无线电导航—技术 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 192184 号

责任编辑:余 丁 张艳芬 / 责任校对:曾 苏

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 立 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 2 月第一次印刷 印张:20 3/4

印数:1—2 500 字数:415 000

定价: 70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

智能车辆是计算机科学、控制科学与工程、光学、仪器科学、力学等高新技术综合应用的载体,无论在军事领域还是民用领域均具有广泛的应用。在军事领域,主要面向未来无人作战平台,同时也是深空探测装置的载体;在民用领域,主要面向日新月异的智能交通、智能化工业制造和生产等领域。

本书以智能车辆导航技术为核心,主要介绍了作者及国内外学者在该领域的最新研究成果。本书共分七章:第一章概述了智能车辆、导航技术及研究的热点问题;第二章介绍了惯性器件原理、惯性导航原理、系统组成及相关研究成果;第三章介绍了卫星导航系统的原理及其在智能车辆导航中的应用;第四章介绍了可见光视觉导航中的图像采集、处理方法,重点介绍了这些方法在车道检测、目标识别中的应用;第五章介绍了用于导航的红外视觉图像的去噪、分割及识别等方法和研究成果;第六章介绍了智能车辆运动的路径规划和地图匹配技术,重点介绍了基于几何约束条件的具有拓扑结构的路径规划、分层规划、分区域规划、地图匹配等研究方法和研究成果;第七章对智能车辆的多传感器信息融合、即时地图构建等技术作了展望。

本书的研究成果得到了国家自然科学基金(60453001,60773044)、教育部新世纪优秀人才基金(NCET-04-0197)和总装备部重点基金(9140A26010308BQ0178)的大力支持;书中部分内容采用了北京理工大学毕军博士、张长江博士、李杰博士、丁辉博士、阮久宏博士和刘羿彤博士学位论文的研究成果,并得到了课题组全体教师的大力支持;北京理工大学的张宇河教授和孙常胜教授认真审阅了全书,并提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 智能车辆概述	(1)
1.1.1 智能车辆定义及功能组成	(1)
1.1.2 智能车辆应用领域	(2)
1.1.3 智能车辆发展现状	(3)
1.2 智能车辆导航关键技术	(5)
1.2.1 立体视觉信息实时处理技术	(5)
1.2.2 主动型传感器信息处理技术	(6)
1.2.3 车体定位技术	(6)
1.2.4 路径规划技术	(7)
1.2.5 障碍物检测技术	(8)
1.2.6 多传感器信息集成与数据融合技术	(8)
参考文献	(9)
第二章 智能车辆惯性导航技术	(10)
2.1 惯性导航技术基础	(10)
2.1.1 惯性导航基本原理	(10)
2.1.2 坐标系与坐标变换	(11)
2.1.3 姿态矩阵微分方程	(23)
2.2 惯性器件	(26)
2.2.1 转子陀螺仪的力学基础	(27)
2.2.2 经典陀螺仪	(29)
2.2.3 光学陀螺仪	(31)
2.2.4 加速度计	(38)
2.3 初始对准技术	(41)
2.3.1 捷联式惯性导航系统误差方程式的建立	(42)
2.3.2 捷联式惯性导航系统经典初始对准方法	(49)
2.3.3 Kalman 滤波在初始对准中的应用	(52)
2.4 捷联式惯性导航系统数字递推算法	(56)
2.4.1 捷联式惯性导航系统微分方程组	(56)
2.4.2 捷联式惯性导航系统姿态更新算法	(58)

2.4.3 捷联式惯性导航系统速度更新算法	(59)
2.4.4 捷联式惯性导航系统位置更新算法	(62)
2.5 车载激光捷联式惯性导航系统的圆锥误差补偿	(65)
2.5.1 圆锥误差及其补偿算法	(65)
2.5.2 激光捷联式惯性导航系统车载环境分析	(69)
2.5.3 圆锥误差补偿的应用效果	(70)
参考文献	(73)
第三章 智能车辆卫星导航技术	(74)
3.1 全球定位系统	(74)
3.1.1 GPS 概述	(74)
3.1.2 GPS 信号观测	(79)
3.2 GALILEO 系统	(85)
3.2.1 GALILEO 系统概述	(85)
3.2.2 GALILEO 系统的信号	(88)
3.2.3 GALILEO 系统的特点	(89)
3.2.4 GALILEO 系统的新技术	(91)
3.3 双静止卫星定位通信系统	(92)
3.3.1 双静止卫星定位通信系统的组成	(93)
3.3.2 双静止卫星定位通信系统的工作原理	(97)
3.3.3 双静止卫星定位系统的定位方法	(99)
3.4 多卫星组合导航技术	(104)
3.4.1 GPS/GLONASS 组合原理	(104)
3.4.2 GPS/GLONASS 组合系统的信息融合	(105)
3.5 卫星定位导航系统的应用	(109)
3.5.1 惯性/卫星组合导航技术	(109)
3.5.2 GPS 载体姿态测量系统	(122)
参考文献	(136)
第四章 智能车辆视觉导航技术	(138)
4.1 视觉图像处理技术基础	(138)
4.1.1 视差	(139)
4.1.2 立体视觉测量原理	(139)
4.2 图像特征提取	(141)
4.2.1 图像线性特征提取	(141)
4.2.2 图像角点特征检测	(147)
4.3 立体视觉摄像机标定	(150)
4.3.1 摄像机几何模型	(151)

4.3.2 标定模板与控制点	(153)
4.3.3 摄像机参数估计	(155)
4.3.4 立体视觉标定	(158)
4.3.5 实验结果及分析	(160)
4.4 立体匹配算法	(162)
4.4.1 基于区域的立体匹配算法	(163)
4.4.2 基于特征的立体匹配算法	(173)
4.5 基于平行线的室内视觉导航	(180)
4.5.1 摄像机模型	(180)
4.5.2 基于平行线的视觉伺服导航	(182)
4.5.3 导航实验	(185)
参考文献	(187)
第五章 智能车辆红外视觉导航技术	(189)
5.1 红外图像处理技术基础	(189)
5.2 离散平稳小波变换技术基础	(190)
5.2.1 小波变换的概念	(190)
5.2.2 小波变换的分类	(191)
5.3 红外图像去噪	(194)
5.3.1 去噪渐近最优阈值估计	(194)
5.3.2 算法应用	(197)
5.4 红外图像对比度增强	(201)
5.4.1 基于 DSWT 和非线性增益方法的红外图像对比度增强	(201)
5.4.2 基于 SA 和非线性增益的红外图像对比度增强	(208)
5.5 红外图像分割方法	(216)
5.5.1 基于先验信息和 Bezier 曲线的红外图像分割算法	(216)
5.5.2 基于 DSWT 和 Bezier 曲线的红外图像分割算法	(221)
5.6 红外图像目标检测和跟踪	(230)
5.6.1 红外图像序列运动目标检测	(230)
5.6.2 红外图像地面目标跟踪	(234)
参考文献	(241)
第六章 智能车辆路径规划与地图匹配技术	(243)
6.1 计算几何基础	(243)
6.1.1 计算几何基础理论方法	(243)
6.1.2 基础算法	(246)
6.2 导航电子地图数据库设计	(248)
6.2.1 导航电子地图的数据结构与数据模型	(248)

6.2.2	导航电子地图数据库的设计原则	(250)
6.2.3	导航电子地图的数据组织	(250)
6.2.4	导航电子地图数据库的结构设计及实现	(251)
6.3	导航电子地图中道路网络的拓扑生成方法	(258)
6.3.1	导航电子地图中道路网络的模型与存储	(258)
6.3.2	折线道路网络的拓扑生成算法	(261)
6.3.3	基于凸壳直径思想的多边形道路网络拓扑生成算法	(267)
6.3.4	基于三角剖分思想的多边形道路网络的拓扑生成算法	(270)
6.4	路径规划技术	(278)
6.4.1	路径规划的基础算法	(278)
6.4.2	限制搜索区域的路径规划算法	(281)
6.4.3	基于分层道路网络的分层路径规划算法	(285)
6.4.4	限制搜索区域的分层路径规划算法	(289)
6.4.5	带约束条件的路径规划算法	(291)
6.5	地图匹配技术	(295)
6.5.1	基于道路网络分块的地图匹配算法	(296)
6.5.2	基于计算几何的地图匹配算法	(302)
6.6	GPS/DR/EMAP 组合导航系统路径规划与地图匹配技术	(306)
6.6.1	系统描述	(306)
6.6.2	基于最小交角的快速路径规划算法	(307)
6.6.3	改进的基于模式识别的地图匹配算法	(308)
	参考文献	(310)
第七章	智能车辆导航技术展望	(312)
7.1	图像、非图像信息融合导航技术	(312)
7.1.1	图像、非图像信息融合导航的必要性	(312)
7.1.2	图像、非图像信息融合导航的研究现状	(313)
7.1.3	图像、非图像信息融合导航的关键技术	(314)
7.2	野外动态环境即时定位与地图构建	(315)
7.2.1	野外动态环境即时定位与地图构建概述	(315)
7.2.2	野外动态环境即时定位与地图构建关键技术	(316)
7.3	复杂环境下多智能车辆系统的协同与控制	(319)
7.3.1	多智能车辆系统的体系结构	(320)
7.3.2	多智能车辆系统群体行为协同与优化控制	(321)
	参考文献	(324)

第一章 绪 论

1.1 智能车辆概述

1.1.1 智能车辆定义及功能组成

智能车辆(intelligent vehicle, IV)又称轮式移动机器人,是一个集环境感知、规划决策、操作控制等功能于一体的智能体,其研究涉及机械、运动学与动力学、电子、计算机、信息处理、控制和人工智能等科学技术领域。由于研究的历史时期和应用背景不同,出现了地面无人车辆、陆地自主车、移动机器人等不同名称,但其研究内容和关键技术是相同的。

根据智能车辆从环境感知到行为控制过程的特点,可以把智能车辆系统简单地分为环境感知、数据处理、规划与控制三部分,这三部分又可分为多个相互协调的子模块。

1. 环境感知模块

该模块由摄像机、激光测距成像雷达和声纳等组成,为智能车辆提供视觉信息或周围环境的空间信息。摄像机作为系统最重要的外界环境信息的获取手段之一,为系统提供车体前方的二维视觉信息。激光测距成像雷达是视觉感知系统中的一个重要组成部分,由它探测到的距离图像可为智能车辆提供周围环境的三维空间信息,为障碍物检测、路标检测、地图匹配及地形图建立等提供数据。

2. 数据处理模块

该模块由多个专用的高速数据处理模块组成,实时地分析由环境感知系统及其他系统的各种输入数据,通过多传感器的数据融合,得到反映车体位姿、运动状态及前方路况等方面的信息。该模块的主要任务是对摄像机的视频图像与激光测距成像雷达的距离图像以及其他各种传感器的数据进行实时处理,对系统智能化程度和实时性具有很大影响。

3. 路径规划模块

该模块为智能车辆的运动规划出参考路径,路径规划可分为全局路径规划和局部路径规划。全局路径规划是根据预先设定的具体目标和整体任务规划出智能

车辆的全局路径,并根据地形数据库和任务的要求将全局任务分解为一系列的子任务。局部路径规划是根据各个阶段子任务的要求和数据处理模块得到的系统自身状态信息、车体前方路况,对道路条件和意外事件做出准确的判断和决策,实时规划出自主车的当前可行路径。

4. 运动传感与控制模块

运动传感模块主要由惯性导航系统、里程计以及卫星定位系统等组成,提供智能车辆自身运动速度、位置姿态等状态信息。运动控制模块根据智能车辆当前的运动状态、周围环境状况、前方参考路径形状等因素,实时控制车体改变行驶的方向和速度,使智能车辆沿规划的理想路径按要求的车速运行,运动控制模块的运行结果直接影响了智能车辆运动的稳定性、避障性以及整体任务的完成。

上述各个子模块在上层黑板的统一调度下协调工作,智能车辆能够根据预定的任务,完成制订规划、探测周围环境、随环境改变现行规划等一系列过程。

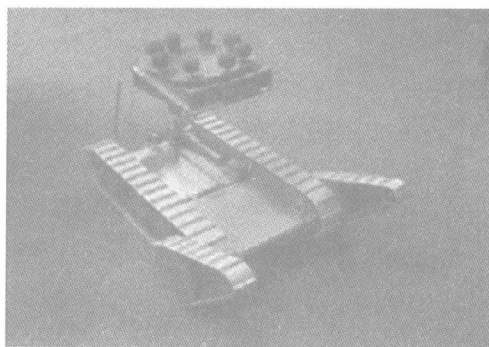
1.1.2 智能车辆应用领域

智能车辆的应用目前主要集中在军事领域。1983年,美国国防预先研究计划局(Defense Advanced Research Project Agency, DARPA)提出了自主地面车辆(智能车辆)战略计划,其目的是发展一种先进的侦察和作战平台,从而拉开了智能车辆研究的序幕。此后的20年里,美国又制订了一系列相关计划,包括:联合机器人(JRP)计划、Demo II和Demo III计划、战术移动机器人(TMR)计划、越野机动感知计划、无人地面战斗车辆(UGCV)计划、自主移动机器人软件(MARS)计划、美国陆军地面机器人技术发展和实验计划等。最近几年,美国陆军又提出了未来作战系统(future combat system, FCS)计划,并于2003年5月19日正式启动,这是人类有史以来最大的军事装备计划,其投资将超过1400亿美元。随着计划的推进, FCS将最终发展成由自主平台和无人平台构成的全无人作战系统。图1.1给出了几种军用移动平台。

1990年,智能交通系统(intelligent transport system, ITS)计划被正式提出,智能车辆技术迅速拓展到民用交通领域。智能车辆致力于提高车辆的安全性、智能化、舒适性以及提供友好的人车交互界面,其智能化集中体现在智能驾驶方面,这是一种综合性技术。智能车辆通常可以完成一项或多项驾驶任务,如道路识别和跟踪、障碍物识别和避障、车辆状态估计、车辆检测和跟踪、车辆横向和纵向控制、巡航控制、超车控制等。智能车辆被认为是实现ITS人-车-路一体化的关键技术,在改善公路交通安全状况、提高运输效率和节能环保等方面发挥着关键作用。有专家预测,2010年以后,大多数高级轿车将装配以自动驾驶系统为核心的汽车主动安全系统。智能车辆同时还代表着未来汽车的发展方向,目前美国、日本、欧洲等都竞相开发实用的智能车辆技术,力图抢占这一巨大市场。



(a) Demo III 无人侦察平台



(b) iRobotPackBot 机器人



(c) 美国未来战斗系统中的移动平台



(d) FCS-T

图 1.1 几种军用移动平台

此外,智能车辆在危险环境(如核、生化等)、采矿、自动化仓库、自动化车间等领域也有广泛应用,其另一个重要的应用是行星探测,如众所周知的“火星探索者”、“机遇号”和“勇气号”等,这一应用具有巨大的战略意义和潜在的经济价值。

1.1.3 智能车辆发展现状

1. 国外智能车辆发展现状

国外智能车辆的研究开始于 20 世纪 70 年代末,主要集中在美国、日本及欧洲的几个发达国家。世界上第一台智能车辆于 1979 年在日本研制成功,该智能车辆装有两台摄像机及专用的信号处理系统和控制系统,测试时速达 30km/h。20 世纪 80 年代以来,计算机科学、控制科学与工程、光学、仪器科学、力学、通信等技术的发展为智能车辆的研发提供了技术基础,世界发达国家对智能车辆展开了卓有成效的研发工作,特别是进入 20 世纪 90 年代,对智能车辆的研究已进入了深入、



图 1.2 Martin Marietta 的智能车辆

系统、大规模的阶段,众多的智能车辆被开发出来,其中具有代表性的是美国、德国、意大利和英国等国家的研究成果。

到目前为止,美国是对智能车辆投入最大、研究最为深入的国家。1984 年 9 月,DARPA 与陆军合作,发起了投资 6 亿美元的智能车辆战略计划,每两年进行一次综合演示,其目的是要研制出一辆能自主导航的车辆,该项任务于 1989

年由 Martin Marietta 公司负责完成,如图 1.2 所

示。它利用路标识别技术进行导航,在较平坦的越野环境中,以 10km/h 的速度自主行驶了 20km,可以进行自主导航。

DARPA 的介入大大推动了智能车辆中有关视觉和体系结构的研究进展,使一些高校和研究机构在智能车辆研究领域中脱颖而出,如 Martin Marietta 公司、卡内基梅隆大学、FMC 公司、马里兰大学、密歇根州立大学等,这些单位在智能车辆研究领域中颇具影响力。20 世纪 90 年代,美国在该领域主要集中于战场 2000 计划中无人地面车辆(unmanned ground vehicle,UGV)系统的研究。2002 年 9 月 UGV 在公路上行驶的最高速度达 64km/h,在无明显植被覆盖的越野环境中最高速度可达 32km/h,夜间最高速度可达 16km/h;同时,UGV 具有战场侦察能力,在车辆静止时侦察范围为 2km;UGV 具有多平台交互与协同能力,如 Demo III 集中了各种传感器信息—— CCD、激光、雷达、超声、红外、微波等。

欧洲的陆地移动机器人研究具有鲜明的特色。德国国防军大学研制的高速公路自动驾驶车 VaMoRs 在 1987 年创下了 96km/h 的最高速度,最近达到了 150km/h 以上,可检测到 700m 远的卡车及 340m 远的小汽车。欧盟制订的发展欧洲信息技术的 ESPRIT 计划也将智能车辆列为重要研究内容。英国、德国、法国和荷兰等国正在合作研究旨在解决三维视觉关键技术的 Vidimus 计划。意大利的 Parma 大学研制的 AGRO 自主车,只采用摄像机作为传感器:利用立体视觉来检测道路前方障碍物,利用单个黑白摄像机来检测道路方向。1998 年 7 月,AGRO 在意大利的高速公路网上进行了 2000km 的试验,其中包括平原、山地和隧道等多种地形,大约 94% 的路程是自主驾驶的。

除欧美外,日本、加拿大、韩国、泰国及新加坡等国也已投入一定的人力和物力开展智能车辆的研究,并取得了一些研究成果。

2. 国内智能车辆发展现状

我国对智能车辆的研究相对晚一些,主要技术成果是 7B.8 军用智能机器人平台以及清华大学研制的 THMR-III 和 THMR-V 自主车。

我国的第一辆智能车辆是在“八五”期间由包括北京理工大学在内的国内六所

重点大学联合研制成功的样车 ALVLAB I, 即 7B.8 军用智能机器人平台, 其总体性能达到了当时国际先进水平。清华大学智能技术与系统国家实验室移动机器人课题组研制了 THMR-III 移动机器人, 它的体系结构以垂直式为主, 采用多层次感知-动作行为控制和基于模糊控制的局部路径规划及导航控制, 在自主道路跟踪时, 其速度达到 5~10km/h, 避障达 5km/h。在“九五”期间由南京理工大学、国防科技大学、浙江大学、清华大学和北京理工大学继续研究了军用智能车辆 ALVLAB II, 全部实验在北京某装甲兵实验厂完成, 道路环境下自主行驶最高速度达 15km/h, 同时支持临场感遥控驾驶及战场侦察等功能。THMR-V 系统是清华大学智能移动机器人课题组于“九五”期间自主研制开发的新一代多功能室外智能移动机器人试验平台, 可以应用于高速公路和一般路面。

中国科学院自动化研究所于 2003 年研制出的移动机器人, 其基本结构包括传感器、控制器和运动机构, 传感器由位于机器人底层的 16 个触觉红外传感器、位于机器人中间两层的 16 个超声传感器和 16 个红外传感器、位于机器人顶部的摄像机等组成。通过多传感器信息融合, 能够实时完成运动控制决策、躲避障碍物、寻找最优路径、实现自主移动、定点运动及轨迹跟踪等。另外, 浙江大学、中国科学院电子学研究所、中国科学院沈阳自动化研究所、国防科技大学和南京理工大学等各大院校和研究所都对该领域进行了相关研究, 并取得了一定的研究成果。

目前, 我国正在研究第三代陆地自主车智能车辆 ALVLAB III, 除了在“九五”的基础上提高其二维视觉处理功能模块的性能外, 又提出了在越野环境下的三维立体视觉障碍物检测的要求。

1.2 智能车辆导航关键技术

对于智能车辆而言, 导航是一个大的范畴, 不仅包括环境感知、定位、运动规划与决策, 还包括传感器及多传感器信息处理与数据融合等。具体地, 涉及智能车辆的关键技术有如下几个方面。

1.2.1 立体视觉信息实时处理技术

智能车辆的视觉导航主要依赖视觉传感器, 视觉信息能否得到准确、实时的处理关系到智能车辆运行的速度和安全, 同时对车体控制的实时性和鲁棒性具有决定性作用。一般而言, 智能车辆的视觉导航可分为平面和立体视觉, 其中立体视觉可以直接获得环境的三维距离信息, 通过处理就可以得知智能车辆周围的道路和障碍物分布情况, 因此立体视觉引起了研究者的广泛重视。

立体视觉技术属于被动型传感器距离测量技术, 是计算机视觉研究的核心问题之一, 其基本原理是通过两个或多个摄像机组成一个立体成像系统, 通过求取对应点和视差得出物体表面与立体成像系统之间的距离。立体视觉系统理论上可以

给出关于环境地形的更为精细的描述,可以对二维视觉和主动视觉有疑问的情况进行进一步的判断。

立体视觉信息处理技术包括:立体视觉系统的快速精确标定方法、图像的立体匹配算法、致密视差图计算方法、提高立体视觉系统实时性的相关技术研究等,其中,最为重要的是提高立体视觉系统实时性的相关技术研究,因为目前大多数方法和技术的计算复杂性都很高,即使采用高性能的图形工作站也要花费很长时间,难以满足智能车辆实时性要求。因此,一方面要研究立体视觉匹配算法的优化,另一方面要针对那些复杂性高的任务,特别是视频图像序列的处理任务,研制专门的硬件实现方案,以确保其计算速度满足智能车辆行驶速度的要求。同时,被动型视觉传感器信号的处理也会受到车辆行驶过程中振动的影响,造成对环境(地形)描述的绝对坐标尺寸不准确,虽然对单幅地形图中各点相对关系的影响比主动视觉小,但也是必须解决的问题。

1.2.2 主动型传感器信息处理技术

主动型传感器自身会向环境目标发射能量,通过测量回波的时间实现测距,发射能量的形式可以是激光、毫米波、超声波等。激光扫描雷达由于测距精度高,被广泛应用于各种距离的测量。通过激光的扫描可以获取关于智能车辆周围环境的大量数据,对这些数据进行必要处理,以便获得对智能车辆周围地形环境的描述,为路径规划和自主导航奠定基础。毫米波雷达由于波长的差别,其测距精度和成像能量不如激光雷达,但气候适应性优于激光雷达,在雾天、雨天和沙尘等天气条件下均可正常使用。但是,毫米波雷达信号处理采用的具体技术和算法与激光雷达有很大区别,需要分别加以研究。超声波雷达(声呐)在智能车辆近距离紧急避障方面也具有重要的应用价值。

对于智能车辆而言,主动型传感器是直接快速发现障碍物的主要手段,但是其信号处理的难点在于智能车辆行驶过程中的振动使得对物体的距离测量不连续,造成基于这种不连续数据作出的对地形环境的描述也不准确,直接后果就是对障碍物虚报概率增大,明显影响智能车辆的行驶速度。因此,必须设法消除智能车辆振动对测量数据的影响。此外,主动型传感器数据处理的实时性也是必须解决的重要问题。

1.2.3 车体定位技术

智能车辆的准确定位是保证其按正确路线完成自主导航、控制任务的关键。目前常用的定位方法有惯性导航定位、卫星定位、磁航向仪、航位推算等。上述每一种方法均有各自的优点和局限性,如惯性导航定位短时间内定位精度高,但是其漂移误差随时间累积;卫星定位精度稳定,但其时间响应特性和短时间内的定位精度不如惯性导航定位,且易受环境(如遮挡等)影响;电子罗盘(磁航向仪)的价格低

廉,但是定向精度低;航位推算价格低廉,但是里程计刻度因子误差对定位精度影响较大。如果将这些不同的定位定向技术加以有效组合,充分发挥各自的优势,一定能提高定位系统的精度和可靠性。

1.2.4 路径规划技术

智能车辆路径规划的研究始于 20 世纪 70 年代,主要分为以下三种类型:①基于环境先验完全信息的路径规划。②基于传感器信息的不确定环境的路径规划。③基于行为的路径规划。前两种是根据智能车辆对环境信息了解的程度不同划分的。与在已知环境中相比,智能车辆在完全未知或部分未知环境下实现路径规划是一个技术难题。

全局路径规划的任务是根据全局地图数据库信息规划出自起始点至目标点的一条无碰撞和可通过的优化路径。目前已开展的研究主要有准结构化道路环境多种约束条件下的路径规划技术、自然地形环境下的路径规划技术以及智能车辆在行驶过程中遇到突发事件时的重规划技术等。全局路径规划所生成的路径只能是一种粗略的路径,因为智能车辆在实际运行过程中还会受到其他各种未知因素的影响。全局路径规划的主要方法有可视图法、栅格法、人工势场法、单元分解法。

在环境信息完全未知的情况下,智能车辆没有任何先验信息,因此,规划是提高智能车辆的避障能力为主,而效果作为其次。在环境信息部分未知情况下,规划方法主要有人工势场法、模糊逻辑算法、遗传算法、人工神经网络、模拟退火算法、蚁群优化算法、粒子群算法和启发式搜索方法等。前四种方法相对应用较广,后几种方法近年来才比较流行。在路径规划中采用神经网络,由于网络的并行结构,因此可在较短的时间内进行大量的计算,并且不需要了解障碍物的过细信息。基于环境模型的方法,由于其规划的精确性和平稳性,因此被应用于很多领域,特别是在宇宙空间探测中。美国于 1996 年 12 月发射了火星探路者探测器,并用所携带的索杰纳火星车对火星进行了实地考察,获得了很大的成功。索杰纳火星车所采用路径规划方法是 D^* 算法,它使索杰纳火星车能在火星表面自如而谨慎地行走,且能自主判断出前进道路上的障碍物,并通过实时重规划作出行动决策。局部路径规划的难点在于环境模型复杂性和不确定性,以及智能车辆本体模型的不精确性与本体控制要求实时性、快速性之间的矛盾。

基于行为的路径规划最具有代表性的是美国 MIT 的 Brooks R 的包容式体系结构。所谓基于行为的研究方法是把智能车辆所要完成的任务分解成一些基本的、简单的行为单元,这些单元彼此协调工作。每个单元有自己的感知器和执行器,二者耦合在一起构成感知动作行为,智能车辆根据行为的优先级,结合本身的任务综合作出反应。该方法的主要优点在于每个行为的功能较简单,因此,可以通过简单的传感器及其快速信息处理过程获得良好的运行效果。但这种方法主要考虑智能车辆的行为,而对智能车辆所要解决的问题和所面临的环境没有任何的描

述,只是通过实际运行环境中智能车辆行为的选择,达到最终目标。如何构造和优化智能车辆行为控制器是成功与否的关键。主要方法包括:基于传感器信息的局部运动规划方法和基于模糊逻辑及神经网络的监督学习方法等。

1.2.5 障碍物检测技术

由于越野环境的复杂性,障碍物检测是智能车辆环境感知的最大难题之一。智能车辆所面临的障碍物极其复杂,一般可分为凸型障碍物和凹型障碍物,根据智能车辆使用需求,凹型障碍物和凸型障碍物都是必须检测出来的,在某种意义上,凹型障碍物比凸型障碍物对智能车辆的行驶安全威胁更大。现有的智能车辆上安装的传感器对检测凸型障碍比较有效,通过对环境地形的三维重建,进行环境地形的平坦性分析,判断智能车辆的可通行区域和障碍区域。与凸型障碍检测相比,凹型障碍物检测方法和技术更为复杂,目前很难找到处理凹型障碍的检测方法和资料,在所获得的有关地形的信息中,对凹型障碍物的描述很不充分和全面,利用多传感器信息融合来检测凹型障碍物是一种有效的途径,通过融合立体视觉、激光雷达和微波雷达的信息可以更准确地进行凹型障碍物的判断。

近几年,在国内外智能交通以及智能车辆研究领域中,针对障碍物检测研究,研究者提出了许多算法和实施手段。如双目 CCD 和彩色 CCD 的计算机视觉方法、基于激光雷达的方法、多传感器信息融合的方法、基于光流的方法以及神经网络的方法等。

1.2.6 多传感器信息集成与数据融合技术

由于环境的复杂性和单一传感器的局限性,智能车辆对地形建模和环境理解需要有多种传感器,其中既有主动型的,也有被动型的,既有二维传感器,也有三维(2.5 维)传感器;既有视觉传感器,也有触觉传感器,同时还有定位、定向及姿态传感器。这些不同类型传感器测量的内容、范围和精度不同,适用的光照和气候条件也不同,根据客观环境(气候、昼夜等)的不同和使用要求的差别(道路跟踪还是越野),将这些传感器以及他们所获得的信息进行合理的组合与搭配,可以对单一或少数传感器无法正确感知和理解的路况(如沟壑、水渍及阴影等)进行正确的理解和判断,总体上可以对智能车辆周围环境进行更精确、更可靠、全天候的描述。

采用多种传感器组合探测的方式可以更有效地实现环境感知,如将立体视觉传感器和激光雷达结合起来可以加强对环境路况的预判,控制车辆行驶速度。首先由激光雷达定位前方近距离的平坦区域,用视觉传感器确定该区域的颜色和地形图像信息,然后检测远距离的图像信息,通过对远处地形的建模,控制车辆的行驶速度,如果没有障碍物,车辆可以加速行驶,一旦发现路况发生改变,可以自动减速到适合路况的速度。

对多传感器信息进行数据融合与处理也是当前的研究热点。

参 考 文 献

- 布洛基,等. 2002. 智能车辆——智能交通的关键技术. 北京:人民交通出版社
- 付梦印,王美玲. 2009. 军用无人地面车辆技术的发展. 北京:国防工业出版社
- 何友,王国宏,等. 2007. 多传感器信息融合及应用. 2版. 北京:电子工业出版社
- 贾云得. 2002. 机器视觉. 北京:科学出版社
- 欧青立,何克忠. 2002. 室外智能移动机器人的发展及其关键技术研究. 机器人,22(6):519~525
- 司现军,王志良. 2004. 移动机器人多传感器信息融合技术综述. 机电工程,21(2):1~5
- 孙华,陈俊风,吴林. 2003. 多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用. 传感器技术,22(9):1~4
- 张敏,刘培志,等. 2007. 地面无人作战平台环境感知关键技术研究. 车辆与动力技术,2:44~47,51
- 仲崇慧,贾喜花. 2005. 国外地面无人作战平台军用机器人发展概况综述. 机器人技术与应用,4:18~24