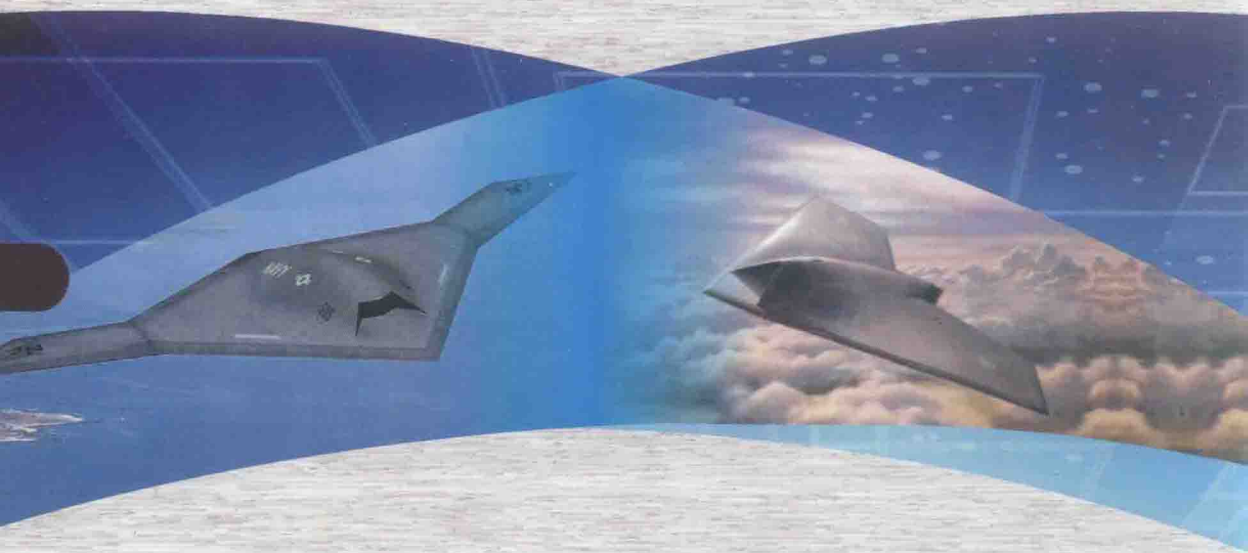


高等学校十二五规划教材·国防科技类

自主航行技术

ZIZHU HANGXING JISHU

胡昌华 周涛 郑建飞 李红增 编著



西北工业大学出版社

自主航行技术

胡昌华 周 涛 编著
郑建飞 李红增

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书系统地介绍了自主航行器和自主航行技术。全书共分四章。第一章概括性地介绍了自主航行技术、自主航行器的种类及发展趋势。第二章系统地介绍了无人驾驶汽车、火星探险车、机器人等陆地自主航行器,无人飞机、导弹、高超声速飞行器、人造卫星、深空探测器等空间自主航行器及鱼雷等水中自主航行器。第三章系统地介绍了自主导航技术,包括惯性导航技术、卫星导航技术、天文导航技术、无线电导航技术、雷达导航技术、匹配导航技术、视觉导航技术、组合导航技术等。第四章介绍了自主航行器的能源动力技术,包括吸气式发动机、火箭发动机以及核能、太阳能、电推进等新能源动力技术。

本书可作为导航制导与控制专业本科生的入门教材,对从事汽车、飞机、导弹、舰船、水中兵器等行业导航制导与控制技术研究的科技工作者也不失为一本内容全面系统的参考书,对爱好自主航行技术的广大读者则是一本很好的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

自主航行技术/胡昌华等编著. —西安:西北工业大学出版社,2014.9
ISBN 978-7-5612-4137-0

I. ①自… II. ①胡… III. ①自主制导 IV. ①V448.131

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 213253 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:8.875

字 数:212 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版

2014 年 9 月第 1 次印刷

定 价:26.00 元

陕西出版集团

前 言

自主航行是人类千百年来梦想。数千年前的中国神话故事中就有千里眼、顺风耳、腾云驾雾的想象,随着雷达、运载火箭、飞机、汽车、轮船的发明,这些想象大都已变为了现实。人类航行的脚步上至月球、火星甚至深空,下至深海,所有这些都离不开自主航行技术。自主航行技术不仅受到众多科技工作者的关注,也引起了普通大众的广泛兴趣。什么是自主航行?什么是自主导航?有哪些自主导航技术?自主导航技术有哪些应用?有哪些自主航行器?迄今为止,还没有一本书能够系统地回答这些问题。即便是高等学校导航制导与控制专业的学生,在学习的时候对这些问题也缺少全面系统的认识,对知识的学习常常是只见树木,不见森林,陷入知其然而不知其所以然的困惑,使学习变得枯燥而失去学习的兴趣。

为使导航制导与控制专业的学生从一开始就对自主导航技术有一个全面的了解,激发学生自主学习、探究自主导航技术的热情,第二炮兵工程大学领导和训练部倡议在飞行器控制专业的新生中开设一门新生研讨课“自主航行技术”,该设想得到了第二炮兵工程大学控制工程系广大教师的积极支持和响应,在这种背景下,由第二炮兵工程大学“国家教学名师”胡昌华教授领衔主持开设了新生研讨课“自主航行技术”,应课程需要,编写了本书。

本书涉及的内容尽管十分丰富广泛,但笔者力图做到系统性、前沿性、科普性、可读性的完美统一,具有下述特点。

(1) 系统性强。本书涵盖了无人驾驶汽车、火星探险车、机器人等陆地自主航行器,无人飞机、导弹、高超声速飞行器、人造卫星、深空探测器等空间自主航行器,鱼雷等水中自主航行器,包罗现有自主航行器的大多数方面,涉及惯性导航技术、卫星导航技术、无线电导航技术、匹配导航技术、视觉导航技术、复合导航技术等导航技术。

(2) 前沿性好。本书在编写过程中非常注意吸纳相关领域的最新科技成果,很好地反映了自主导航领域的最新科研成果,如原子陀螺、组合导航、高超声速飞行器等自主导航技术和自主航行器方面的最新成就在书中均有所介绍。

(3) 科普性、可读性强。本书在写作过程中力求深入浅出,尽量用通俗的语言介绍相关内容,具有很好的可读性和科普性。

胡昌华教授在广泛调研和充分论证的基础上确定了全书的架构,并亲自撰写、统稿,第二炮兵工程大学控制工程系周涛、郑建飞、李红增、马清亮、蔡光斌等同志参与了部分内容的资料收集和编写工作。本书是第二炮兵工程大学控制工程系测控教研室集体智慧的结晶,在此,向对本书编著出版给予帮助的同志致以深深的谢意。

由于本书的内容十分丰富繁杂,涉及的知识面很广,限于水平,书中难免存在一些不妥之处,敬请广大读者批评指正!

胡昌华

2014年2月26日于古都西安

目 录

第一章 概述	1
1.1 人类航行的脚步	1
1.2 自主航行技术	1
1.3 自主航行器	2
1.4 自主航行的发展趋势	2
第二章 自主航行器	4
2.1 陆地自主航行器	4
2.1.1 无人驾驶汽车	4
2.1.2 机器人	8
2.1.3 火星探险车	12
2.2 空间自主航行器	12
2.2.1 无人飞机	13
2.2.2 导弹	14
2.2.3 高超声速飞行器	15
2.2.4 临近空间飞行器	18
2.2.5 人造卫星	20
2.2.6 深空探测器	21
2.3 水下自主航行器	23
第三章 自主导航技术	29
3.1 惯性导航技术	29
3.1.1 陀螺仪	29
3.1.2 加速度计	45
3.1.3 平台惯性导航	53
3.1.4 捷联惯性导航	56
3.2 无线电导航技术	63
3.2.1 陆基无线电导航系统及原理	64
3.2.2 定向机/无方向信标	66
3.2.3 VOR 导航系统	66
3.2.4 塔康导航系统	67
3.2.5 测距器(DME)	67
3.2.6 罗兰-C 导航系统	68
3.2.7 奥米加导航系统	69

3.3 雷达导航与制导	69
3.3.1 雷达工作原理	70
3.3.2 雷达制导原理	73
3.3.3 多普勒雷达导航	78
3.4 卫星导航技术	80
3.4.1 卫星定位原理	82
3.4.2 卫星测速原理	86
3.4.3 卫星定向原理	87
3.5 天文导航技术	88
3.5.1 天文导航	88
3.5.2 脉冲星导航	91
3.6 匹配导航技术	92
3.6.1 地形匹配导航	92
3.6.2 地磁场匹配导航	95
3.6.3 重力场匹配导航	96
3.6.4 景象匹配导航	96
3.7 视觉导航技术	97
3.7.1 视觉导航原理	98
3.7.2 视觉导航实例	100
3.8 组合导航技术	103
3.8.1 组合导航的方法	103
3.8.2 应用卡尔曼滤波器的组合导航系统	103
3.8.3 GPS/惯性组合导航系统	106
第四章 自主航行器能源动力技术	117
4.1 发动机分类	117
4.2 吸气式发动机	118
4.2.1 活塞式发动机	118
4.2.2 空气喷气发动机	120
4.3 火箭发动机	127
4.3.1 固体火箭发动机	127
4.3.2 液体火箭发动机	129
4.3.3 固-液混合火箭发动机	131
4.4 新能源动力技术	132
4.4.1 核能发动机	133
4.4.2 太阳能发动机	133
4.4.3 电推进发动机	135
参考文献	136

第一章 概 述

1.1 人类航行的脚步

“可上九天揽月，可下五洋捉鳖”，诗人以其浪漫主义的想象道出了人类走向大海、走向蓝天、征服自然的豪迈情怀。人类航行的脚步是随着人类认识自然、征服自然、改造自然能力的越来越强而越走越远的。在仅靠双脚行走的原始社会，人类航行的范围只局限在部落管控范围的几个山头、几片草地、几个湖泊；成吉思汗依靠战马的蹄而横扫中原，一统中国，却也只限于欧亚大陆的范围；哥伦布依靠对地球的科学认识，借助轮船和枪炮，征服了大海，实现了环球航行；莱特兄弟发明了飞机，实现了人类飞天的梦想，人们终于可以借助飞机翱翔于蓝天；美国人发明了宇宙飞船，实现了人类穿越蓝天、飞向宇宙的梦想，使“坐地日行八万里，巡天遥看一千河”成为现实。

以上这些航行，还都是在人类亲自参与的条件下的航行，但人类自身毕竟存在许多的局限，深海航行面临的巨大水压和复杂海洋环境是否适合人类生存？深空探测面临的缺氧、失重、辐射等太空环境也不适合人类生存。即使是在陆地上、大气层内，如何实现不会驾驶技术的人，也可开汽车、飞机？在战争条件下，在有毒、有害等不适宜人类生存的条件下如何实现航行？

自主航行是人类征服自然的又一个梦想，而且已经部分实现。人类已经发明了许多自主航行器，如导弹、无人飞机、无人驾驶汽车、自主水下航行器（水下机器人）、卫星、航天飞机等。导弹可以按照预定航迹自主飞向目标打击敌人。无人飞机在海湾战争中大显身手，在侦查、指挥控制、建立战时即时通信链路、精确打击、打击效果评估等方面发挥了独特的作用。卫星在遥感、精确导航制导与控制、通信等方面发挥了无可比拟的作用。自主水下航行器（水下机器人）在水下监听、自主攻击、深海探测等方面将发挥不可替代的作用。2012年，互联网报道美国谷歌研发的自动驾驶汽车已经在复杂自然道路上自主航行超过30万公里。

目前，人类探索的目光已经投向深空、深海，出现了深空探测器（如美国的火星探险车）、深海探测器（如中国的“蛟龙号”深海航行器）。恶劣条件下自主航行、高速航行成为人们又一个力求征服的目标，发展高性能的无人飞机、无人驾驶汽车、自主水下航行器（水下机器人）、高超声速飞行器成为当今世界各国竞相争夺的目标。

1.2 自主航行技术

所谓自主航行是指航行器不依赖外界支持，完全依靠航行器自身所载设备，自主确定自身所处位置、速度和姿态，自主控制和调整航行器姿态和方位，直至抵达目的地的航行。自主航行具有完全自主、不受干扰、强隐蔽等特点。

(1)实现自主航行需要有导航技术和导航设备。所谓导航,顾名思义就是引导航行的意思。导航技术就是将航行器(如飞机等航空器,卫星、宇宙飞船等航天器,汽车等陆地航行器,轮船、潜艇等水上和水下航行器)从一个位置(当时位置)引导到另一个位置(目的地)的技术。导航设备就是能自主地确定航行器所处位置、速度、姿态和航向的设备。目前实现导航的方式主要包括惯性导航、无线电导航、卫星导航、星光导航、匹配导航、相对导航等,对应的导航设备称为惯性导航设备、无线电导航设备、卫星导航设备、星光导航设备、匹配导航设备、相对导航设备等。

(2)实现自主航行需要航迹规划与控制技术。航行器按照规划的航线航行,导航设备确定航行器当前所处的实际位置、速度、姿态和航向,与航行器预期航线和当前时刻实际应达到的位置、速度、姿态和航向比较,控制系统根据二者的偏差进行误差校正和控制,引导航行器到达预期目的地。

(3)实现自主航行需要能源动力和推进技术。现有的实现自主航行的能源主要包括化学能、核能、太阳能、风能,如汽车、飞机的发动机将石油等化学原料转化为电力、推进动力,核潜艇将核聚变或核裂变释放的能量转化为电力、推进动力,无人飞机用具有光伏效应的材料制作机翼收集太阳能将太阳能转化为电力、推进动力。现有的动力或推进技术主要包括三大类:一是火箭推进技术,如导弹等运载体,依靠自身携带的固体或液体氧化剂和燃烧剂燃烧,产生动力和推力,实现对航行器的推进;二是发动机技术,如吸气式发动机、排气式发动机、冲压发动机、超燃冲压发动机等,将石油等化学原料转化为电力、推进动力;三是电动推进技术,首先将核能、太阳能、风能、化学能转化为电能,然后将电能转化为电力、推进动力。

1.3 自主航行器

自主航行器是一种依靠自身导航制导与控制设备完成航行任务的系统。自主航行器包括陆地自主航行器、空间自主航行器和水中自主航行器。

陆地自主航行器包括无人驾驶汽车、无人战车、无人驾驶扫雷车、无人驾驶坦克、机器人士兵、生命探测机器人、月球探测车、火星探险车等。

空间自主航行器包括无人飞机、导弹、高超声速巡航导弹、人造卫星、深空探测器等。

水中自主航行器包括自导鱼雷、自主水下航行器等。

1.4 自主航行的发展趋势

随着科技的发展和需求的强烈驱动,自主航行技术和自主航行器得到了快速发展,纵观自主航行技术和自主航行器的发展,主要呈现如下发展趋势:

(1)智能化。将人工智能技术应用于导航系统,使航行器具有某些人类的智能思维行为,形成智能自主导航器。智能自主导航器充分利用现代信息感知能力,并依靠内置的智能计算机,使载体能够在复杂干扰情况下自行探测、判定、选择和跟踪目标,自动选择导航方式、航行方式和航行路线,规避在航线上敌方可能的拦截和干扰,极大地提高了航行器的抗干扰能力、突防能力和精确打击能力。

(2)低成本、小型化。随着现代微电子技术、光电子技术以及微机电系统技术的不断发展,

自主导航系统正朝着微小型化、模块化、集成化和一体化的方向快速发展。微小型化技术不但可以降低载体功能部件自身的质量,也会带来相关分系统的小型化和低功耗。可以预见,随着微米和纳米技术的发展,微机电系统技术和微米纳米技术必将进一步促进导航敏感器的微小型化进程。为了减少导航配置,尽可能提高导航敏感器的复用程度,在不同的任务阶段采用相同的导航敏感器。美国的深空探测任务往往借用科学探测有效载荷相机作为导航相机完成视觉导航任务,如旅行者号和深空1号探测器。

(3)高精度复合导航。单一形式的自主导航技术各有其优缺点,在航行器上单独使用某一导航系统时,往往很难满足对导航性能的要求,在实际中通过采用复合导航或组合导航技术。复合导航组合两种或两种以上非相似导航系统,综合利用数字滤波、最优估计、信息融合技术,把各导航系统的导航信息融合在一起,得到比任何单一导航方式更高的导航精度。

复合导航或组合导航带来以下三方面的优点:①高精度。组合导航系统的精度高于任何单一导航方式的导航精度。②互补性与高适应性。组合导航系统充分利用不同导航方式的优点,相互取长补短,使组合导航系统具有单一导航方式所不具备的功能,提高了导航系统的适应性和使用范围。③冗余性与容错性。组合导航系统的各子导航系统分别感测同一信息源,得到的导航信息具有冗余性,提高了整个导航系统的容错能力和可靠性。

(4)自诊断、自修复、高可靠、长运行时间。长航时、高可靠、高安全运行是现代自主航行器的必然要求,为此,现代自主航行器上普遍带有故障自检、自诊断、自修复和容错技术,故障预报、寿命预测和健康管理技术。

(5)恶劣环境适应性。无人战车、战场机器人、无人飞机等军事用途的地面自主航行器,必须面对和适应核辐射沾染、电子对抗等恶劣战场环境。水中自主航行器必须面对和适应复杂的背景水声、水压、噪声、水中电子对抗等恶劣的水中环境。空间自主航行器必须面对和适应太阳黑子、磁爆、人为空间对抗等空间恶劣环境。

第二章 自主航行器

自主导航技术已经在国民经济、社会生活、军事等领域得到广泛应用,形成了无人驾驶汽车、无人飞机、导弹、深空探测器和水下航行器等各类不同用途的自主航行器。本章介绍几种典型的陆地、空间、水中自主航行器。

2.1 陆地自主航行器

陆地自主航行器包括无人驾驶车(汽车、战车、扫雷车、坦克等)、自主移动机器人(机器人兵、生命探测机器人、排爆/核生化特种作业机器人等)、月球探测车、火星探险车等。

2.1.1 无人驾驶汽车

无人驾驶汽车是通过车载传感系统感知道路环境,自动规划行车路线,通过行为处理和执行控制等一系列过程控制车辆自主行驶并到达预定目标的智能汽车。

从 20 世纪 70 年代开始,美国、英国、德国等发达国家开始进行无人驾驶汽车的研究,目前在可行性和实用化方面都取得了突破性的进展。据 2012 年互联网报道,美国谷歌公司研发的无人驾驶汽车在复杂城市交通路面累计行程已经超过 30 万公里,已经完全具备实用化能力。

我国从 20 世纪 80 年代开始进行无人驾驶汽车的研究,国防科技大学在 1992 年成功研制出我国第一辆真正意义上的无人驾驶汽车。2000 年 6 月,国防科技大学研制的第 4 代无人驾驶汽车试验成功,最高速度达 76km/h,创下国内最高纪录。2005 年,由上海和欧盟科学家合作的“中国城市交通中的无人驾驶技术(CyberC3)”项目取得了阶段性成果,首辆城市无人驾驶汽车在上海交通大学研制成功,该车率先在上海世纪公园进行了示范运营,并在 2010 年上海世博会上大展身手。最近,国防科技大学机电工程与自动化学院和中国第一汽车集团公司联合研发了红旗旗舰无人驾驶轿车,其总体技术性能和指标已经达到世界先进水平。该车装备了摄像机、雷达,可以自主导航,对道路环境、障碍物进行判断识别,自动调整速度,不需要人做任何干预操作。与电子巡航、GPS 导航不同的是,它的定位更加精确,转弯和遇到复杂情况时也不需要人来控制。车内的环境识别系统能够识别出道路状况、测量前方车辆的距离和相对速度,相当于驾驶员的眼睛;车载主控计算机和相应的路径规划软件根据计算机视觉提供的道路信息、车前情况以及自身的行驶状态,决定继续前进还是换道准备超车,相当于驾驶员的大脑;接着,自动驾驶控制软件按照需要跟踪的路径和汽车行驶动力学,向方向盘、油门和刹车控制器发出动作指令,操纵汽车按规划好的路径前进,起到驾驶员的手和脚的作用。

无人驾驶汽车集系统工程、自动控制、人工智能、视觉计算等众多技术于一体,是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物,也是衡量一个国家科研实力和工业水平的重要标志之一,在国防和国民经济领域具有广阔的应用前景。国家自然科学基金委员会于 2008 年

设立了“视听觉信息的认知计算”重大研究计划,其目标任务之一就是集成人的听视觉认知机理等基础科学研究成果,研制具有自然环境感知与智能行为决策能力的无人驾驶车辆验证平台。无人驾驶汽车是未来汽车发展的方向,人类在不久的将来会上智能型无人驾驶汽车。那是一种将探测、识别、判断、决策、优化、优选、执行、反馈、纠偏功能融为一体,会学习、会总结、会提高技能,集微电脑、微电机、绿色环保动力系统、新型结构材料等顶尖科技成果于一体的智能汽车。

无人驾驶汽车主要由基础平台、主控系统、运动控制系统、环境感知系统、自主导航系统等组成。

基础平台可根据实际需求选取,如在高速公路、城市道路等结构化道路上行驶,可以选取一般的小型汽车,在野外环境如乡村、山地等非结构化道路上行驶,可选择运动型或越野型汽车,而在月球或其他星球表面等未知环境中行驶,则需要专门设计的月球车或火星车作为基础平台。

主控系统是无人驾驶汽车的数据处理中心和控制中心,完成传感器数据的采集、处理和融合,路径规划计算,自主导航计算,发出控制指令等工作。

运动控制系统主要包括转向控制系统、调速控制系统和制动控制系统,接收来自车载主控系统的指令信号,完成辅助驾驶或自动驾驶控制功能。

环境感知系统主要由装配在车身的各种传感器构成,通过不同类型的传感器实时获取外部环境信息,建立外部环境模型,通过科学的算法实现正确的路径规划。常用的环境感知传感器有激光测距仪(Laser Range Finder, LRF)、测距雷达(Radar)、摄像头(可见光、红外线)等。激光测距仪发射多束激光射线,车辆周围的物体会反射激光,测量激光从发射到返回的时间差即可计算出汽车与物体的距离;由摄像头构成的光学立体视觉系统可以实时生成前方道路的三维图像,检测诸如行人之类的潜在危险,并且预测他们的行动。无人驾驶汽车会把激光测距仪测量数据、雷达测量信息、实时光学图像数据和内置的实景(街景、地理)地图信息相结合,构建不同的三维道路模型,以便汽车能够识别各种障碍(行人、建筑等)和各种交通标识,如速度限制、红绿灯、车道划分、停靠点等,保证汽车在遵守交通规则的前提下安全行驶。

自主导航系统通常包括惯性(INS)导航子系统、卫星(GPS)导航子系统、航位推算(DR)导航子系统、“地标+地图”匹配子系统及数据融合处理子系统。

无人驾驶汽车的工作原理:利用车载测量仪器测量车体姿态和运动参数,利用各种车载传感器来感知车辆周围环境,对获取的数据信息进行处理后得到车辆位置、道路和障碍物等信息,依靠车内的以计算机系统为主的智能驾驶仪(主控系统)控制车辆的转向和速度,从而使车辆能够安全、可靠地在道路上行驶,并准确到达目的地。

一个典型的无人驾驶汽车自主导航系统结构框图如图 2.1.1 所示。

1. 惯性航位推算定位原理

由里程计测量车辆行驶的距离增量 Δd_i , 惯性设备测量航向角 ϕ_i , 高程计测量载体相对高程变化量 Δz_i , 推算出航程俯仰角 $\theta_i = \arcsin(\Delta z_i / \Delta d_i)$, 在已知初始位置条件下能够实时推算出车辆的位置 x, y, z 。具体航位推算过程见图 2.1.2。

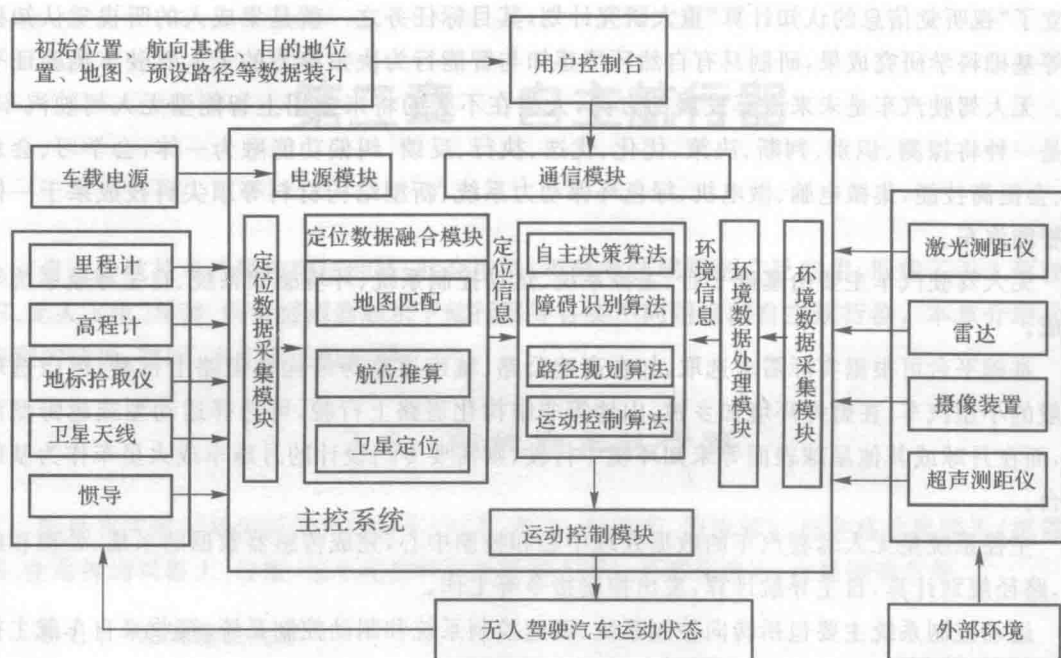


图 2.1.1 一个典型的无人驾驶汽车自主导航系统结构框图

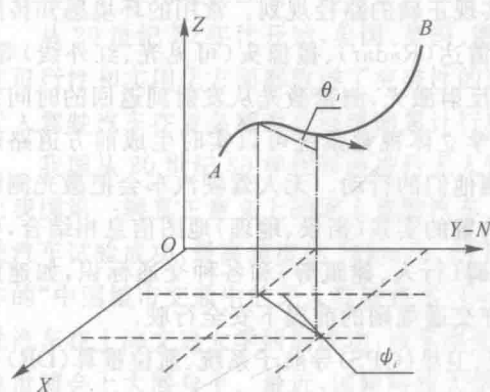


图 2.1.2 航位推算原理图

2. 地图匹配导航原理

地图匹配基本原理是利用数字地图数据库中的准确数据，实时修正车辆通过其他定位方式(DR)得到的位置信息的误差。

在地图匹配过程中首先要明确车辆行驶在哪一条道路上。如图 2.1.3(a) 所示。计算 DR 定位点与某一区域内各道路间的距离 r_i 及车辆行驶方向与道路间的夹角 θ_i 。选出 r_i 小于某一给定阈值的所有道路，并根据式 $\lambda_i = a_r r_i + a_\theta \theta_i$ 计算各候选道路的代价值，其中 a_r 和 a_θ 为距离和方向夹角的权值。在所有候选道路的中选取代价值 λ_i 最小的作为匹配道路，即认为车辆在该道路上行驶。

在图 2.1.3(a) 中，P 点为待匹配点(DR 定位点)， L_1, L_2 表示定位点附近的道路，经过计算

代价值 λ_1 和 λ_2 后,确定可选择 L_1 作为匹配道路。

在图 2.1.3(b) 中,在交叉路口拐弯 S 处,车辆行进角度的变化值为 θ ,原行驶道路 L_0 的 3 条连续道路 L_1, L_2, L_3 与 L_0 之间的夹角分别 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$,将 θ 与 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 进行比较,最后选定 L_2 作为匹配道路。

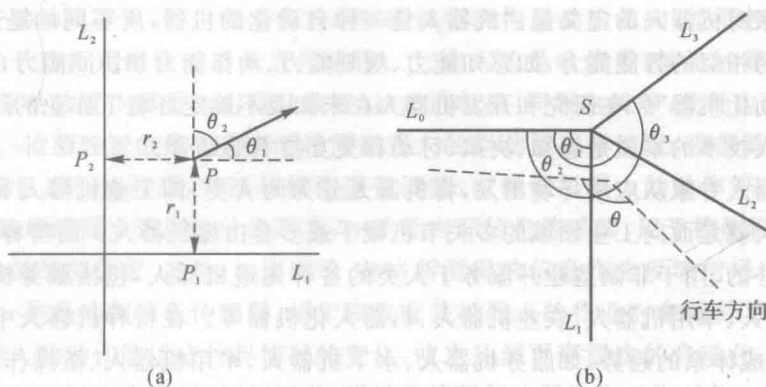


图 2.1.3 地图匹配原理示意图

3. 多种传感器信息融合

多种传感器的信息采用信息融合(information fusion)技术进行处理(见图 2.1.4)。激光惯组、里程计和高程计组成一组定位传感器,其数据进行预处理后输入到航位推算(DR)单元,采用推广卡尔曼滤波器进行滤波处理;卫星接收机作为一组定位传感器,其数据进行预处理后输入到卫星定位单元,采用标准卡尔曼滤波器进行滤波处理;处理后的数据采用联合卡尔曼滤波器进行融合;利用精确的电子地图道路(具有网络拓扑特性)和卫星/DR 融合后定位轨迹的相似性进行地图匹配,将得到的最优解与地标解算值进行信息融合,得到最终最优解反馈给 DR 单元,从而实时修正自主导航系统的传感器参数,解决传感器参数的漂移和误差积累问题,提高系统的性能。

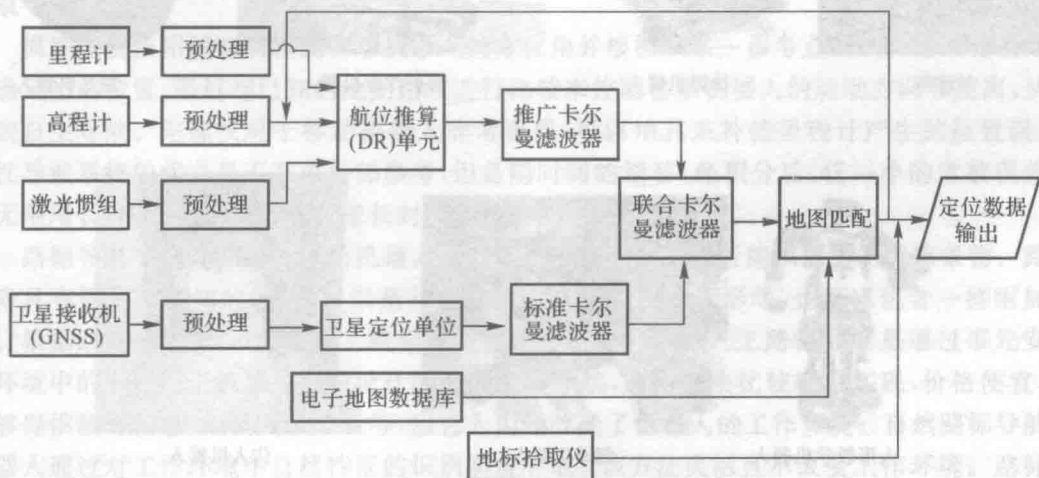


图 2.1.4 惯性/地图/卫星信息融合定位原理框图

2.1.2 机器人

机器人(robot)是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义:“一种可编程和多功能的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统”。

中国科学家对机器人的定义是:“机器人是一种自动化的机器,所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高度灵活性的自动化机器”。在研究和开发机器人在未知及不确定环境下作业的过程中,人们逐步认识到机器人技术的本质是感知、决策、行动和交互技术的结合。

中国的机器人专家从应用环境出发,将机器人分为两大类,即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人,包括服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器等。在特种机器人中,有些分支发展很快,有独立成体系的趋势,如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。几种常见的机器人见图 2.1.5。

目前,国际上的机器人学者,从应用环境出发将机器人也分为两类:制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人。这和中国的分类是一致的。

机器人的能力通常包括智能、机能和物理能。智能,指感觉和感知,包括记忆、运算、比较、鉴别、判断、决策、学习和逻辑推理等;机能,指变通性、通用性或空间占有性等;物理能,指力、速度、可靠性、联用性和寿命等。因此,可以说机器人就是具有生物功能的实际空间运行工具,可以代替人类完成一些危险或难以进行的劳作、任务等。



图 2.1.5 几种机器人

机器人一般由执行机构、驱动装置、检测装置、控制系统和复杂机械等组成。执行机构即机器人本体,其臂部一般采用空间开链连杆机构,其中的运动副(转动副或移动副)常称为关节,关节个数通常即为机器人的自由度数。根据关节配置形式和运动坐标形式的不同,机器人执行机构可分为直角坐标式、圆柱坐标式、极坐标式和关节坐标式等类型。出于拟人化的考虑,常将机器人本体的有关部位分别称为基座、腰部、臂部、腕部、手部(夹持器或末端执行器)和行走部(对于移动机器人)等。驱动装置是驱使执行机构运动的机构,按照控制系统发出的指令信号,借助于动力元件使机器人进行动作。它输入的是电信号,输出的是线、角位移量。机器人使用的驱动装置主要是电力驱动装置,如步进电机、伺服电机等,此外也可采用液压、气动等驱动装置。检测装置的作用是实时检测机器人的运动及工作情况,根据需要反馈给控制系统,与设定信息进行比较后,对执行机构进行调整,以保证机器人的动作符合预定的要求。作为检测装置的传感器大致可以分为两类:一类是内部信息传感器,用于检测机器人各部分的内部状况,如各关节的位置、速度、加速度等,并将所测得的信息作为反馈信号送至控制器,形成闭环控制。一类是外部信息传感器,用于获取有关机器人的作业对象及外界环境等方面的信息,以使机器人的动作能适应外界情况的变化,使之达到更高层次的自动化,甚至使机器人具有某种“感觉”,向智能化发展,例如视觉、听觉等外部传感器给出工作对象、工作环境的有关信息,利用这些信息构成一个大的反馈回路,从而将大大提高机器人的工作精度。控制系统有两种方式:一种是集中式控制,即机器人的全部控制由一台微型计算机完成。另一种是分散(级)式控制,即采用多台微机来分担机器人的控制,如当采用主、从两级微机共同完成机器人的控制时,主机常用于负责系统的管理、通信、运动学和动力学计算,并向从机发送指令信息;各关节分别对应一个 CPU,作为从机进行插补运算和伺服控制处理,实现给定的运动,并向主机反馈信息。根据作业任务要求的不同,机器人的控制方式又可分为点位控制、连续轨迹控制和力(力矩)控制。

机器人所采用的导航是指移动机器人通过传感器感知环境信息和自身状态,实现在有障碍的环境中面向目标的自主运动。导航主要解决如下问题:通过移动机器人的传感器系统获取环境信息;采用特定算法对所获信息进行处理并构建环境地图;根据地图实现移动机器人的路径规划及运动控制。移动机器人较成熟的导航方式包括磁导航、惯性导航、路标导航、视觉导航等几种。

惯性导航采用陀螺仪检测移动机器人的方位角并根据从某一参考点出发测定的行驶距离来确定当前位置,通过与已知的地图路线进行比较来控制移动机器人的运动方向和距离,从而实现自主导航。陀螺仪对于移动机器人非常重要,可以用其来补偿里程计产生的位置误差。惯性导航系统的优点是不需要外部参考,但是随时间的漂移,经积分后,任一小的常数误差就会无限增长,所以惯性传感器对于长时间的精确定位是不适宜的。

路标导航中的路标就是移动机器人从其传感器输入信息中所能识别出的特殊景物。路标本身具有固定和已知的位置,可以是几何形状,如线段、圆或矩形等,也可以包含一些附加信息。根据路标的不同,可分为人工路标导航和自然路标导航。人工路标导航是通过事先安装在环境中的专门用于机器人导航设计的标记实现导航,这种方法比较容易实现,价格便宜,且能够提供额外信息,如模式或形状等,但它人为地改变了机器人的工作环境。自然路标导航是机器人通过对工作环境中自然特征的识别实现导航,该方法灵活且不改变工作环境。路标要经过认真的选择并易于识别,而且必须将其特征存入移动机器人的内存中,这样才能够利用其

实现导航。

计算机视觉(机器视觉)具有信息量丰富,智能化水平高等优点,近年来广泛应用于移动机器人的自主导航。视觉导航主要完成障碍物、路标的探测及识别。视觉导航方式具有信号探测范围广,获取信息完整等优点,是移动机器人导航的一个主要发展方向。目前国内外主要采用在移动机器人上安装车载摄像机的基于局部视觉的导航方式,如利用车载摄像机和较少的传感器通过识别路标进行导航,利用车载摄像机和超声波传感器研究基于视觉导航系统中的避碰问题等。视觉导航中边缘锐化、特征提取等图像处理方法计算量大且实时性较差,解决该问题的关键在于设计一种快速的图像处理方法或采取组合导航方式。

随着人们对机器人技术智能化本质认识的加深,机器人技术开始源源不断地向人类活动的各个领域渗透。结合这些领域的应用特点,人们发展了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和各种智能机器,如移动机器人、微机器人、水下机器人、医疗机器人、军用机器人、空中空间机器人、娱乐机器人等。

排爆机器人是排爆人员用于处置或销毁爆炸可疑物的专用器材,避免不必要的人员伤亡。它可用于多种复杂地形进行排爆。排爆机器人不仅可以排除炸弹,利用它的侦察传感器还可监视犯罪分子的活动。监视人员可以在远处对犯罪分子昼夜进行观察,监听他们的谈话,不必暴露自己就可对情况了如指掌。还可以配备散弹枪对犯罪分子进行攻击;可配备探测器材检查危险场所及危险物品。

按操控方式划分,排爆机器人分为两种:一种是远程操控型机器人,在可视条件下进行人为排爆,也就是人是司令,排爆机器人是命令执行者;另一种是自动型排爆机器人,先把程序编入磁盘,再将磁盘插入机器人身体里,让机器人能分辨出什么是危险物品,以便排除险情。由于成本较高,所以很少用,一般是在很危急的时候才肯使用。

按行进方式划分,排爆物机器人分为轮式及履带式。它们一般体积不大,转向灵活,便于在狭窄的地方工作,操作人员可以在数百米到数公里以外通过无线电或光缆控制其活动。机器人车上一般装有多台彩色 CCD 摄像机用来对爆炸物进行观察;一个多自由度机械手,用它的手爪或夹钳可将爆炸物的引信或雷管拧下来,并把爆炸物运走;车上还装有猎枪,利用激光指示器瞄准后,它可把爆炸物的定时装置及引爆装置击毁;有的机器人还装有高压水枪,可以切割爆炸物。

一般排爆机器人由机器人本体和远程控制端组成,其基本结构组成框图见图 2.1.6。机器人本体结构主要由移动平台、武器平台、机械手 3 个部分组成。移动平台作为整个排爆机器人功能实现的载体,可分别搭载机械手执行爆炸物排除任务,或搭载武器平台执行作战任务。控制端部分由人工进行监控和执行相应的操作。对于机械臂的人工遥控,除了能实现各关节的独立控制,还应能够联动控制,以实现排爆操作时的灵活控制性。

机器人本体与控制端通过加密的无线数据链路通信,实现可靠的双向数据交流,并可通过网络系统实现网络化控制以及多机器人协调的功能。

排爆移动机器人的导航方式可分为基于环境信息的地图模型匹配导航,基于各种导航信号的路标(landmark)导航、视觉导航和味觉导航等。

环境地图模型匹配(map matching)导航是机器人通过自身的各种传感器,探测周围环境,利用感知到的局部环境信息进行局部地图构造,并与其内部事先存储的完整地图进行匹配,如两模型相互匹配,机器人可确定自身的位置,并根据预先规划的一条全局路线,采用路径

跟踪和避障技术,实现导航。它涉及环境地图模型建造和模型匹配两大问题。

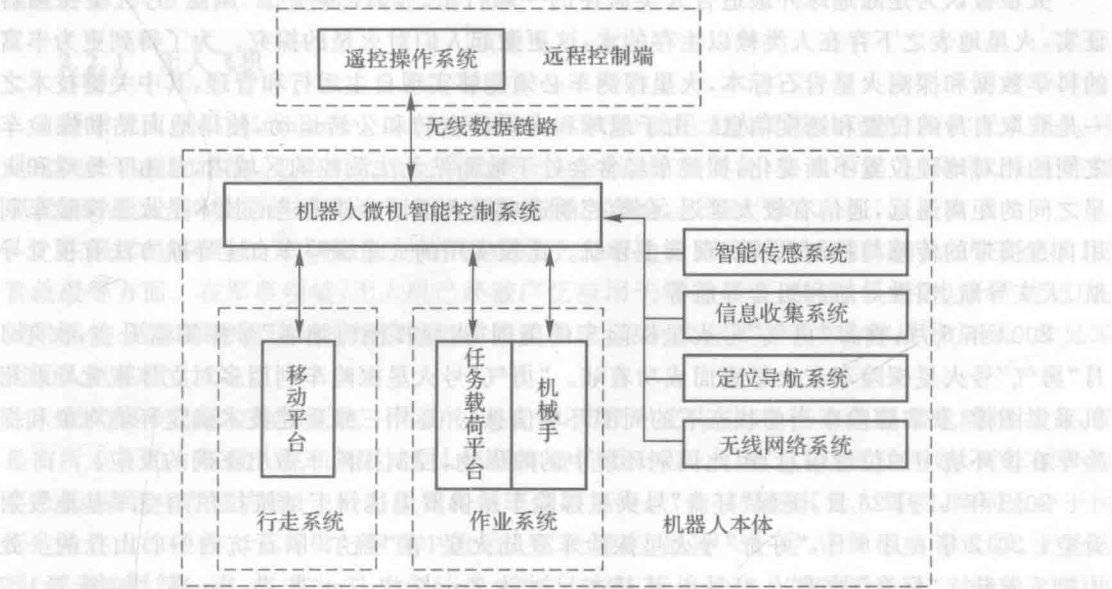


图 2.1.6 排爆机器人基本结构组成图

路标导航是事先将环境中的一些特殊景物作为路标,机器人在知道这些路标在环境中的坐标、形状等特征的前提下,通过对路标的探测来确定自身的位置。根据路标的不同,可分为人工路标导航和自然路标导航,前者通过对人为放置的特殊标志的识别实现导航,后者是机器人通过对工作环境中的自然特征的识别完成导航。

与非视觉类传感器相比,视觉传感器具有无噪声、无有害影响、信息量大等特点。在实际应用中,只需在路面上画出路径引导线,机器人就可以通过视觉导航系统探测路标来控制自身行走。相对于在环境中埋设导线、磁条,安装发光带等方法而言,这种方法进一步增强了系统的灵活性,降低了成本。

味觉导航是通过机器人配备的化学传感器感知气味的浓度,根据气味的浓度和气流的方向来控制机器人的运动,由于气味传感器对灵敏度高、响应速度快以及鲁棒性好等要求难以达到,该项技术很少应用到实际环境中,仍处于试验研究阶段。还有一种比较常用的方法是预先铺设导轨,这种技术相对简单,也容易实现,但有工作环境不能随意变更、任务不能变更、缺少灵活性等局限性。

对不同任务和特殊环境的适应性,也是机器人与一般自动化装备的重要区别。这些机器人从外观上已远远脱离了最初仿人型机器人和工业机器人所具有的形状,更加符合各种不同应用领域的特殊要求,其功能和智能程度也大大增强,从而为机器人技术开辟出更加广阔的发展空间。

科学家指出:“机器人学的进步和应用是 20 世纪自动控制最有说服力的成就,是当代最高意义上的自动化”。机器人技术综合了多学科的发展成果,代表了高技术的发展前沿,它在人类生活应用领域的不断扩大正引起国际上对机器人技术的作用和影响的重新认识。