

分类号_____

密 级_____

UDC_____

学校代码 10500

湖北工业大学

硕士学位论文

(全日制专业学位)

题 目: 自动导航小车 (AGV) 驱动与导航系统的研究

英文题目: The Study Of the Driving and Navigation of the
Automated Guided Vehicles

学位申请人姓名: 刘书婷

申请学位学科专业: 机械工程

指导教师姓名: 夏利霞 华中平

二〇一一年五月

分类号_____

密 级_____

UDC_____

学校代码 10500_____

湖北工业大学

硕士学位论文

题 目: 自动导航小车 (AGV) 驱动与导航系统的研究

英文题目: The Study Of the Driving and Navigation of
the Automated Guided Vehicles

研究生姓名 (签名) 刘书婷

指导教师姓名 (签名) 夏利军 职 称 正高

申请学位学科名称 机械工程 学科代码 _____

论文答辩日期 2011年5月12日 学位授予日期 2011年5月12日

学院负责人 (签名) 张云清

评阅人姓名 邓建春 评阅人姓名 张云清

年 月 日

湖北工业大学

学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：刘书婷 日期：2011年5月27日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权湖北工业大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文作者签名：刘书婷 指导教师签名：夏利军
日期：2011年5月27日 日期：2011年5月27日

摘 要

当今世界，经济全球化深入发展，科技突飞猛进。许多国家和地区都把加大科技投入作为提高科技创新能力的关键，把科技投资作为战略性投资，大幅度增加科技投入。随着财政投入科技项目的增加，人们越来越关注生产中技术的引用。自动驾驶小车作为一种无人驾驶小车越来越受到各个厂家的青睐，它的自动化程度高、应用灵活、安全可靠、无人操作、施工简单及维修方便等诸多优点为这些厂家提供了一个可行的廉价的运输和搬运工具，为企业引进了科技活力，提高了效益。

本文以研究所自主开发的自动驾驶小车为研究对象，从工程应用的实际需求出发，结合机械工程技术、计算机控制技术、传感器检测技术和信号处理技术，对自动驾驶小车在实际开发过程中的运动学的建模、AGV系统的组成、AGV在不同领域的应用、不同导引方式的导引原理及避障方法的分析等内容进行了较为深入的分析和研究。

针对两轮差速转向式的运动，建立了运动学模型，并对前轮和后轮驱动的运动学进行分析和研究；在实践过程中出现的前后车时常追尾的现象，使我产生了对传感器的原理分析和探讨的兴趣，在文中，具体的详细的对日常常用的导引方式的导引原理进行了分析和研究；最后，本文对自动驾驶小车路径规划中的避障问题进行研究，针对超声波完成其定位与避障的研究。

本文的研究是基于现场实践的基础上开发完成的，对于其中提出的一些新的思路和方法，在研究过程中都能够及时的检验并加以改进，所以，本文中的一些方法和相关结论均来源于实际的开发过程，因而对自动驾驶小车的设计和开发具有一定的借鉴作用。

关键词：AGV；超声波；定位；避障

Abstract

In today's world , economic globalization and technological advance by leaps and bounds. Many countries and regions take the improvement of the technology as the key technology innovation ability ,the technology investment as strategic investment. They greatly increased investment in science and technology .Along with the increase of financial investment projects, people pay more and more attention to the production technology references, more and more factories make their attention to the Automated Guided Vehicles which is a car doesn't need driver .They own many advantages like the higher automation, the vivid application and simple construction. They are safe , reliable and convenient to the maintenance. These advantages provide inexpensive transportation and handling tools to the factories. They make more technology and benefits to the company.

Taking the independently developed Automated Guided Vehicles(AGV)of our institute as research object, from the practical demand of engineering application, kinematic modeling, composition of control system, distance measure experiment by ultrasonic sensor, treating and fitting of sensor data, lateral localization and obstacle avoidance during practical development process of AGV are analyzed and researched deeply by mechanical engineer, computer control, sensor detection and signal process technology.

Kinetics modeling beyond on the movement of structure with two parallel wheels, and analyzing and researching the ex-driving and empress-driving on the kinetics. The phenomenon of rear-end collision in the process of fulfillment encourages the interests of principle analysis and study of the theory of sensor . In the text, concreting on research of the analysis and research of the principle .At the end, the research of the avoiding obstacles problem and the research of the ultrasonic location and avoiding obstacles.

As the study in this paper is completed in the process of developing several types of AGV, the new thoughts and methods presented in the paper can be tested practically and corrected in time. Thus, the methods and relevant conclusions in the paper are originated from practical development process and can be referenced in the design and development of AGV.

Keywords: AGV; Ultrasonic; Localization; Obstacle Avoidance

目录

摘 要	I
Abstract	II
第 1 章 引 言	1
1.1 自动驾驶车的发展现状及应用	2
1.1.1 工业机器人国内外发展现状	2
1.1.2 自动驾驶小车的国外发展现状	3
1.1.3 自动驾驶车国内的发展现状	4
1.1.4 自动驾驶车的应用	5
1.2 本课题研究的背景和意义	8
1.2.1 影响 AGV 发展的关键技术	8
1.3 研究课题的确定	12
1.3.1 课题研究的工业背景及实验条件	12
1.3.2 本课题研究的内容	13
1.3.3 论文的主要内容与安排	14
1.4 本章小结	14
第 2 章 差速转向式 AGV 的运动学分析	15
2.1 AGV 的分类	15
2.2 自动驾驶车的系统组成	15
2.3 AGV 的行走机构	18
2.4 驱动系统的研究	18
2.4.1 驱动方式的分类	19
2.4.2 传统驱动转向系统	20
2.5 驱动系统的分析计算	23
2.6 双轮差速驱动的研究	25
2.6.1 双轮差速驱动的运动学分析	25
2.6.2 导向驱动轮运动学的研究	28
2.7 本章小结	31
第 3 章 导航和定位的研究	32

3.1 导引方式	32
3.2 预定路径方式	33
3.2.1 车外连续标记	33
3.2.2 车外间断标志	35
3.3 非预定路径	36
3.3.1 激光导引	36
3.3.2 数字地图引导	40
3.4 智能引导	40
3.5 内饰线上的磁条导航的选择	40
3.6 本章小结	41
第4章 自动避障方法的研究	42
4.1 超声波避障方法	42
4.2 人工势场法	43
4.2.1 势场函数的定义	43
4.2.2 人工势场法的改进	44
4.3 实际项目中传感器的选择	45
4.4 本章小结	46
第5章 全文总结与展望	47
5.1 全文总结	47
5.2 展望	47
致 谢	49
参考文献	50

第1章 引言

近年来，随着经济的发展，无时无刻，追求以最小的消耗获得最大效益的理念存在于各企业中，柔性制造技术以其“工艺柔性、产品柔性、维护柔性、生产能力柔性、扩展柔性及运行柔性”等特点受到人们的青睐，越来越多的厂家引入了柔性制造技术，AGV作为广泛的应用于柔性制造系统中的部分被广泛的引进。传统的运输技术已经不能满足社会生产的需要，尤其在自动化仓储行业和工厂的生产流水线上，这就促使人们对自动驾驶技术的进行不断探索和研究，目前自动驾驶技术已经处于一个崭新的阶段。

自动驾驶小车简称AGV (Automated Guided Vehicles)，是一种无人驾驶的自动驾驶运输车。由于AGV具有自动化程度高、应用灵活、安全可靠、无人操作、施工简单及维修方便等诸多优点，因而广泛应用于汽车制造行业、烟草行业、工程机械行业、机场等物资运输场所及柔性生产系统（FMS）、柔性般与系统和自动化仓储中^[1]。其作用是在上位计算机的调度和管理下，指挥AGV车辆完成一系列的作业，图1-1所示为AGV在汽车生产线上的应用，如内饰部件的运输、后桥发动机的运输及轮胎的运输等，它解决了一系列的问题，如：计算机与计算机之间的通

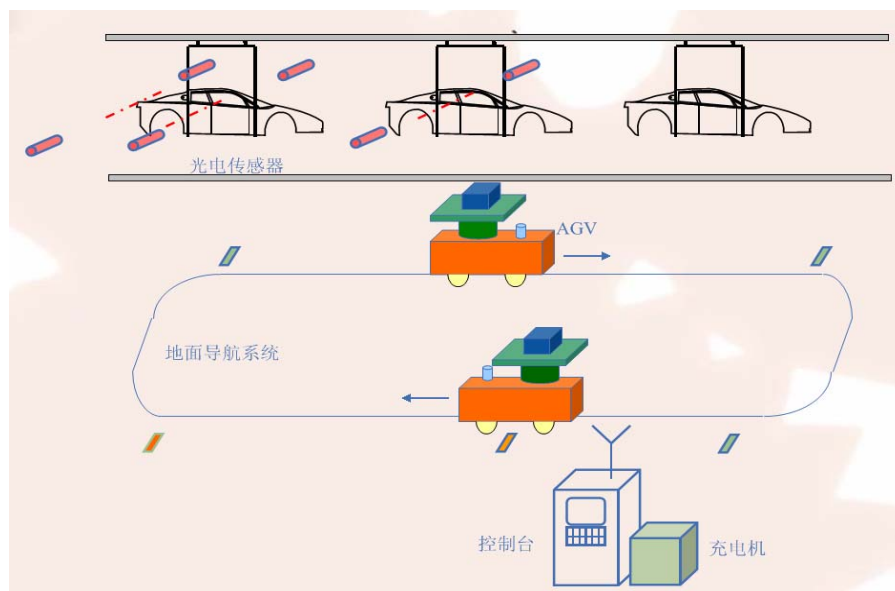


图 1-1 AGV在汽车生产线上的应用

讯和调度、上位计算机和下位AGV控制器之间的通讯、命令的管理与分配、AGV与AGV

之间的交通管理等，并在这一自动化过程中保持较高的作业精度和作业效率。系统作业时，AGV车在地面导航系统的控制下，沿着预先制定的路径运行，在运行途中，识别路边所设置的路标，进而执行相应的高速运动、中速运动、低速运动、停止等命令，在运行过程中，AGV通过伺服电机控制驱动轮，从而促使辅助轮运行，在拐弯时，AGV通过减速器控制左右驱动轮的速度，从而完成AGV小车的拐弯操作。

1.1 自动驾驶车的发展现状及应用

随着科学技术的发展和社会的需要，自动驾驶车技术得到迅速的发展。自动驾驶车不仅可以降低劳动力成本上升所造成的影响，而且可以使人们摆脱一些繁琐枯燥的工作。AGV小车具有不知疲倦的按照人们的意愿工作的特点，可以大大的减轻人们的劳动强度、提高人们的生活质量。AGV是轮式移动机器人的一种，它是以电池为动力源的一种自动操纵行驶的工业车辆。

1.1.1 工业机器人国内外发展现状

自动引导车（AGV）是20世纪50年代开始发展起来的一种自动化物料搬运设备，能承载一定的质量在出发地和目的地之间自动驾驶、自动运行^{[3][4]}。

欧美国家在移动机器人的研究方面起步较早。1954年，美国人 George C. Devol 在他申请的专利“Programmed article transfer”中，首次提出了“示教再现机器人的概念”^[20]。德沃尔于1958年与美国发明家约瑟夫·英格伯格联手制造出了第一台工业机器人。随后，世界上第一家机器人制造工厂——Unimation 公司成立了。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传，他也被称为“工业机器人之父”。与此同时，另一家美国公司——AMF 公司也开始研制工业机器人，即 Versatran (Versatran Transfer) 机器人，它主要是用于机器之间的物料运输。1970年4月，在伊利诺斯工学院召开了全美第一届工业机器人会议，此时，美国已经有200余台工业机器人工作在自动化生产线上^[5]。1996年英国开发出园艺用机器人，利用 CCD 摄像机和左右两轮的转速差进行导航定位，误差近数厘米，能在无作物处喷洒除草剂，在有作物处喷洒农药和施肥等精细农业作业^[13,52]。美国

Probotics 公司于 1999 年生产的 Cye 小型家用移动式服务机器人, 它可牵引一辆小型拖车在室内运送饮料、信件等生活用品, 或牵引吸尘器进行室内清扫工作, 美国 Denning 公司与 Windsorr 业公司在 90 年代初合作生产的地面吸尘器 Robo-Scrub, 它采用超声波检测障碍, 并配有高精度激光导航系统^[13]。

日本机器人的发展速度是相当快的, 从 20 世纪 60 年代到 80 年代, 日本由开始从美国引进 AGV, 经历了短短的二三十年的时间, 发展到美国向其进口的 AGV 的局面, 这种进步不容忽视。日本东京机械贸易公司于 1967 年首次从美国 AMF 公司引进 Versatran 机器人。1968 年, 日本川崎重工业公司与美国 Unimation 公司缔结国际技术合作协议, 引进 Unimation 机器人^[53], 并对它做出改进, 在 1970 年实现国产化。从此日本进入了开发和应用机器人技术时期。20 世纪 70 年代, 日本的机器人技术反而赶超美国。从此, 日本的机器人技术取得了极大的成功与普及, 所以 1980 年被日本人称之为“日本的机器人元年”。20 世纪 80 年代初期, 工业机器人进入了普及阶段, 美国从日本进口的机器人占美国进口机器人总数的 78%。如今, 日本拥有的工业机器人的台数约是世界总台数的 65%, 而且其制造技术也处于领先地位。

我国已在“七五”计划中把机器人列为国家重点规划内容, 在沈阳创立了全国第一个机器人示范工程。十几年的时间里, 相继研制出可搬运、点焊、弧焊、喷漆等部门的工业机器人及水下作业、军用和特种机器人。目前我国研制的工业机器人已达到了工业应用水平。现在国家也更加重视机器人工业的发展, 也有越来越多的企业和科研人员投入到其的研究中^[5]。就我国国情而言, 我们应该加快对特种机器人的研究。

1.1.2 自动驾驶小车的国外发展现状

早期的典型代表是美国卡内基-梅隆大学机器人研究所研制的单轮滚动机器人 Gyrover^[21]。Gyrover 是一种陀螺稳定的单轮滚动机器人。它的行进方式是基于陀螺运动的基本原理, 具有很强的机动性和灵活性, 他们开发该机器人的目的是用于空间探索^[6]。英国巴斯大学的 Rhodri H. Armour 对单轮滚动机器人做了系统的总结性研究^[8]。他通过分析 11 种单轮滚动机器人, 总结出了 7 种单轮滚动机器人的

设计原理：弹性中心构件原理、车辆驱动原理、移动块原理、半球轮原理、陀螺仪平衡器原理、固定于质心轴上的配重块原理、移动于质心轴上的配重块原理^[21]。

坦福研究院(SKI)的 Nils Nilsson 和 Charles Rosen 等人, 在 1966 年至 1972 年中研制出名为 “Shakey” 的自主移动机器人^[7]。在这个时期, 由于欧洲公司已经对托盘的尺寸与结构进行了标准化使得欧洲的 AGV 技术发展较快, 统一尺寸的托盘促进 AGV 的发展。当时欧洲的主要制造厂家有 Schindler-Digitron, Wogner HJC, ACS, BT, CFC, FATA, Saxby, Denford 和 Blechert 等^[9]。欧洲等国家于 70 年代中期约装备了 520 个 AGV 系统, 共有 4800 台小车, 1985 年发展到一万台左右, 为美、欧、日之首。自动导航车在机械制造行业的应用为: 汽车工业占 57%, 柔性制造系统 FMS 中占 8% 和柔性装配系统 FAS 中占 4%。

1.1.3 自动导航车国内的发展现状

近年来, 国内 AGV 的应用也受到越来越多的重视, 由 “七五” 计划后在沈阳建立了第一个机器人研究示范工程后, AGV 的发展速度是很快的。2000 年以前主要有沈阳新松、云南昆船、北京起重机械研究所等几个生产厂家, 且没有成批生产^[10]。目前, 除上几家外, 安徽合力、上海新奥托、北京机科、吉大易飞、泊头中山、深圳日东电子、上海大福等厂家纷纷积极抢占国内市场。全国 AGV 不超过 60 套, AGV 不超过 400 台, 其中烟草和汽车行业应用最多, 已有 20 多家采用了 AGV, 其中绝大部分采用激光导引技术和电磁导引技术^[11]。虽然国内 AGV 还没有成批量生产, 但其发展趋势和发展前景是非常乐观的^[4]。

由于社会化大生产的需要, 自动化技术不断地被引进工业, AGV 呈现加速发展的趋势, 国内自动化立体仓库和自动化柔性装配线进入发展普及阶段。其中, 在自动仓库与生产车间之间, 各工位之间, 各段输送线之间, AGV 起了无可替代的作用, 与传统的传送辊道或传送带相比, AGV 输送路线具有施工简单、路径灵活, 不占用空间、较好的移动性、柔性等优点, 因而广泛的应用于制造业、仓储业、港口码头、食品化工、烟草、海底探险、焊接喷漆和其他危险作业等领域。海尔集团于 2000 年投产运行的开发区立体仓库中, 9 台 AGV 组成一个柔性的库内自动搬运

系统，成功的完成了每天23400间的出入库货物和零件的搬运任务^[10]。

有了这样的生产过程，就会得到稳定的高质量产品和井井有条的生产环境；工作人员会把精力放在人所擅长的方面。简练生产制，准时生产制，大规模定做制——这些现代化的生产哲学概念制造了对AGV的大量需求。这也正促使更多关于对AGV的研究。

1.1.4 自动驾驶车的应用

进入近代以后，人类社会出现了第一次工业革命。大批量生产的迫切需求推动了自动化技术的进展，自动驾驶车技术也被广泛的应用于机械、电子、纺织、卷烟、医疗、食品、造纸等行业的柔性搬运、传输等，也用于自动化立体仓库、柔性加工系统、柔性装配系统；同时可在车站、机场、邮局的物品分拣中作为运输工具，无人搬运是其最大的优点。

a 仓储业

仓储业具有降低运输和生产成本、调节供求的作用，装卸搬运是物流的功能要素之一，在物流系统中发生的频率很高，占据物流费用的重要部分。1954 年世界首台 AGV 车在美国的 South Carolina 州的 Barret Electronics 公司研究开发的 Mercury Motor Freight 公司仓库里投入使用，用于实现出入库货物的自动搬运^[15]。从 20 世纪 80 年代中期以后，57%的 AGV 应用于汽车制造业，在德国高达 64%，在国外，自动驾驶车、有轨搬运车、起重机、辊子输送机和悬挂运输机的使用比例分别占 41%、29%、9%、10 和 11%，可见 AGV 车在仓储业起着不可替代的作用。

b. 制造业

随着自动驾驶车问世以来，经过几十年的发展，AGV 车的技术的应用可谓与时俱进，尤其表现在制造生产线上，AGV 能够高效准确、灵活地完成物料的搬运任务，在搬运过程中还能和多台 AGV 车组成柔性的物流搬运系统，自动完成上料、搬运、下料的整个过程，其搬运路线十分灵活，可以根据生产工艺流程的调整及时调整。工业机器人可以无止无休的 24 小时连续作业，代替人们完成繁重的体力工作和枯燥的工作程序，从而提高了生产率，减少了运输使用的劳动力，降低了生产成本，为制造业创造了更大的利润。

当前，AGV 在制造业主要应用于汽车行业，如通用、丰田、天籁、大众等汽车厂的制造和装配线上都得到了广泛的应用。为了适应中小批量灵活生产和市场多

元化的需要，国内外对于柔性制造系统的重视和投资也越来越大，工业机器人是发展柔性制造系统不可缺少的单元。加速工业机器人在各行各业中的使用，特别是在机器制造业、汽车制造业中的广泛应用，是工业现代化和工业改革进程中的一项重要目标。

c. 图书馆、码头、机场

由于 AGV 智能化、自动化、柔性化等特点能够很好的满足图书馆、码头、机场等场合的运送存在着作业变化大、动态性强、作业流程需经常调整的特点，其也被广泛的应用与这些行业中。1983 年，瑞典在大斯德哥尔摩邮局开始使用 AGV，中国于 1990 年在上海邮政枢纽开始使用 AGV 已完成邮品的搬运工作^[16]。

d. 纺织、卷烟、医疗、食品

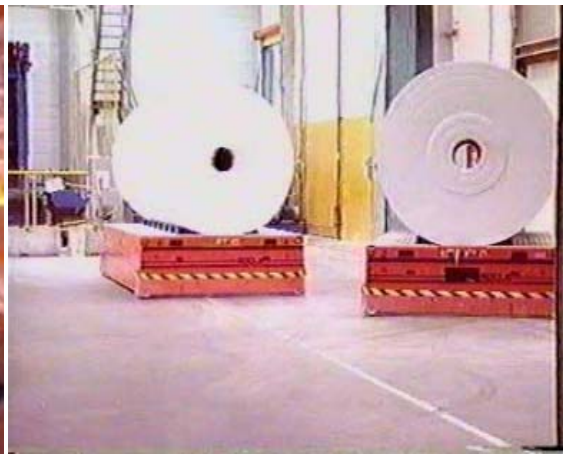
在一定的场合，如医疗、食品、纺织等行业，AGV 适合用于这些对生产条件有清洁、安全、无污染排放等要求的生产环境，托盘装货的作业在许多的工厂，都应用了 AGV 来完成。

e. 危险作业和特殊作业

AGV 具有无人搬运的优势，解决了人所不能适应的生产和工作环境，如：核材料、农药、有毒物品、易燃易爆物品、真空环境、高温寒冷环境及对宇宙、海洋、能源开发等环境。在军事上，以 AGV 的自动驾驶为基础集成其他探测和拆卸设备，可用于战场排雷和阵地侦察，英国军方研制的一辆侦察车，具有地雷探测、销毁及航路验证能力的能力^[13]。在胶卷和胶片仓库，AGV 可以在黑暗的环境中，准确可靠的运送物料和半成品^[14]。



(a) AGVs 用于仓储车间



(b) AGVs 用于造纸行业



(c) AGVs 用于汽车行业

图 1-2 AGVs 在各个行业中的应用

1.2 本课题研究的背景和意义

近年来，为扩大规模，减小成本，自动化技术在工业上层现加速发展的趋势，目前，很多厂家为了在有限的空间去创造更大的利润，为了使工人在单位时间内提高工作效率，为了投入成本的柔性化，他们纷纷的投入对 AGV 的使用，在汽车的总装车间，在内饰线上，后桥保险杠输送线上，在轮胎输送线上均用到自动导航系统。本文对 AGV 的研究就是基于东风股份有限公司的内饰生产线的项目改造在现有 AGV 技术下开展开来的。

过去，很多像东风股份有限公司一样的企业，他们投入大量资金于输送线的安装及输送机的购买上，传统的输送机造价高，再加上输送线不易更改，柔性比较差，当引入了 AGV 后，对于资金一次性的投入和传统的输送机相当，但是其工作原理的变化就只需修改程序就能解决，工作线体的更改只需修改线体就能达到目的，拥有 AGV 系统，就等于拥有了一条可以任意修改的输送机和输送线，这也是近些年来 AGV 为何热门的原因。从长远角度来看，AGVS 的引入不仅减少了成本，在一定的时间里，还提高了工人们劳动的效率，为企业创造了更大的利润。

1.2.1 影响 AGV 发展的关键技术

(1) 传感技术

传感器是一种能够将具有某种物理表现形式的信息转化为机体可以处理信息的器件，是将被测非电量信号转化为与之相应的电量输出的器件或装置，是 AGV 处理自己运行状态信息的主要手段。

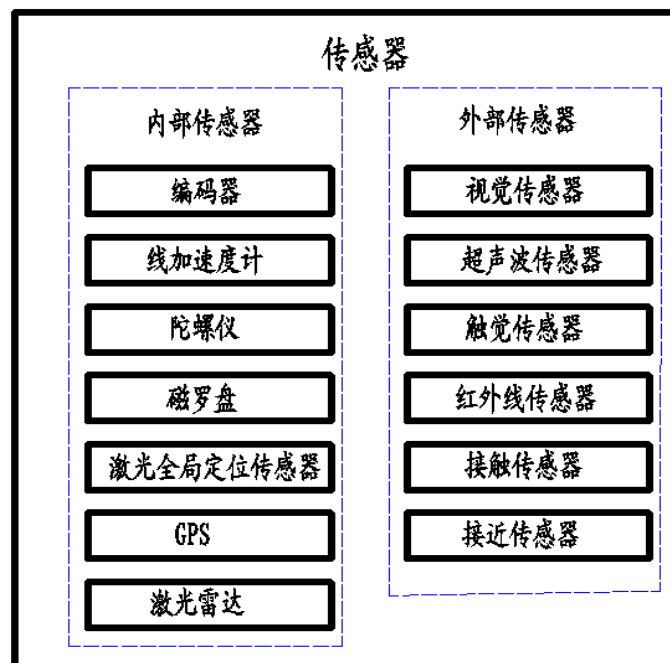


表 1 传感器的分类

根据所完成的任务的不同，配置的传感器类型和规格也不尽相同，传感器的分类如表 1 所示，内部信息传感器主要用来采集 AGV 的速度、加速度等来自 AGV 内部的信息；外部信息传感器用来采集 AGV 与外部环境及工作对象之间的信息

在实践的调试阶段，常常会遇到 AGV 的两个车之间发生追尾现象而影响整个进程的顺利进行，传感器的灵敏性与辐射范围对 AGV 有效的检测周围的障碍从而采取有效的措施有着非常重要的作用。本研究所汽车内饰生产线上采用了多种传感器，如：障碍物传感器主要起到检测前方是否有障碍物的作用，当遇到障碍物时，小车停止，直到障碍物消失，小车再次进入正常运行状态；导航传感器：用于测量 AGV 运行时沿导航线行走的误差，进而把误差传给控制系统，修正位置偏差；站点传感器：用以检测地表信号，进而控制车体的前进、后退、停止及是否打开障碍物传感器等的操作。

(2) 导航与定位技术

如果说驱动系统是 AGV 前进的源泉，那么导航与定位就是 AGV 的前进的方向。导航与定位是 AGV 研究的两个重要问题。

AGV 的导航方式可分为直接坐标导引、电磁导引、磁带导引、光学导引、激光导引、惯性导航、图象识别导引、GPS（全球定位系统）导航等。各导引方式的优缺点如表 2 所示：

序号	名称	优点	缺点
1	电磁导引	引线隐蔽, 不易污染和破损, 导引原理简单而可靠, 便于控制和通讯, 对声光无干扰, 制造成本较低	路径难以更改扩展, 对复杂路径的局限性大
2	磁带导引	灵活性比较好, 改变或扩充路径较容易, 磁带铺设简单易行	易受环路周围金属物质的干扰, 对磁带的机械损伤极为敏感
3	光学导引	灵活性比较好, 地面路线设置简单易行	对色带的污染和机械磨损十分敏感, 对环境要求过高, 导引可靠性较差, 且很难实现精确定位。
4	激光导引	AGV 定位精确; 地面无需其他定位设施; 行驶路径可灵活多变, 能够适合多种现场环境	目前我国还没有此项完整的民用技术。
5	惯性导航	技术先进, 定位准确性高, 灵活性强, 便于组合和兼容, 适用领域广	制造成本较高, 导引的精度和可靠性与陀螺仪的制造精度及使用寿命密切相关。
6	图象识别导引	导引的精确性和可靠性, 行驶的安全性, 智能化的记忆识别等都将更加完美。	
7	GPS (全球定位系统) 导航		精度取决于卫星在空中的固定精度和数量, 以及控制对象周围环境等因素, 造价比较高

表 2 导引方式的优缺点

定位就是利用移动机器人上车载传感器的感知信息估计机器人在给定环境中的位姿^[22]。确定 AGV 在二维工作环境中相对于全局坐标的位置, 它是 AGV 导航中最基本的环节。定位方法根据定位效果而言, 有相对定位和绝对定位之分; 根据定位时所依据的传感器信息类型分惯性定位、信标定位等^[23]。惯性定位独立性强, 但定位误差有累计效应, 需定期修正^[19]; 信标定位中常用的有激光定位和视觉定位等。激光定位就是根据发射激光的角度来确定物体与发射器的角度和发射出的激光信号来回的时间差来确

定物体与发射器的相对位置。

(3) 路径规划

路径规划是按照某一性能指标搜索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。AGV 的路径规划可分为基于环境信息完全已知的全局路径规划和基于传感器信息局部路径规划, 必须通过传感器在线获取。对于全局路径规划而言, 由于不同的工作空间建模方法的不同, 路径规划方法差别较大。同种建模方式, 也可采用不同的路径规划方法。用栅格法对机器人工作环境进行建模时, 路径搜索策略有: A* 算法、遗传算法等。局部路径规划的主要方法有: 人工势场法、遗传算法(GA)和模糊逻辑算法等 [11,54]。

(4) 多传感器信息融合方面的研究

人可以非常自然的运用信息融合的能力把来自人体的各种感官信息融合起来, 为了克服单一传感器定位不足, 为了提高定位精度, AGV 也常需配置多种传感器, 多传感器信息融合方面的研究始于 20 世纪 80 年代。多传感器融合的常用方法有加权平均法、贝叶斯估计、卡尔曼滤波、统计决策理论、D. S 证据推理、神经网络和模糊推理法以及带置信因子的产生式规则 [24]。

(5) 多机器人系统

随着机器人应用领域的不断拓展, 机器人工作环境复杂度及任务的加重, 对机器人的要求不再局限于单个机器人, 多机器人的研究已经成为机器人研究的一个热点。多机器人系统的研究分为多机器人合作(Multi. robot coordination)和多机器人协调(Multi. Robot cooperation)两大类, 主要研究给定一个多机器人系统任务后, 如何组织多个机器人去完成任务, 如何分解和分配任务以及如何保持机器人之间的运动协调一致。

1.3 研究课题的确定

1.3.1 课题研究的工业背景及实验条件

本课题的研究是结合湖北省机电研究设计院的重点研究项目《自动导航小车在内饰线与后桥输送线上的应用》展开的。该研究主要在差动式机器人方面进行深入研究，从结构的分析与设计、驱动系统电动机的性能参数与减速器的规格型号的确定和样机的加工等进行研究实践，尤其是在应用与乘用车的内饰输送线与后桥发动机输送线的研究，取得了突破性的进展。如图所示是本研究所自主研制和开发的 AGV 成品机。



图 1-3 用于汽车内饰线的 AGV

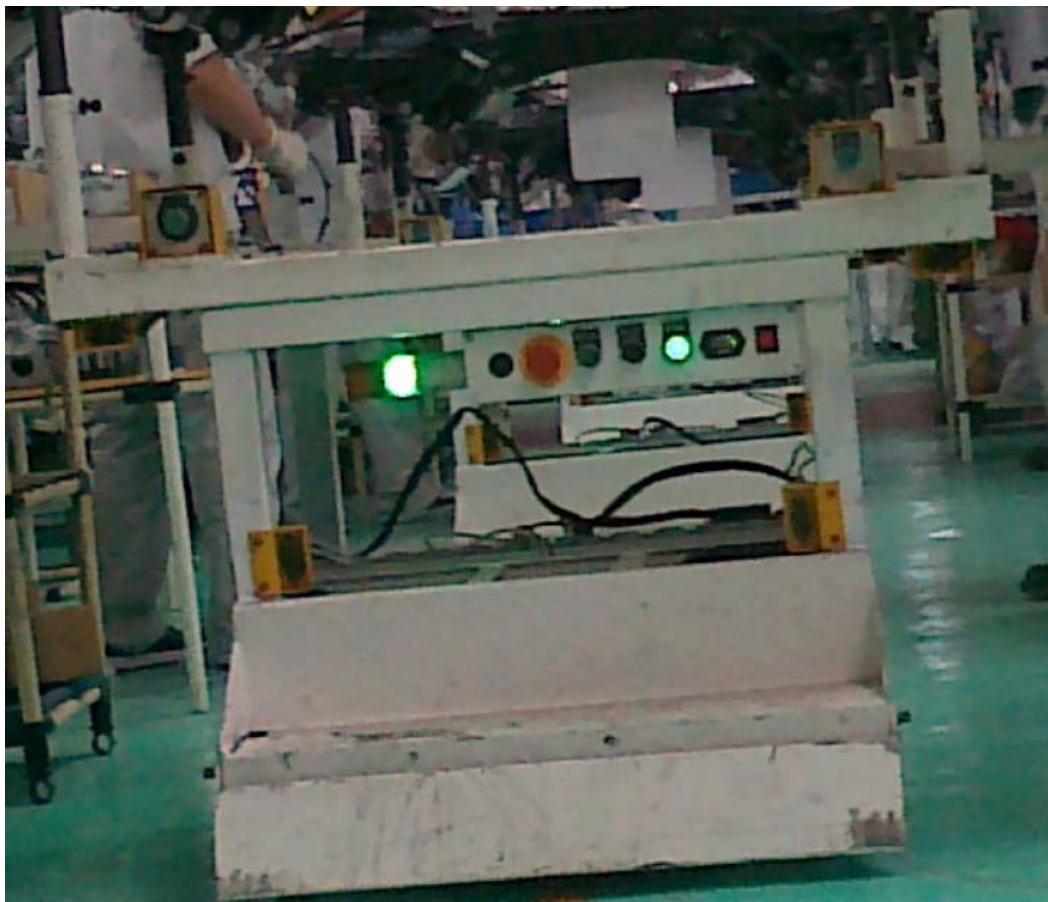


图 1-4 用于后桥分装线的 AGV

1.3.2 本课题研究的内容

自动导航车的输送路线具有施工简单、路径灵活、不占空间、较好的移动性、柔性等优点，能方便快捷的完成物料的运输，而受到众多企业的青睐，广泛应用于汽车制造业、仓储业、烟草、医药、食品、化工业邮局、图书馆、港口码头和机场，危险场所和特种行业等方面。在现实生活中，进一步提高 AGV 小车的驱动性能和导航精度是研究的重中之重。本文结合本研究所的研究成果，作出以下的研究：

一、驱动系统的分析

对差速转向式 AGV 进行运动学的分析和导向驱动轮的驱动原理分析，进一步细化了驱动的运动情况，为驱动系统的进一步研究打下了坚实基础

二、导航系统的分析

导航系统的不同导引方式的优缺点的重点分析，为日后在工程实践中对导引方式的

选择打下坚实的基础

三、小车运行途中如何有效避障

AGV 在现场的试运行阶段，由于传感器未调试到检测范围，通常会出现前后两车追尾的现象，AGV 能否自主定位和有效的避障是研究 AGV 系统的基础之一。

1.3.3 论文的主要内容与安排

论文的主要内容安排如下：

第 1 章 引言

本章主要介绍了 AGV 车的概念、国内外发展现状、课题研究背景及 AGV 车在不同领域的应用，重点介绍了导航方式的优缺点。

第 2 章 差速转向式 AGV 的运动学分析

本章主要介绍 AGV 的分类、AGV 的系统组成、AGV 的不同驱动方式的驱动原理、AGV 的行走机构、双轮差速驱动的运动学分析及导向驱动轮的运动学分析。

第 3 章 导航系统的研究

本章具体介绍了 AGV 车的分类、AGV 系统的组成，并对差分驱动和导向驱动平台的运动学模型进行了描述和建模分析。

第 4 章 自动避障方法的研究

本章主要通过对超声波避障方法和人工势场法进行描述和分析，对其原理有了初步的探讨。

第 5 章 全文总结与展望

对全文进行总结，论述论文的主要内容和结论，对课题的进一步研究作出展望。

1.4 本章小结

本章主要介绍了 AGV 车的概念、分类、国内外发展现状及 AGV 车在不同领域的应用，重点介绍了 AGV 的不同驱动方式的驱动原理与导航方式的优缺点，为进一步的课题研究打下了基础，文章最后指出了各章节所完成的主要内容。

第 2 章 差速转向式 AGV 的运动学分析

2.1 AGV 的分类

AGV的分法有很多种，其中按用途分类有以下几个方面：

- 1) 装配性：装配性的AGV适用于汽车装配柔性生产线等领域，如：内饰部件的安装、后桥发动机的安装，轮胎输送线的安装，主要用于搬运路线不长，小部件安装较多的场合，起到运输装配的作用，
- 2) 搬运型：广泛应用于机械、电子、家电、印刷、纺织、食品、卷烟厂及运输码头等行业的仓储物流系统，减少了劳动力，降低成本，提高了效率。
- 3) 叉车型：叉车式AGV主要完成不同高度的货物的装卸和运输，如造纸业等，让人们减少了参与枯燥乏味的工作的机会。

2.2 自动导航车的系统组成

自动导航小车由车载控制系统、驱动系统、导航系统、供电系统及安全系统等组成。AGV 小车拥有电动车辆的结构特征，车体包括底盘、车架、壳体、防撞杆等。

- (1) 载控制系统：主要由控制计算机、导航系统、通讯系统及操作面板构成，它是 AGV 的核心部分。其中硬件有传感装置、控制装置等组成。

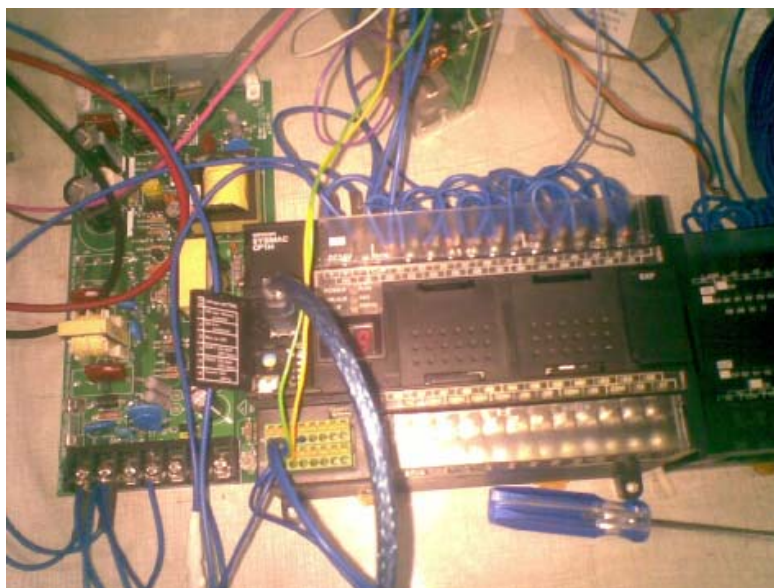


图 2-1 电路板

(2)驱动系统：AGV 的驱动系统中的驱动器是 AGV 的动力源泉。驱动器把从动力源获得的能量变换成驱动轮的机械能，从而驱动辅助轮，使整个 AGVS 运动起来。常见的驱动器有步进电机驱动器、直流点电机驱动器、交流电机驱动器、液压驱动器、气压驱动器等，近年来还出现了一些特殊的新型驱动器。



图 2-2 驱动系统

(3)导航系统：根据导航方式不同，可以分为电磁导引、磁带导引、光学导引、激光导引、惯性导航、图象识别导引、GPS（全球定位系统）导航等导航方式。通过各传感器确定 AGV 自身位置，使 AGV 按照预先制定好的路径行走。

电磁导引：是一种比较传统的导引方式，在很多系统中都有使用，如图 3-1 所示，它是在 AGV 的行驶路径上埋设金属线，并在金属线上加载导引频率，通过对导引频率的识别来实现 AGV 的导引。

磁带导引：与电磁导引相近，就是在预期的工作路径上贴磁带，通过磁导航传感器感应磁条的磁性并采用各采样点输出的信号，进而纠正 AGV 的行驶方向来达到引导 AGV 运行的目的。

光学导引：就是通过在 AGV 的行驶路径上涂漆或粘贴色带的方式，通过对摄像机采入的色带图象信号进行简单处理而实现的导引。

激光导引：激光导引是在 AGV 行驶路径的周围安装位置精确的激光反射板，如图 3-3 所示，AGV 通过发射激光束和采集到的反射板反射的激光束，来确定其当前的位置和方向，并通过连续的三角几何运算来实现 AGV 的导引。

惯性导航：惯性导航是一种不依赖任何外部信息的自主式导航，它是在 AGV 上安装陀螺仪，在行驶区域的地面上安装定位块，AGV 可通过对陀螺仪偏差信号的计算及地面定位块信号的采集来确定自身的位置和方向，从而实现导引。

图象识别导引：对 AGV 行驶区域的环境进行图象识别，实现智能行驶，这是一种具有巨大潜力的导引技术，此项技术已被少数国家的军方采用，将其应用到 AGV 上还只停留在研究中，目前还未出现采用此类技术的实用型 AGV。

GPS（全球定位系统）导航：通过卫星对非固定路面系统中的控制对象进行跟踪和制导，目前此项技术还在发展和完善，通常用于室外远距离的跟踪和制导，其精度取决于卫星在空中的固定精度和数量，以及控制对象周围环境等因素。

(4)供电系统：

a) AGV 的供电系统分为非智能化的充电模式和智能化控制充电功能。智能化的充电模式是指当小车的电池容量消耗到一定程度的时候 AGV 会自动发出请求信息。系统接收到信息将及时安排 AGV 到充电站去进行充电。当任务还未完成时，遵循任务优先原则，在完成的任务后前往充电站充电。如果没有空闲的充电站，AGV 会排队等待，此时车辆不会接受新的任务，充电完毕，AGV 车接受新的任务进入到任务的正常运作之中。非智能化的充电模式是指当 AGV 的电量消耗到一定的程度时，会通过指示灯告诉现场人员电量不足，由工作人员把 AGV 推到充电站充电。

b) 系统通过AGV发出的信号更新充电站的信息,控制AGV停在指定充电站的位置,通过与断路器配套使用的隔离开关的吸合触发充电。充电完成后,系统发出信号指挥小车断开隔离开关,投入到工作中,整个过程完全自动化。

(5)安全系统:大部分的AGV车前侧或左右两侧装有防撞保险杠。保险杠内的传感器与急停按钮串联起来保证AGV在运行期间与其它物体发生碰撞时的快速停车。当发生碰撞时或AGV在非正常状态下停车时AGV车体的报警显示灯闪烁,显示器将显示停车原因:紧急停止。发生碰撞后,将碰撞物体移开后,按复位按钮后可恢复运行。

2.3 AGV 的行走机构

早期的AGV只能完成单方向的运行,这种AGV的实用性受到限制。随着社会对AGV需求的不断增加,AGV应用的场合也在不断的增加,AGV技术的研究也在不断地提升,现在的AGV能完成前进、后退、停止等运行方式。

(1) 两轮差速的行走机构

两轮差速的行走机构结构简单,工作可靠,成本低。在自动运行状态下小车能做前进、后退行驶并能通过控制两侧驱动轮的转速来控制车体的转弯,机动性比较好。

(2) 三轮行走机构

三轮行走机构源于三轮车的研究,普通的家用三轮车通过改装就可一变成一个电动三轮车,在使用过程中比两轮电动车更使用。三轮机构的AGV小车结构简单,控制容易,工作可靠,造价低。该车手动时可前进、后退和转弯,自动运行时只能单向行驶,转弯时后轮中点轨迹偏离导引线,即通常所说的由于速度过快引起的打漂。

(3) 带舵轮的四轮行走机构

带舵轮的四轮行走机构是在三轮行走机构基础上演变过来的,通过控制驱动轮的驱动方向来控制AGV小车在自动运行状态下的全方位行驶,转弯时前后车轮均能跟踪导引线轨迹,机动性比三轮车好,适用于狭窄通道的作业环境。

2.4 驱动系统的研究

机械结构是AGV的本体,也是AGV实现预定功能的基础。机械结构不但决定了其能否实现其预定的运动功能,同时也在某种程度上影响了AGV的控制性能。具体来讲,AGV的总体结构如图2-3所示:

1—安全防撞机械挡板 2—控制箱 3—驱动轮 4—电瓶 5—安全传感器 6—控制面板 7—牵引板 8—光电开关 9—无线网卡 10—站点传感器 11—辅助支撑定向轮 12—辅助支撑万向轮 13—导向磁条

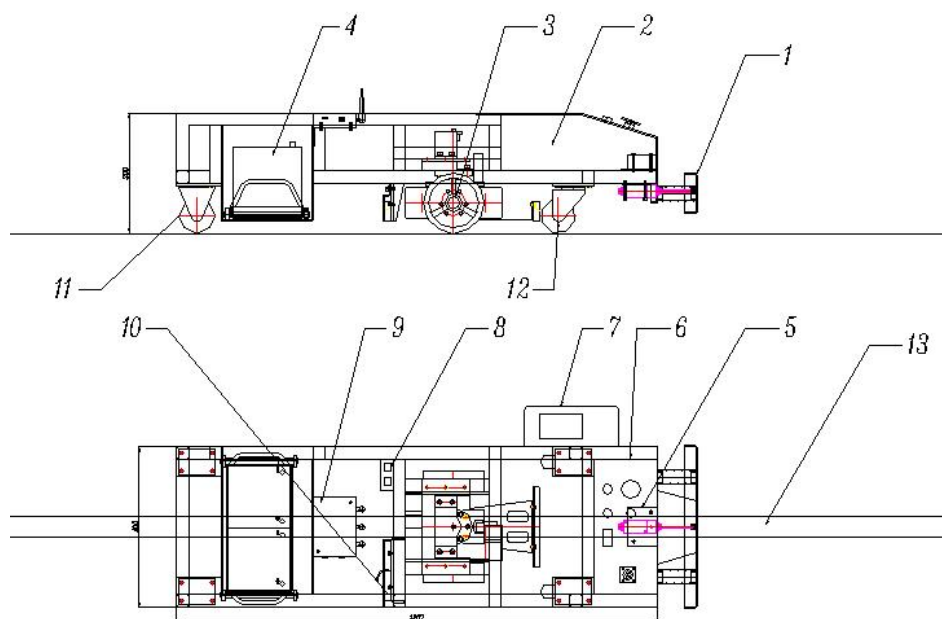


图 2-3 AGV 的总体结构

2.4.1 驱动方式的分类

驱动系统是 AGV 行驶的执行机构，它按照控制系统的输出信息来控制电机及执行机构，从而完成行走和转向功能。

AGV 的驱动系统可分为传统驱动转向系统（即非全方位驱动转向系统）和全方位驱动转向机系统。只能完成车体的定位定向的运动，并且位置和方向还受行驶路径的限制，这样的系统是传统的驱动转向系统。反之，能实现平面上不同方向的运动和车体姿态的控制的系统，这样的系统称为全方位驱动转向机构。

由于地面的性质和 AGV 的承载要求，在不同的场合，使用的 AGV 的车轮形状或结构也不同。一般地，实心钢轮用于轨道上行驶，充气轮胎用于室外路面的行驶，实心轮用于室内平坦的地面上。在特殊要求情况下，还可以采用全方位的移动轮构建能向任意方向移动的机器人平台。轮式移动机器人领域应用最为广泛，这是因为其控制简单，运动

消耗能量低，并且，相比履带式和腿足式而言，其移动速度快，反应灵敏。

在驱动方式上，轮式移动机构大体上可以分为两种：

- a) 导航驱动式：该驱动方式是指 AGV 的运动方向和运动速度由不同的轮子和驱动器进行控制，即：驱动与导航是由不同的轮子来完成的。
- b) 差分驱动式：采用相同的轮子和驱动器实现 AGV 车运动速度和运动方向的控制，通过有比例地控制每个轮子的旋转速度来实现运动方向的改变。

2.4.2 传统驱动转向系统

传统的驱动转向系统根据车轮的数量来分有以下几种：

1) 独轮机构

在杂技团，你可以看到表演者骑着只有一个轮子而无车把的车，他们在车上平稳的给我们表演很多节目，大家纷纷在台下为表演者的能灵活自如的控制单轮车而鼓掌喝彩。这种车就是我们所说的单轮车。而独轮机构的移动正是由这种单轮车完成的，由于该机构的平稳性和可靠性较差，平衡控制问题难度较大，它在实际应用中应用较小，一般都需要加辅助轮来控制其平稳性，故其运动只能是在一些地面平稳宽敞的地方进行。虽然如此，但国内外还是有很多关于其机构设计和控制方面的研究。独轮机构的主要运行原理是采用陀螺仪等传感器来感知车体的姿态，将其反馈至控制系统，并通过控制陀螺仪的加速减速过程的反力矩实现车体的姿态平衡问题。

2) 双轮机构

双轮移动机构同独轮机构相似，同样，稳定性问题是影响其得到广泛应用的主要障碍。其中之一的实现方式如图 2-4 所示：

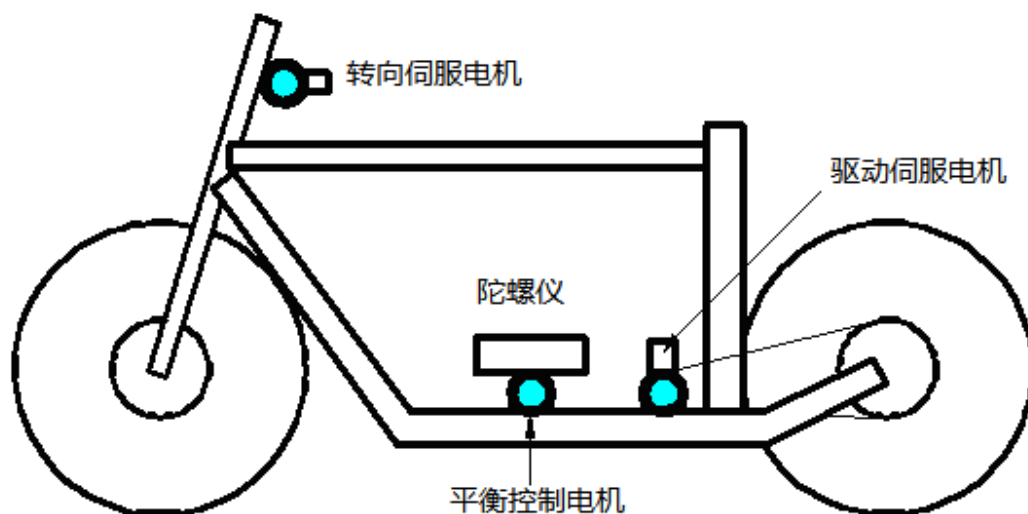


图 2-4 双轮移动机构

该结构主要参考自行车、电动车或者摩托车为模型。两轮前后放置，用驱动电机给后轮提供运动动力、平衡控制机来控制车体的平衡、转向伺服电机控制前轮从而控制车体的运动方向。用平衡伺服控制器来控制车体的稳定，电机和陀螺仪等传感器是该控制器的主要组成部分，它是利用将与车体倾斜角度成比例的力矩作用在轴系上的原理来控制车体的平衡。

3) 三轮机构

如图 2-5 所示的三轮车型：通过前面的驱动轮实现车体转向和运动速度的改变，两个固定从动轮分布在车体轴线的两边起减震、辅助支撑的作用，无导向力。这种车型可以前进、后退、转角小于 90° 的左右转弯。因三轮结构的抓地性好，对地表面要求一般，适用于广泛的环境和场合。

4) 四轮机构

四轮车型是由两个驱动兼转向轮的作用，两个从动自由轮，实现车型的前进、后退、全方位（万向）行驶的目的。图（a）中前面的万向轮实现车体的转向，两个驱动电机分别控制两个从动轮的速度，即：前轮起着驱动和转向的作用，从而实现车体的拐弯，后面两个是辅助轮，其支撑车体的作用。如图 2-6（b）所示，电机为驱动轮提供运动的动力，驱动和转向是由两个驱动轮来完成的，车子的速度由驱动轮控制。图（c）中车体的驱动导向轮相对于车体的导向一致时，车体可作平动。可以在行驶过程中控制车身姿态的多角度变化是双驱动系统的突出特点，该机构适用于狭窄通道或对作业方向有特别要求的环境和场合。缺点和差速驱动的四轮车型类似，对地表面平整度要求苛刻，适用范围受到一定限制，结构复杂，成本较高。

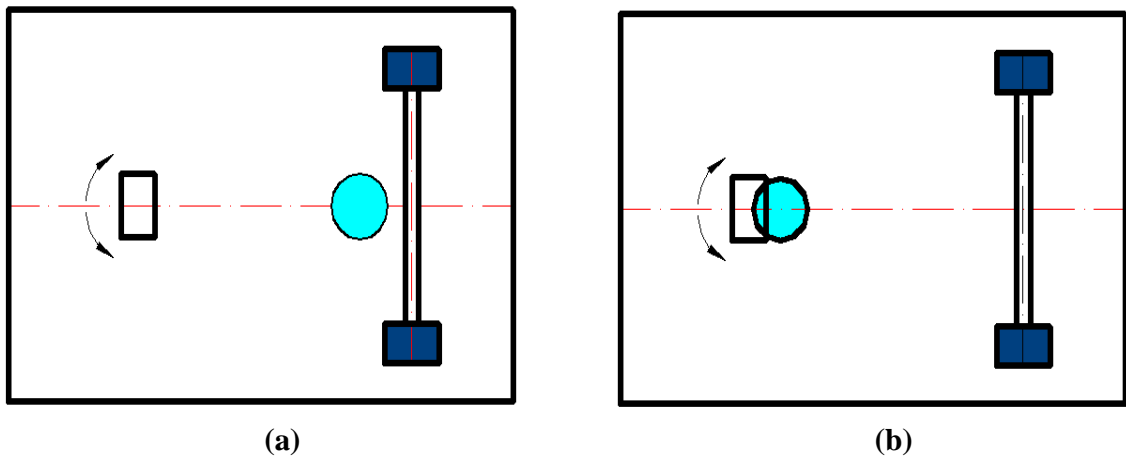


图 2-5 单驱动的移动机器人

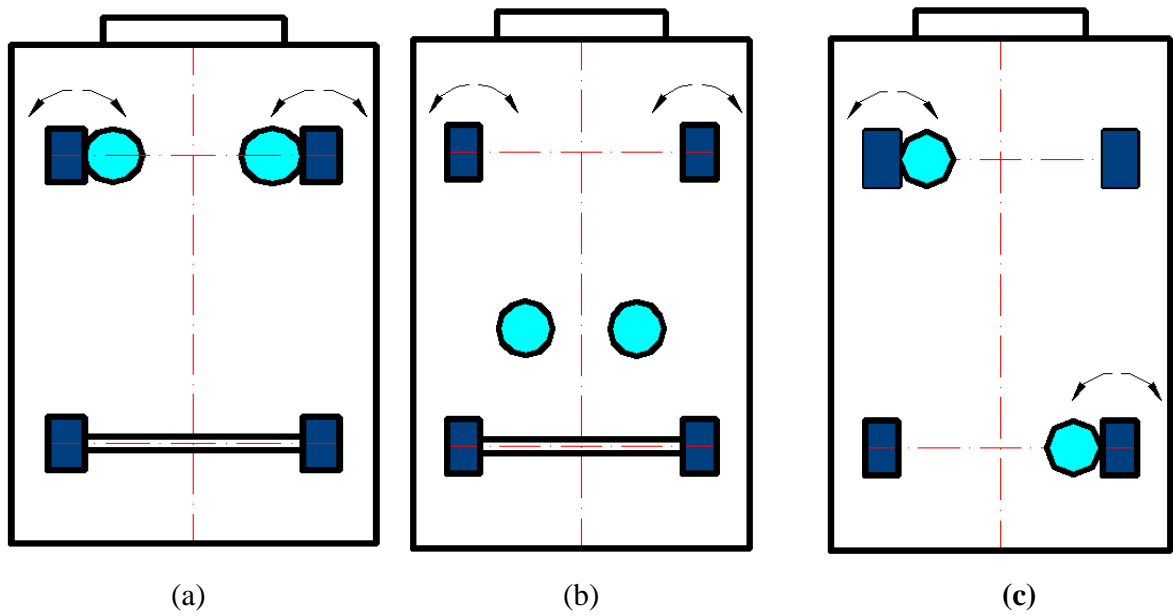






图 2-6 双驱动机器人

注明：图中  为驱动电机， 为随动轮组， 为万向轮， 为万向驱动

2.5 驱动系统的分析计算

驱动电源、直流电机和减速器构成了 AGV 的驱动系统。以下为行走阻力的分析：

如图 2-7 所示：自动导向小车在匀速运动时由力学的平衡原理对机构进行受

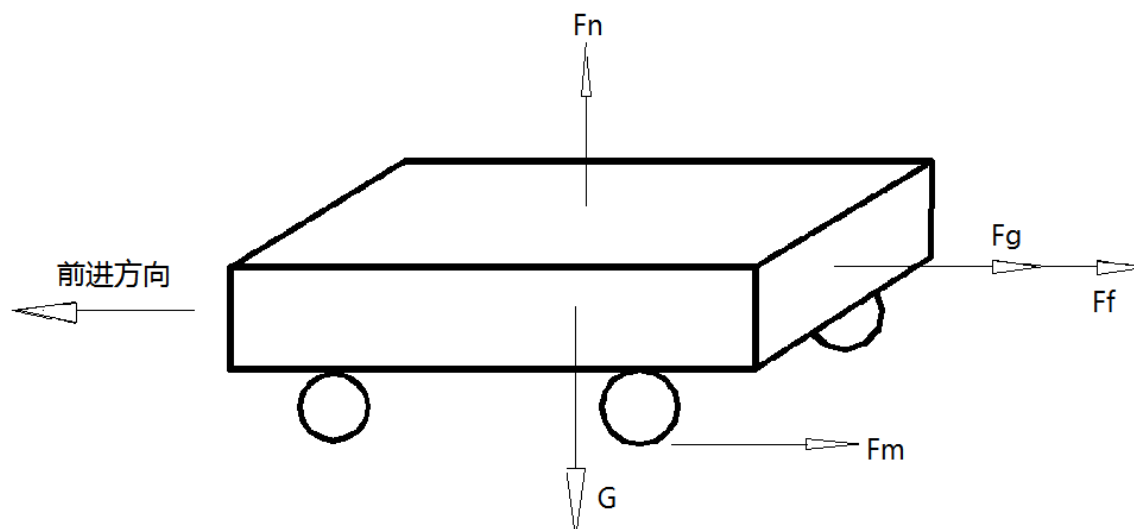


图 2-7 小车行走过程中的受力分析图

力分析，在竖直方向，车体仅受到车体自身的重力 G 和大地对车的压力 F_n ，在车体运行的方向，车体受到来自地面的摩擦力 F_m 和风的阻力 F_f ，当车作加速度行驶时，车体还受到惯性力 F_g ，则得到力的平衡方程：

$$F = F_m + F_f + F_g$$

其中 F 为车体所受的总推力。

1) 摩擦阻力 F_m

摩擦阻力由车轮轴承阻力和车轮与道路之间的滚动摩擦阻力两部分组成。

车轮轴承阻力 F_1 ：

$$F_1 = P \frac{\mu d / 2}{D / 2} = P \frac{\mu d}{D}$$

式中： P 为车轮所受的轮压，整车重量为 250N，四轮承载，故 $P=62.5\text{N}$ ； D 为车轮直径， $D=80\text{mm}$ ； d 为车轮轴颈直径， $d=8\text{mm}$ ； μ 为车轮轴承摩擦系数，滚动轴承 $\mu=0.015$ 。

则有：

$$F_1 = 62.5 \times \frac{0.015 \times 8}{80} = 0.09375N$$

设车轮与道路之间的滚动摩擦阻力为 W_2 ；不考虑其他因素，可得到：

$$F_2 = Qf$$

式中： Q 为车轮载荷，因车轮为硬质材质，去 $Q=P=62.5N$ ； f 为路面阻力系数，

参照混凝土地面，取 $f=0.015$ ；

则有：

$$F_2 = Qf = 62.5 \times 0.015 = 0.9375N$$

所以：

$$F_m = F_1 + F_2 = 0.09375 + 0.9375 + 0 = 1.03125N$$

2) 风阻力 F_f

我们生产的 AGV 车大多用于室内，此时风阻力 $F_f=0$ ，当 AGV 车工作与室外时就需要考虑风的阻力，流线型结构的风阻力计算：

$$F_f = S_g C_d A V^2$$

式中： A 为车辆垂直运动方向的最大截面积，以车体高度和宽度的乘积计算，忽略车辆下缘与地面的空隙， $A=0.4 \times 0.25=0.1m^2$ ， V 为风速，室内工作基本没有风，所以 V 去车速，则得到 $V = \pi D n = \pi \times 0.08 \times 200 / 60 m/s = 0.8378m/s$

S_g 为风的比重，取值为 $0.0007kg/m^3$ ， C_d 为风阻力系数，取值为：1.4

则得到风的阻力为：

$$F_f = S_g C_d A V^2 = 0.0007 \times 1.4 \times 0.1 \times 0.8378 \times 0.8378 = 6.88 \times 10^{-3}N$$

3) 惯性阻力

AGV 在加速行驶的过程中，需要克服其质量加速运动时的惯性力，即加速阻力 F_m 。设 AGV 从原地起步经过的位移 $S=1m$ 时，其车速达到 $V_t=1.1m/s$ ，

则 AGV 的加速度为：

$$a = \frac{V_t^2 - V_0^2}{2S} = 0.605m/s^2$$

故加速阻力即惯性力为：

$$F=ma=25*0.605=15.125\text{N}$$

所以车体所受的总推力为： $F = F_m + F_f + F_g = 16.15625\text{N}$

2.6 双轮差速驱动的研究

本研究院根据客户的需求，研究的自动导航小车现主要应用与汽车内饰输送线和后桥发动机输送线上，该车的驱动原理是：由电磁给驱动电机提供电源，驱动电机的运动产生的驱动力带动整个车体机构运行起来，当车体运行至转弯处时，由减速器控制左右车轮的速度进而达到控制车体向左、向右转弯的目的。

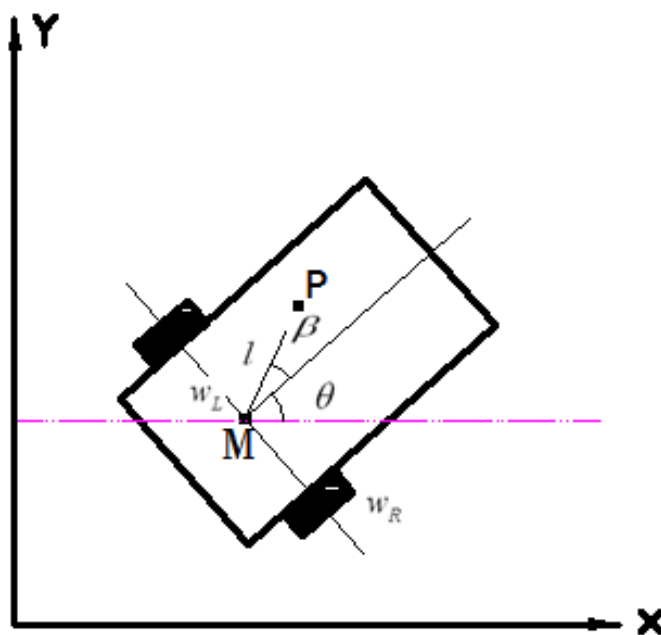


图2-8 导向驱动平台广义坐标

2.6.1 双轮差速驱动的运动学分析

双轮差分驱动方式的机器人移动平台如图所示。对于该平台做出如下假设：

- (1) 平台具有刚性的外壳，且两个轮子不变形；
- (2) 轮面与接触面垂直并保持点接触，忽略所有轮厚度对平台的运动影响；

- (3) 轮子与接触免检不发生与轴向平行的华东，而发生绕轮轴方向的纯滚动；
- (4) 平台在二维平面内运动；
- (5) 两个驱动轮具有相同的尺寸，且两轮轴心连线同平台的前后运动方向相垂直。

移动平台的位姿可由广义坐标向量 $q=[x^\theta, y^\theta, \theta]^T$ 表示，其中 (x^p, y^p) 为平台参考点 P 在二维平面内的投影坐标， θ 为平台的航向角，即平台前进方向同坐标系 X 轴之间的夹角，两驱动轮之间的轴向间距为 d ，驱动轮半径为 r ，轴间连线的中心点为 M，其坐标为 (x_M, y_M) ；参考点 P 同 M 之间的距离为 l ，直线 $|PM|$ 同平台中轴线之间的夹角为 β ，两轮的旋转速度为 w_L 和 w_R ，由图可得：

$$\begin{cases} x_p = x_M + l \cos(\theta + \beta) \\ y_p = y_M + l \sin(\theta + \beta) \end{cases}$$

对上面两个方程的左右两端分别对时间 t 求导得：

$$\begin{cases} \dot{x}_p = \dot{x}_M - l \dot{\theta} \sin(\theta + \beta) \\ \dot{y}_p = \dot{y}_M + l \dot{\theta} \cos(\theta + \beta) \end{cases} \quad (1)$$

对于图所示的平台，可将两个驱动轮简化为居于轴连线中点 M 处的单个驱动轮，则该虚拟单轮系统所受非完整约束为

$$\dot{x}_M \sin \theta - \dot{y}_M \cos \theta = 0 \quad (2)$$

结合(1)和(2)可得： $\dot{x}_p \sin \theta - \dot{y}_p \cos \theta + l \dot{\theta} \cos \beta$

$$\text{即：} [\sin \theta, -\cos \theta, l \cos \beta] [\dot{x}_p, \dot{y}_p, \dot{\theta}]^T = 0 \quad (3)$$

该式即为利用参考点 P 的坐标和航向角 θ 作为广义坐标对系统进行描述下的非完整运动约束方程。

再由左右两轮的旋转速度分别为 w_L 和 w_R ，则得到以下关系：

$$\begin{cases} \dot{x}_M = \frac{1}{2}(rw_L + rw_R)\cos\theta \\ \dot{y}_M = \frac{1}{2}(rw_L + rw_R)\sin\theta \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{再由 } \dot{\theta} = \frac{rw_R - rw_L}{d} \quad (5)$$

由①④⑤，可得

$$\begin{cases} \dot{x}_p = [\frac{1}{2}\cos\theta + \frac{rl}{d}\sin(\theta + \beta)]w_L + [\frac{r}{2}\cos\theta - \frac{rl}{d}\sin(\theta + \beta)]w_R \\ \dot{y}_p = [\frac{1}{2}\sin\theta - \frac{rl}{d}\cos(\theta + \beta)]w_L + [\frac{r}{2}\sin\theta + \frac{rl}{d}\cos(\theta + \beta)]w_R \\ \dot{\theta} = \frac{r}{d}w_R - \frac{r}{d}w_L \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{即: } \begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{y}_p \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2}\cos\theta + \frac{rl}{d}\sin(\theta + \beta) & \frac{r}{2}\cos\theta - \frac{rl}{d}\sin(\theta + \beta) \\ \frac{r}{2}\sin\theta - \frac{rl}{d}\cos(\theta + \beta) & \frac{r}{2}\sin\theta + \frac{rl}{d}\cos(\theta + \beta) \\ -\frac{r}{d} & \frac{r}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_L \\ w_R \end{bmatrix} \quad (7)$$

当P为M点时，上述方程简化为：

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{y}_p \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2}\cos\theta & \frac{r}{2}\cos\theta \\ \frac{r}{2}\sin\theta & \frac{r}{2}\sin\theta \\ -\frac{r}{d} & \frac{r}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_L \\ w_R \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\text{及 } \dot{x}_M \sin\theta - \dot{y}_M \cos\theta = 0 \quad (9)$$

由上述运动学模型可知，移动平台的广义坐标向量有三个分量： x 、 y 和 θ ，而平台的控制分量只有两个驱动轮的旋转角速度 w_L 和 w_R 。平台在运动过程中，约束方程始终满足，这意味着平台运动的瞬时速度方向和平台朝向完全相同。平台方向的改变只能通过两个轮子之间的速度差值实现，而平台的运动轨迹则是由一系列绕瞬时圆心旋转的小段圆弧组成。该系统的可控制性可借助于类似于单轮系统的方程得以证明。

转弯半径R的计算

由式(4)和(5)可知，M点的线速度和角速度分别为：

$$v_M = \sqrt{\dot{x}_M^2 + \dot{y}_M^2} = \frac{1}{2}(w_R + w_L) \quad (10)$$

$$w_M = \dot{\theta} = \frac{r}{d}(w_R - w_L) \quad (11)$$

因为 $v_M = w_M R$, 可得平台M点处的转弯半径:

$$R = \frac{v_M}{w_M} = \frac{d}{2} \left| \frac{w_R + w_L}{w_R - w_L} \right| \quad (12)$$

由12式可以看出: 当 $w_L = w_R$ 时, 旋转角速度 $\dot{\theta} = 0$, 转弯半径为无穷大, 平台做前后方向上的直线运动; 当 w_L 和 w_R 时, 转弯半径等于0, 平台围绕M点做原地旋转运动。转弯半径可以从0到无穷大变化, 这是双轮独立驱动的一个显著特点。

2.6.2 导向驱动轮运动学的研究

导向驱动轮式平台的运动是通过同时对导向轮和驱动轮进行控制实现的。导向轮通常安放在平台前端, 用以控制平台的运动方向。它的原理可以简化为处于前端中间未知的单轮导向方式, 如图2-4所示, 平台前侧中间的虚线轮所示。驱动轮提供平台运动所需的动力, 既可以安放在平台后端, 也可以安放在平台前端, 使前端轮成为同时具有导向和驱动功能的复合轮。

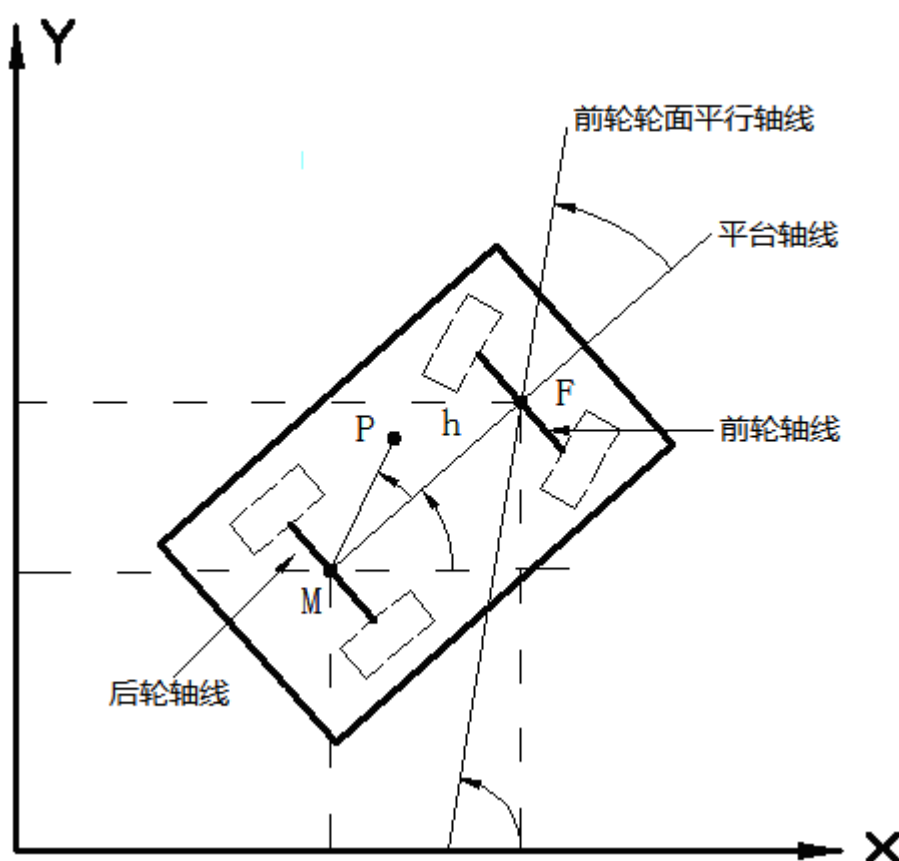


图2-9 导向驱动平台广义坐标

1) 后轮驱动

假设沿平台中轴线方向上驱动速度为 v_d ，导向轮的旋转角速度为 w_g ，则根据上图所示的几何关系，有下式成立：

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \frac{v_d \tan \phi}{h} \\ \dot{\phi} = w_g \end{cases} \quad (1)$$

由于采用后轮驱动， \dot{x}_M, \dot{y}_M 可以确定为：

$$\begin{cases} \dot{x}_M = v_d \cos \theta \\ \dot{y}_M = v_d \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

根据式①与②，可得：

$$\dot{x}_P = v_d \cos \theta - l \dot{\theta} \sin(\theta + \beta) = [\cos \theta - \frac{l}{h} \tan \phi \sin(\theta + \beta)] v_d \quad (3)$$

$$\dot{y}_p = v_d \sin \theta + l \dot{\theta} \cos(\theta + \beta) = [\sin \theta + \frac{l}{h} \tan \phi \cos(\theta + \beta)] v_d \quad (4)$$

因此，平台以任意点P为参考点的运动学模型可最终确定为：

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{y}_p \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta - \frac{l}{h} \tan \phi \sin(\theta + \beta) \\ \sin \theta + \frac{l}{h} \tan \phi \cos(\theta + \beta) \\ \tan \phi / h \\ 0 \end{bmatrix} v_d + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} w_g \quad (5)$$

如果参考点选为M，则可简化为

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \\ \tan \phi / h \\ 0 \end{bmatrix} v_d + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} w_g \quad (6)$$

式中， v_d 和 w_g 为系统输入的驱动速度和导向角速度。在式(5)和式(6)中，如果

$\phi = \pm \frac{\pi}{2}$ ，则方程中的第一个矢量场不连续，从而成为系统的一组奇异点。此时，

前轮轴线和平台中轴线互相垂直，导致平台运行出现“自我堵转”的现象。在现实中，导向角度经常受到机构本身结构的限制，并且本身能够独立控制，故这些奇异点对系统的整体性能影响不大。

2) 前轮驱动

如图 所示，如果前轮同时具有导向和驱动两种控制输入，则驱动速度 v_d 的方向

始终处于前轮的轮面平行轴线上。故平台的航向角速度 $\dot{\theta}$ 和导向角速度 $\dot{\phi}$ 可分别确定为：

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \frac{v_d \sin \phi}{h} \\ \dot{\phi} = w_g \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{又} \begin{cases} \dot{x}_M = v_d \cos \phi \cos \theta \\ \dot{y}_M = v_d \cos \phi \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

由此可以计算出P点的各速度分量分别为：

$$\dot{x}_p = v_d \cos \phi \cos \theta - l \dot{\theta} \sin(\theta + \beta) = [\cos \phi \cos \theta - \frac{1}{h} \sin \phi \sin(\theta + \beta)] v_d \quad (3)$$

$$\dot{y}_p = v_d \cos \phi \sin \theta + l \dot{\theta} \cos(\theta + \beta) = [\cos \phi \sin \theta + \frac{l}{h} \sin \phi \cos(\theta + \beta)] v_d \quad (4)$$

结合式(1)(3)(4)，可得出系统以P为参考点的运动学模型为

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{y}_p \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta - \frac{1}{h} \sin \phi \sin(\theta + \beta) \\ \cos \phi \sin \theta + \frac{l}{h} \sin \phi \cos(\theta + \beta) \\ \sin \phi / h \\ 0 \end{bmatrix} v_d + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} w_g \quad (5)$$

若选择M点为参考点，则上游模型可简化为：

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta \\ \cos \phi \sin \theta \\ \sin \phi / h \\ 0 \end{bmatrix} v_d + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} w_g \quad (6)$$

由(6)式可以看出，后驱动轮中所出现的奇异点在前驱动方式中不复存在，在实际

情况中，当 $\phi = \pm \frac{\pi}{2}$ 时，M点的速度分量为0，平台将以该点进行原地旋转操作。

2.7 本章小结

本章具体介绍了AGV车的分类、AGV系统的组成，并对差分驱动和导向驱动平台的运动学模型进行了描述和建模分析，分析了在不同情况下系统的运动状态，同时也对驱动轮的不同驱动形式作出分析，从而为移动平台的运动控制提供了理论依据。

第 3 章 导航和定位的研究

导航系统AGVS的基本组成之一。近年来AGV导引技术取得了很大的发展。

3.1 导引方式

导航系统对于 AGV 车有效的定位与导航有着重要的作用，导航系统的导引方式分为两大类：车外预定路径的导引方式和非预定路径的导引方式^[30]。

车外预定路径的导引方式是指：在行驶的路径上设置导引的信息媒介物，AGV 通过时检测出它的信息而得到导向的导引方式，如电磁导引、磁带导引、光学导引。

非预定路径(自由路径)导引方式其一是指：在 AGV 上储存着布局上的尺寸坐标，通过识别车体当前方位来自主地决定行驶路径的导引方式；其二是：激光导引。

AGV 导引技术的研究十分活跃，具体体现为：

- ① 路径的设定更加灵活机动；
- ② 路径变更简单易行；
- ③ 提高对路面或环境变化的适应能力；
- ④ 精确地实时检测位置和方位值，提高引导性能；
- ⑤ 赋予感知和回避障碍的性能(智能)；
- ⑥ 具有人机对话功能；
- ⑦ 更强的信息通信功能；
- ⑧ 系统尽量不依赖于中央计算机；
- ⑨ 多辆 AGV 协调工作^[31]。

为此，需要解决好以下几项关键技术：

- ① 高精度且廉价的位置、方向检测手段。
- ② 信息通信手段。
- ③ 图像处理 and 图像识别技术以及自动转换器的实用化。
- ④ 系统总体技术(特别是多辆 AGV 群控技术)。

3.2 预定路径方式

3.2.1 车外连续标记

(1) 电磁导引

这是目前 AGV 采用最广泛的一种导引方式(见图 3-1)。它需要在地面开槽,埋设电缆,接通低压、低频信号,在电线周围产生磁场。

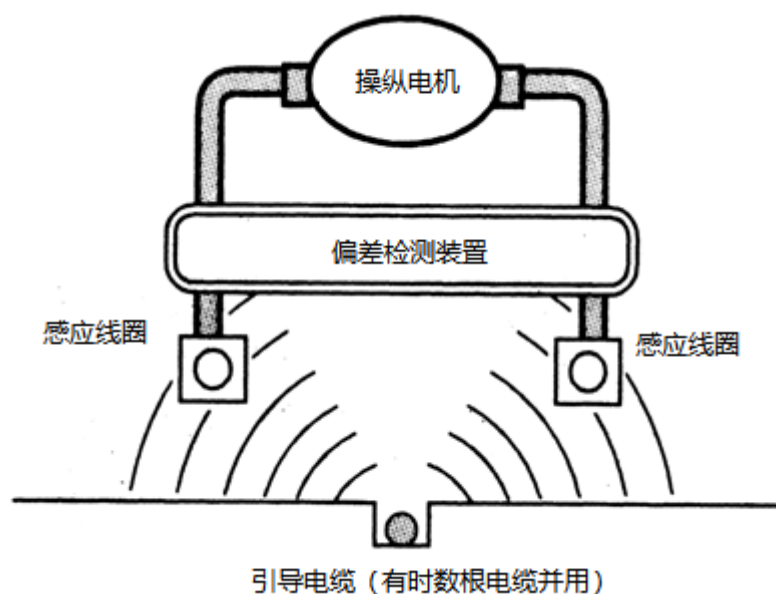


图 3-1 电磁导引原理图

分别位于此导引线两侧的两个感应线圈发出的磁场使得小车在从预先埋设的电缆上通过时,感应到导引频率,通过对导引频率的识别来实现 AGV 的导引。其导向线中的电流约为 200~300mA,频率为 2kHz~35kHz。

(2) 反光带或磁带导引

1) 反射式导向。如图 3-2 所示,这种引导方式是在地面上连续铺设一条用发光材料制作的带子,或者用发光涂料涂抹在规定的运行路线上,在车辆的底部装有检测反射光传感器,通过偏差测定装置来控制驱动电机转向从而来不断的调整车辆前进的方向。

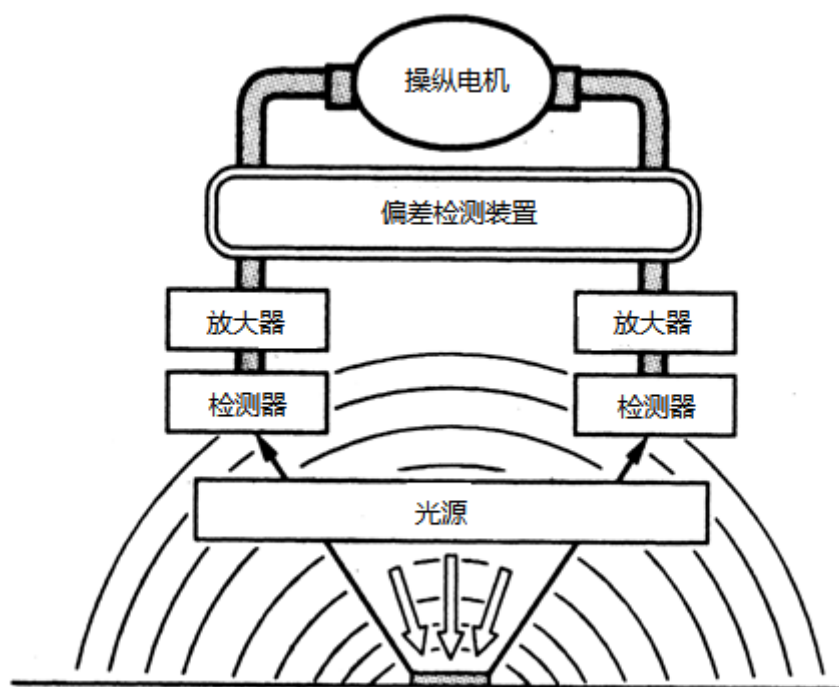


图 3-2 反射式导向

2) 磁带导向

如图 3-3 所示为磁条导引的导引图

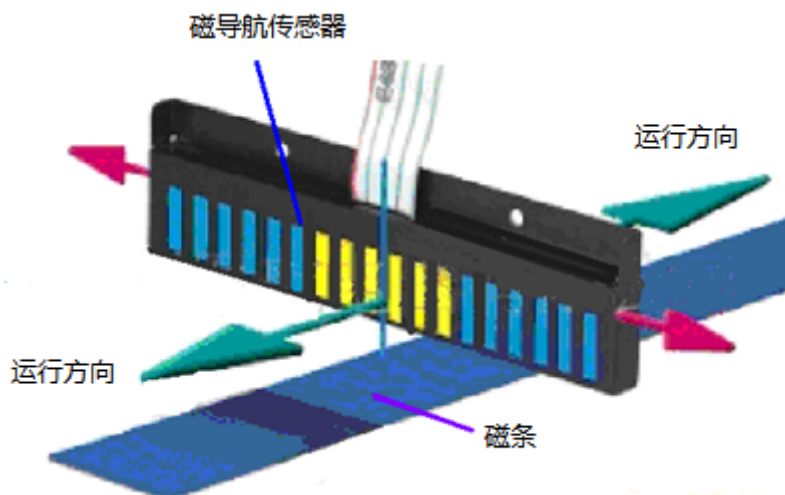


图 3-3 磁条导引

磁导航传感器利用其平均排布的采样点来检测磁条上方 100gauss 以下的微弱磁场，通过磁场偏差的测定来控制驱动转向电机从而达到调整车辆行驶方向的目的，它安装在 AGV 车体前方底部，距离磁条表面 20-40mm，磁条的宽度约在 30 到 50mm 之间，厚度为 1mm。

如图 1-1 在 AGV 车运行的轨迹边上，有三条与磁条轨道垂直布置的、连续间

隔的短磁条称为地标磁条，其作用是用于 AGV 车的加减速、停止以及打开或者关闭障碍物检测传感器。三条短磁条的间距在 55mm 到 65mm 之间，沿车前进的方向布置具体含义为：

序号	磁条顺序	作用
1	S-N-N	高速
2	S-S-N	中速
3	N-S-N	低速
4	N-S-S	停止
5	N-N-N	打开障碍物传感器
6	S-S-S	关闭障碍物传感器
7	S-N-S	打开远端传感器，关闭近端侧位传感器

由于 AGV 车在运行的过程中是靠地标来改变车体的运行状态的，所以在运行的过程中，不要在地标附近强行让 AGV 车停下(如:关掉电源、碰撞车体保险杠等)，否则 AGV 的运行姿态可能不会发生改变。

3.2.2 车外间断标志

标志跟踪方式很多，可以是反射板、玻璃球。其中有一种称为视觉引导法，基于视觉导引的自动导向小车（简称 V-AGV），即根据检测预先断续地铺设若干引导标志或反射板来自动识别和判断路径(见图 3-4)。

视觉导引法通过识别的图像来调整路径，它通过检测到的远视野信息来判断车体异常信息；通过检测到的近视野信息读取条形码、车体的恒变位、姿态角等；通过左右轮转数检测数据和条形码信息计算条形码间自主行走的数据。

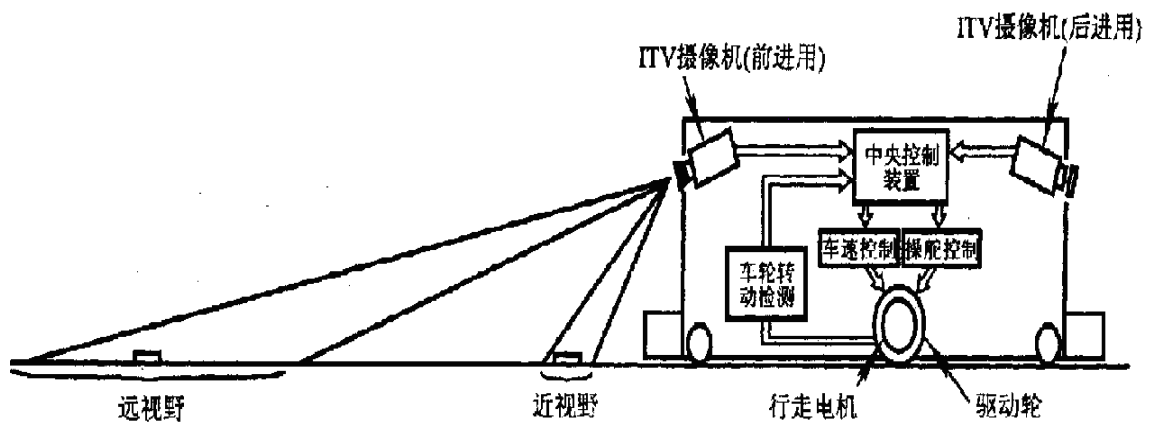


图 3-4 AGV 的视觉导引法

3.3 非预定路径

3.3.1 激光导引

(1) 光扫描导引

光扫描导引即是沿着路径从高处用光束进行扫描，计算机根据光信息(扫描角度以及扫描装置标号)，精密检测出 AGV 现在的位置(图 3-5)。这种方法路径变换容易，扫描方式最简单。

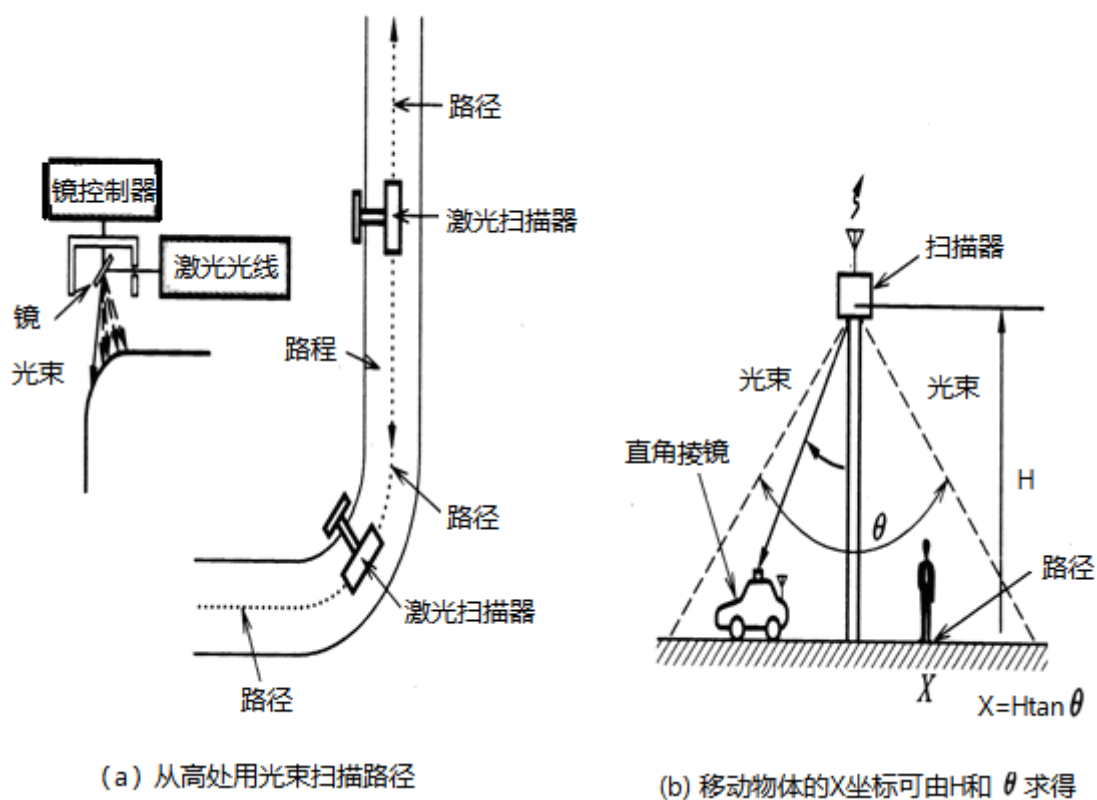
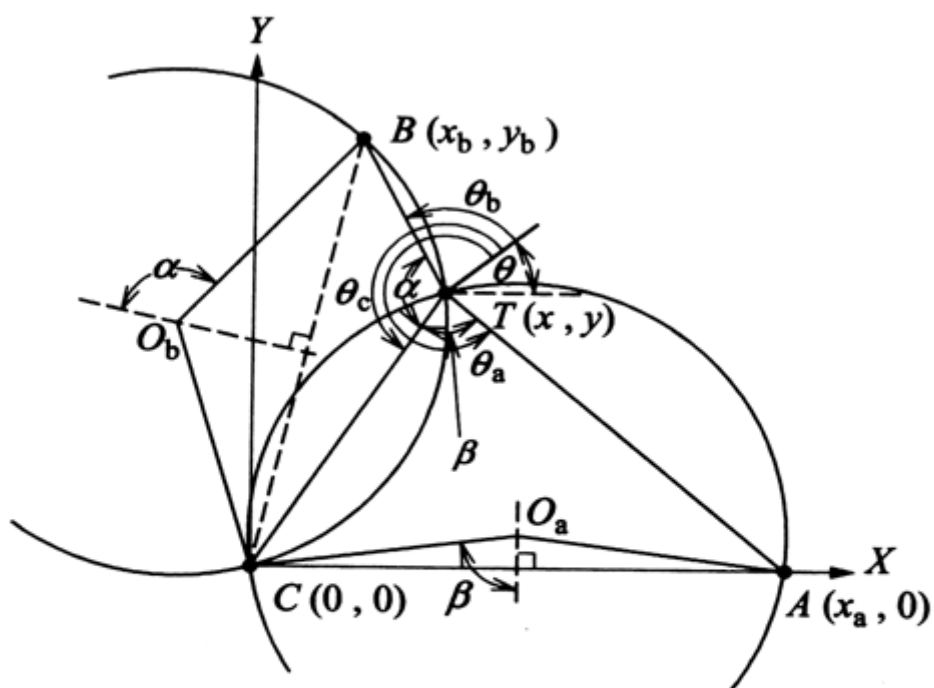


图 3-5 光扫描导引

(2) 信标方式(激光导航)

这种方式是在路径上或沿着 AGV 的行驶路径设置多个标记，标记本身主动发出信号提供有关位置信息。信标方式是从现在位置寻找若干个信标，然后根据其方向和有关信标的位置信息，利用三角测量原理计算出现在的位置。



设信标A.B.C的坐标分别为 $(x_a, 0)$, (x_b, y_b) , $(0, 0)$ 则机器人的位置T点的坐标和方向 θ 可由两个圆的交点求出

图3-6 利用激光导航方式的高精度位置检测原理

标记可用再现反射体(直角棱镜等), 激光或红外线被优先采用于扫描射线。由求得的两组两个再现反射体之间的开度角计算出现在的位置、方位, 这种方法称为激光导航法。标记设置简单、廉价, 精度也非常好。

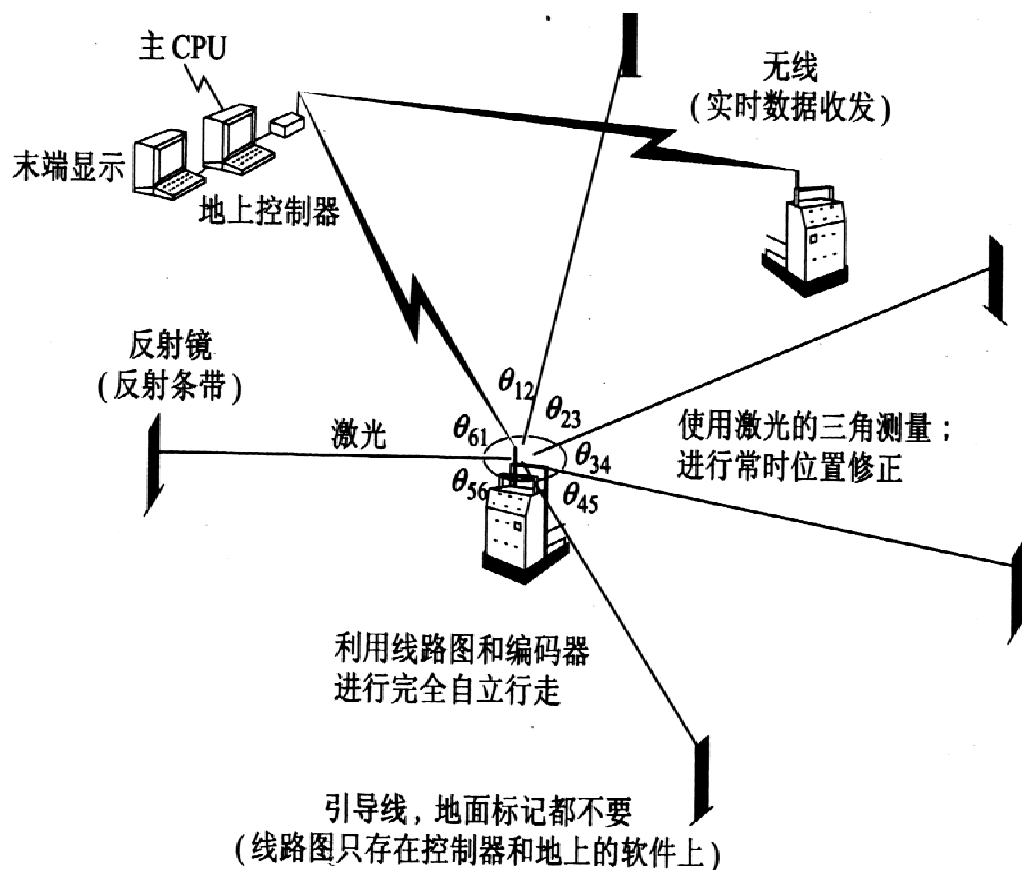


图 3-7 信息分析原理

图 3-7 中参数的计算式如下：

$$y = Kx$$

$$\theta = \pi + \tan^{-1} \frac{y}{x} - \theta_c$$

$$\text{式中： } K = \frac{x_a - x_b - y_b \cos \alpha}{y_b - x_b \cos \alpha - x_a \cos \beta}$$

代替检测多个信标方向的方法，是通过从一个地方的信标发出扫描激光光束，用 AGV 上若干个传感器来检测的方法(称为激光信标方法)。采取这种方法，在作为移动物体的 AGV 上设置的 3 个传感器，如果都接收到激光站(即使是一个)的光就能检测出位置，即便存在很多 AGV，如果某 AGV 上的 3 个传感器能接收到信标发出的光，这个 AGV 就能进行高精度的位置检测。这种位置检测法是强噪声检测法，可作为用于自立分散型群控 AGV 的高精度位置检测。

3.3.2 数字地图引导

把路径画在数字地图上，作为人与机器的对话式系统，非常容易接近。此外，利用中央计算机的指令把路径的设定作为串行数据给出的方法，对复杂、交叉路径多的路线特别有效。是适合于控制复杂、多种、多量 AGV 的方法，是使工厂内的物流系统高度自动化所必须的。

3.4 智能引导

智能引导方式有示教式（初级智能）和路径规划两种。

示教式：当 AGV 沿着示教的路径行走一次，即记住行走路线。它实际上还可学会新的行走路径，并通知主控计算机所学到的东西。主控计算机可通知其他的 AGV 关于这条新的路径的信息。

有电磁导引、磁条导引、光学导引、激光导引、惯性导航、图像识别导引、GPS 导引等五个方面的导航方式，主要阐述各个引导方式的导引原理及定位准确的方法。

3.5 内饰线上的磁条导航的选择

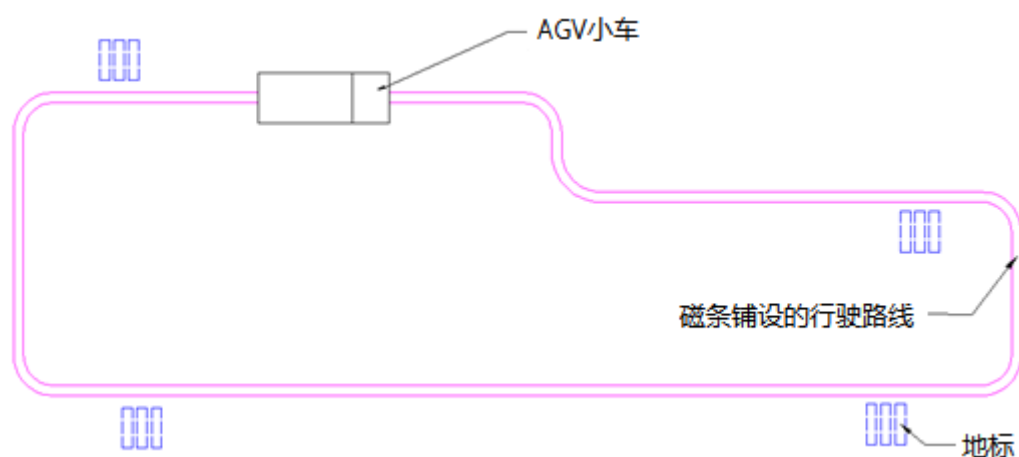


图 3-8 导航小车的行驶路径

在所参与的《襄樊总装车间内饰 KIT 线和 AGV 运输线》的项目中，综合考虑各导引方式的价格比、工厂实际场地的要求及 AGV 车在所引入项目的作用等因素，决定选用磁条导引的方式。

选用磁条导引的原因有以下几点：

1) 地面环境

图 3-8 是导航小车应用于汽车内饰线的行驶路线图，该小车的工作环境为表面光滑的橡胶地面，因而小车的工作环境很平稳，适合磁条导引对地面的光滑平整的要求。

2) 场地狭小

在总装车间的场地范围狭小，不适合输送机的引用，狭小的空间正是 AGV 这种小车的实用范围。

3) 行驶路线的多变性

从图 3-8 可知，车间根据实际情况而铺设的路径使得 AGV 小车的行驶路线也是变化的，磁导航传感器感应磁条的磁性并采用各采样点输出的信号，进而纠正 AGV 的行驶方向来达到引导 AGV 运行的目的，这样磁条导航就有效的解决了行驶路线的不规则性，使 AGV 小车行驶时的路线过度的很自然。

4) 价格低，拆装方便

磁条的性价比比较低，有效的降低了成本，扩大了利润，它同时改变了传统的输送线价格高，装拆难的缺点而颇受众多厂家的青睐。

3.6 本章小结

社会对于 AGV 导引技术的研究十分活跃，本章主要是从不同的导引方式着手对不同导引方式的导引原理进行研究，在最后着重介绍了汽车内饰线上的选用磁条导航的原因。

第 4 章 自动避障方法的研究

随着 AGV 应用领域的不断推广, AGV 在复杂地形中进行运动时自动避障是一项必不可少的也是最基本的功能。因此, 自动避障系统的研发也就应运而生。大家常说的自动避障小车就是基于这一系统研发而成的。

随着科学的进步, 人类对各门学科的横向和纵向研究都进入到了一个崭新的阶段, 人类也越来越热衷于对未知领域和人类不能直接到达的地域的探索, 这就使得机器人的自动避障的研究有了重大的意义。由于小车在行进过程中能够避开障碍物, 所以自动避障小车常被作为地域探索机器人和紧急抢险机器人的参与到探索和紧急抢险运动系统中。

4.1 超声波避障方法

蝙蝠在黑暗中能够在空中盘旋自如, 是因为以昆虫为食的蝙蝠在不同程度上都有回声定位系统, 它的头部的口鼻部上长着被称作“鼻状叶”的结构, 在周围还有很复杂的特殊皮肤皱褶, 这是一种奇特的超声波装置, 具有发射超声波的功能, 能连续不断地发出高频率超声波。借助这一系统, 它们能在完全黑暗的环境中飞行和捕捉食物, 在大量干扰下运用回声定位, 发出超声波信号而不影响正常的呼吸。如果碰到障碍物或飞舞的昆虫时, 这些超声波就能反射回来, 然后由它们超凡的大耳廓所接收, 使反馈的讯息在它们微细的大脑中进行分析, 进而根据回声来判别方向, 并为自身飞行路线定位, 还能辨别不同的昆虫或障碍物, 进行有效的回避或追捕, 这种超声波探测灵敏度和分辨力极高。

超声波测距技术是一种测距传感器, 由换能器、处理单元和输出级三个单元组成, 结构原理如图 4-1 所示。

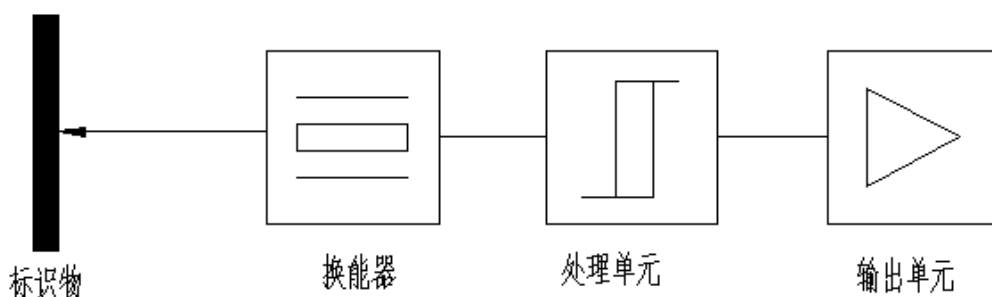


图 4-1 超声波测距原理图

图中标识物就相当于障碍物, 换能器相当于蝙蝠的口鼻, 处理单元相当于蝙

蝠的大脑，输出单元相当于蝙蝠所采取的飞行路线。即：超声波传感器在上电后，换能器发出超声波，接着转入接收状态等待接受从环境标识物返回来的超声波，接收到的信号传给处理单元进行分析，根据发射波与接收回波的时间差在输出级上输出一个电信号来反映标识物与传感器的距离。

超声波具有成本低廉，采集信息速度快，质量轻，距离分辨率高，体积小，易于装卸，测距速度快，实时性好，不受天气的影响等优点。

4.2 人工势场法

在 1986 年，Khatib^[31]提出了人工势场法，人工势场法的基本思想是在目标位置构造引力势场，在障碍物周围构造斥力势场，引力场的引力吸引机器人朝目标点方向运动，而斥力场的斥力阻止机器人朝障碍物方向运动，引力和斥力的合力是促使机器人不断的运动的动力。

4.2.1 势场函数的定义

势场值的定义如下：引力与距离成正比，即：距离越大，引力场值越大；斥力与距离成反比，即：距离越小，斥力场越大。其通用的目标函数为^[41]：

$$F_{at} = k(X_{goal} - X) \quad (4.1)$$

其中 k 为增益系数， $(X_{goal} - X)$ 为机器人和目标之间的相对距离。通常的斥力场函数为：

$$F_{re} = \begin{cases} m(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0})^2 \frac{i}{\rho} & (\rho < \rho_0) \\ 0 & (\rho > \rho_0) \end{cases} \quad (4.2)$$

式中， m 为斥力增益系数， ρ 为障碍物与当前的相对距离， ρ_0 为障碍物的影响距离，当在障碍物影响距离之内时，所受到吸引力越来越小，反而其受到的斥力却越来越大，此时机器人将永远无法到达目标点。受到斥力的影响，当障碍物的当前距离处于的影响距离之外时不受斥力的影响，此时机器人所受合力为：

$$F = F_{at} + F_{re}$$

“当机器人所处环境比较复杂时，比如障碍物和目标都是动态的，传统的人工势场法的弊端就显而易见了。于是提出了一种可应用于动态环境下的改进人工势场法^[32]，即：将障碍物的速度和加速度矢量引入到人工势场中，应用矢量合成的方法解决局部最小问题、非受临时进行调整以顺利到达目标点。”人工势场法依赖于探测到的障碍物的信息，通过构建势场使自动导向小车沿着势场降低的方向移动，从而避开障碍物。在地图未知的条件下，虽然小车不知道整体环境，但可以根据探测到的局部环境构建人工势场。

4.2.2 人工势场法的改进

1) 建立新势场函数

在上述的势场函数中，目标不可达问题存在的主要原因是，当目标在障碍物的影响范围之内时，整个势场的全局最小点并不是目标点。因为当机器人向目标逼近时，障碍物势场快速增加，如果能够在机器人向目标逼近时，斥力场趋于零，那么目标点将是整个势场的全局最小点。所以在定义斥力场函数时，把机器人与目标之间的相对距离也考虑进去，从而建立一个新的斥力场函数如下^[45]：

$$F_{re} = \begin{cases} F_{re1} + F_{re2} (\rho \leq \rho_0) \\ 0 (\rho > \rho_0) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$F_{re1} = m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \cdot (X_{goal} - X)^n \cdot \frac{1}{\rho^2} \quad (4.4)$$

$$F_{re2} = \frac{1}{2} n \cdot m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \cdot (X_{goal} - X)^{n-1} \quad (4.5)$$

其中， ρ 为机器人与障碍物之间的距离， $(X_{goal}, -X)$ 为机器人与目标之间的距离，障碍物的影响范围在距离 ρ_0 之间^[46,47]， m 是位置增益系数， n 是大于零的任意实数，与式(4.2)相比，引入了机器人与目标之间的相对距离，保证了整个势场仅在目标点全局最小。另外定义，矢量 F_{re1} 的方向为从障碍物指向机器人，矢量 F_{re2} 的方向为从机器人指向目标，合力 F_{re} 与它的两个分量的关系如图 4-1 所示。

显然，当 F_{re1} 对机器人产生斥力时， F_{re2} 就对机器人产生吸引力，在式 (5.5) 和 (5.6) 中，当 $n=1$ 时，与 (4.2) 相同。还有以几种情况：

(1) 当 $0 < n < 1$ ， $\rho < \rho_0$ ，切 ρ 不等于 0 时，根据式 (4.3) (4.4) (4.5)，在机器人逼近目标时， $(X_{goal} - X)$ 趋于 0，斥力的第一个分量 F_{re1} 趋于 0，第二个分量 F_{re2} 趋于无穷大，驱动机器人达到目标；

(2) 当 $n=1$ ， $\rho < \rho_0$ ，切 ρ 不等于 0 时，由式 (4.3)，(4.4)，(4.5) 得到：

$$F_{re1} = m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \bullet (X_{goal} - X)^n \bullet \frac{1}{\rho^2}$$

$$F_{re2} = \frac{1}{2} n \bullet m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \bullet (X_{goal} - X)^{n-1}$$

当机器人逼近目标时， F_{re1} 趋于 0， F_{re2} 变为常数，驱动机器人驶向目标；

(3) 当 $n > 1$ ， $\rho < \rho_0$ ，且结论： ρ 不等于 0 时，由式 (4.3)，(4.4)，(4.5) 得到当机器人逼近目标时，总的斥力趋于 0，机器人在引力的作用下事项目标

由以上三种情况，均能使机器人顺利地到达目标。在实际应用过程中，选取任意一个大于零的 n 构成的势场函数，就可以解决传统势场法存在的无法到达目标的问题。定义人工势场如下：

$$\begin{cases} F_{re} = F_{re1} + F_{re2} (\rho < \rho_0) \\ F_{at} = F_{re1} + F_{re2} (\rho > \rho_0) \end{cases} \quad (4.6)$$

$$F_{at} = F_{re1} + F_{re2} = \begin{cases} m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \bullet (X_{goal} - X)^n \bullet \frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) (\rho \leq \rho_0) \\ 0 (\rho > \rho_0) \end{cases}$$

4.3 实际项目中传感器的选择

传感器的种类很多，单一的传感器应用已不能满足客户多元化的需要，该项目中主要应用的是光电传感器，其中所用到的障碍物传感器、漫反射光电传感器

就属光电传感器。光电传感器是利用光的各种特性，检测物体的有无和表面状态的变化变化的传感器。采用光电元件作为检测元件的传感器。它首先把被测量的变化转换成光信号的变化，然后借助光电元件进一步将光信号转换成电信号。

光电传感器具有检测距离长、对检测物体的限制少、响应时间短、分辨率高、可实现非接触的检测、实现颜色的检测及便于调整的特点。光电检测方法具有精度高、反应快、非接触等优点，而且可测参数多，传感器的结构简单，形式灵活多样，因此，光电式传感器在检测和控制中应用非常广泛。

1) 障碍物传感器：光电元件发出信号，在遇到障碍物时，用于检测障碍物，来控制车体从而避免撞车。

2) 漫反射光电传感器：用于 AGV 车与外部控制信号之间的通讯。

4.4 本章小结

本章先对超声波避障方法进行介绍，先分析了其工作与避障原理，又对人工势场法进行分析和研究，并对人工势场法做了具体的分析。

第5章 全文总结与展望

5.1 全文总结

自动导航车(AGV)是一个集多种功能于一体的综合系统,它涉及到机械工程、控制工程、信息科学、计算机科学等多种学科。本论文是在参考大量相关文献的基础上,结合本研究所自主开发AGV中遇到的实际问题,对AGV的驱动与导向方面、传感器信号检测与处理和避障等问题进行较深入的研究,主要获得以下结论与成果:

(1)通过对自动导航小车的国内外发展现状的了解,我认识到AGV是最近几十年出现的一种新型工具,它解决了企业工人的繁重体力劳动,改善了其生活和工作环境,另一方面AGV的引入给企业创造了巨大的利润。

(2)通过实验,对AGV差速驱动系统进行分析,并对差速驱动导航系统进行建模分析,进一步的了解了驱动系统的驱动运行原理,了解了驱动导航的不同方式,并对传统的驱动行走机构进行分析,巩固了自己的专业知识。

(2)在实践现场,结合理论知识,亲自参与项目中,参与安装调试的整个过程,对工厂的实际情况进行了解,更加深刻的了解到AGV车在汽车生产线上的实际应用。

本文的研究是在多部自动导航车的开发背景下完成,对于其中提出的一些新的思路和方法,在研究过程中都能够及时的检验并加以改进。所以,本文中的一些方法和相关结论对于自动导航车的设计和开发具有一定的借鉴作用。

5.2 展望

为了使自动导航车具有更加广泛的应用前景,同时也作为本文的改善和提高,以下工作需进一步研究与开发:

(1)用神经网络进一步优化超声波测量模型,结合智能运动控制算法,进一步提高AGV的定位精度。

(2)文中所提到的种种导引方式,如:直接坐标导引、电磁导引、磁带导引、光学导引、激光导引、惯性导航、图象识别导引、GPS(全球定位系统)导航,最为常用的就是电磁导引、磁条导引等,其中GPS导航方式造价较高,但随着科学的发展,不仅全球定位系统导引会得到人们广泛的应用,我相信还会出现更多的导引方式。

(3) 在文中提出的避障方法的研究还尚不完整，还需要在自动避障方面做更深入的研究。在AGV运动中，如何降低外界的干扰也是现代研究的重点。改进人工势场法的基础上，如何构建复杂环境下更为详细准确的环境信息，依此来建立鲁棒性好的人工势场函数并将其应用于AGV的实际应用中去。

致 谢

时光飞逝，转眼间研究生的学习阶段和论文写作阶段就快要结束了。在这段时间里，通过学习和实践，我巩固和加深了自己的专业知识与提高了自己学习和沟通能力，受益颇丰。

首先感谢我的导师夏利霞和华中平教授，在研究生课程学习与课题研究过程中，他们给予了我悉心的指导和热情的关怀；在我遇到困难的时候，华老师总是耐心的帮助我解决问题；在我偶感懈怠时，是夏利霞老师给我鼓励，帮我提建议，她是我生活和学习的榜样。正是因为遇到这样的好老师才使我能够顺利完成研究生阶段的学习与科研任务。

在机电研究院的实习阶段，我得到各位同事的悉心照顾和帮助，特别感谢周兵、余建军、田野、冯仕平等同事在工作与学习上对我的指导和帮助和夏利霞老师、周兵、冯玉翠等对我生活上的无私关怀。

在学习期间，苏旭武、陈水生、吴斌方等老师在学业上给予我的耐心指导和帮助，在此，我向你们表示深深的感谢！

在实验室工作及撰写论文期间，感谢余娟、夏萍、楚晓瑞等同学对我的学习提出宝贵意见和无私帮助，愿我们的友谊长存！

最后我还要感谢我的父母和弟弟，谢谢你们一直以来对我学业的支持，愿你们幸福健康。

参考文献

- 1) 沈治. 基于自动化仓储技术的自动导航小车 (AGV) 的研究。
- 2) 王智勇, 姬婧媛. AGV 小车的控制系统的设计与开发[M]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2007
- 3) 王冰, 张惠侨. 舵轮型自动引导车 (AGV) 导向控制系统设计[J]. 机械设计与研究, 1999 (4): 60-63.
- 4) 王荣本. 图像识别自动引导车辆系统的研究[D]. 吉林工业大学博士学位论文, 1995. 7
- 5) 郭洪红. 工业机器人运用技术[D]. 科学出版社2008, (1): 7-8.
- 6) Brown H B Jr, Xu Y. A single-wheel, Gyroscopically stabilized robot[A]. IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. Minneapolis, MN, USA: IEEE, 1996, 3658-3663.
- 7) Giralt G, Chatila R and Yaisset M. An integrated navigation and motion control system for autonomous multi-sensory mobile robots[M]. Robotic research. Eds. Brady M and Paul R, MIT Press, 1984.
- 8) Rhodri H Armour, Julian F V Vincent Rolling in Nature and Robotics: A Review [J]. Journal of Bionics Engineering, 2006, 3: 195-208.
- 9) 谷玉川. AGV 驱动转向一体化机构及其导航控制研究[J]. 2006.
- 10) 张正义. AGV 技术发展综述[J]. 物流技术与应用. 2005, 10 (7) : 67-73
- 11) 蔡涛. AGV 超声波定位与避障研究[J]. 西安理工大学硕士学位论文. 2008
- 12) 张明路, 丁承君. 移动机器人的研究现状与趋势[C]. 河北工业大学学报, 2004, 33 (22): 110-115.
- 13) 程娥. 自动导航试验车的机械性能计算机辅助分析研究[D]. 沈阳农业大学硕士学位论文, 2007.
- 14) 沈治. 浅谈自动导航小车 (AGV) 技术发展[M]. 科技广场, 2008, 12.
- 15) 王宏玉. 探秘 AGV. 现代物流[J], 2005, (5): 50-51.
- 16) 叶菁. 磁导式 AGV 控制系统设计与研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- 17) 蔡晋辉, 张光新, 周泽魁. 在线钢坯喷号自动视觉检测系统设计[J]. 传感技术学报, 2006, 37(3): 686-689.
- 18) 陈春林, 陈宗海, 卓睿. 基于多超声波传感器的自主移动机器人探测系统[J]. 测控技术, 2004, 23(6): 11-13.
- 19) 李磊, 叶涛, 谭民, 等. 移动机器人技术研究现状与未来[J]. 机器人, 2002, 24(5):

475—480.

- 20) 余达太. 工业机器人应用工程[M]. 冶金工业出版社, 1999. 4
- 21) 朱磊磊, 陈军. 移动式机器人研究综述[J]. 机床与液压, 2009. 37 (8) .
- 22) Dieter Fox, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun. Active Markov Localization for Mobile Robots[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1998, 25(3): 195—207.
- 23) 史恩秀, 黄玉美. 自主导航小车 AGV 定位方法的研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20 (1) .
- 24) 吴简彤, 乐慧康, 朱荣生等. 多传感器数据融合导航系统研究[J]. 导航, 1999, 3.
- 25) 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- 26) 王亚良, 任欣, 金寿松, 兰秀菊, 谢建东, 等. 自动导航小车控制系统[M]. 轻工机械, 2007, 25 (4) .
- 27) 柳赛男, 柯映林. 一种解决有 AGV 小车约束的车间智能调度问题的算法[M]. 中国机械工程, 2007, 18 (15) .
- 28) 朱军, 叶庆泰. 基于 DSP 的 AGV 视觉导向系统研究[M]. 计算机测量与控制, 2003. 11 (3) .
- 29) 汪达开. AGV 控制系统. 北京: 机械工业自动化, 1997. 3, 36—38.
- 30) 张辰西贝, 黄志球. 自动导航车 (AGV) 发展综述[J]. 中国制造业信息化, 2010. 1.
- 31) 杨甜甜, 刘志远, 陈虹, 裴润. 移动机器人编队控制的现状与问题[J]. 智能系统学报, 2007. 8
- 32) 方华京, 魏然. 人工势场法在多机器人运动中的研究[J]. 控制工程, 2007. 3.
- 33) 于慎波, 张幼军, 王燕冷等. 自动导向小车系统及其技术组成. 沈阳: 沈阳工业大学学报, 1998. 4, 46—49.
- 34) 樊跃进, 王勇等. AGV 自动充电系统设计. 北京: 机械工业自动化, 1999. 2, 2527
- 35) FMS. International Journal of Production Economics Volume: 60-61, April 20, 1999, pp. 473—478.
- 36) Moore K L Flann N S . A six- wheeled omnidirectional autonomous mobile Robot[J] IEEE Control System Magazine. 2000 20(6): 53—66.
- 37) Parkin, R. M.; Tao, B.; Jackson, M. R. The use of low cost FM-CW radar sensors in navigation Microprocessors and Microsystems Volume: 21, Issue: 6, (13)
- 38) Chen, Mingyuan. A mathematical programming model for AGVS planning and control in manufacturing systems. Computers & Industrial Engineering Volume: 30, Issue: 4, September, 1996, pp. 647—658.
- 39) Carter B. Good M, Dorohoff M} etc. Mechanical design and modeling of

anomni-directional RoboCup player[A].RoboCup AI Conference[C]. Seattle WA:
2001 .1—10.

- 40) 储江伟, 郭克友. 自动导引车辆(AGV)引导技术分析 [J]. 起重运输机械, 2002, 1(11).
- 41) J. Borenstein and Y. Koren. Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 1991, 13(9): 1~10.
- 42) 冯星华. AGV 及其控制系统研制[J]. 电子机械工程, 2001, 89 (1): 31-33.
- 43) 张晓燕. 自动导引输送车系统[J], 广东机械学院报, 1995, 13 (2): 85-90.
- 44) 杨扬, 顾文俊. 基于 UC/OSI 的机器人小车系统设计[J]. 机电工程, 2006, 23 (7): 30-33.
- 45) 孙宇, 张世琪, 崔康吉. AGV 自动导引技术的研究[J]. 中国机械工程, 1996, 7 (6): 31-32.
- 46) 夏锋, 孙优闲. 自动导引车模型设计[J]. 工程设计学报, 2003, 10 (2): 66-69.
- 47) 方强, 谢存禧. 基于视觉的移动机器人自主定位导航[J]. 机床与液压, 2004, (17): 40—56.
- 48) Dieter Fox, wolfram Burgard, Sebastian Thrun Active Markov Localization for Mobile RObots[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1998, 25(3): 195—207.
- 49) 龚自兴. 机器人学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009
- 50) 高国富, 谢少荣, 罗均. 机器人传感器及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 5
- 51) 徐德, 邹伟. 室内移动式服务机器人的感知、定位与控制[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 2
- 52) 卢文涛. 自动导航试验车的设计研究[D]. 沈阳农业大学硕士学位论文, 2005.
- 53) 詹炜. DGR-5A 机器人迭代学习控制研究[D]. 南京航空航天大学硕士学位论文, 2007.
- 54) 李引魁. 轮式移动机器人控制系统设计[D]. 西安理工大学硕士学位论文: 2007.