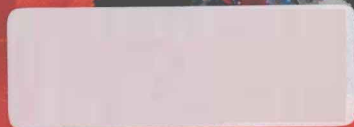


移动机器人 控制技术及其应用

蒋志坚 编著

YIDONG JIQIREN KONGZHI JISHU JIJI YINGYONG



移动机器人控制技术及其应用

蒋志坚 编著



机械工业出版社

本书是一本科研专著。

本书的第一篇研究具有自主定位和导航功能的通用移动机器人。移动机器人实现自主定位和导航的关键是能够识别特定的路标信息和路径规划，而同时定位与地图构建（SLAM）技术为机器人导航问题的解决提供了一种新的思路。本书以通用智能移动机器人为研究平台，利用新型人工路标和自然路标，构建了一个视觉 SLAM 导航系统，有效地完成了移动机器人的自主导航和视觉伺服功能。

本书的第二篇专注于特种移动机器人——爬壁检测机器人的研究。爬壁检测机器人主要用于高层建筑的壁面检测等极限作业。本书详细推导了机器人驱动数学模型，通过仿真确定了机器人的 PID 控制参数，设计了闭环控制系统，研制了爬壁检测机器人的实验样机。实验测试表明，该爬壁检测机器人控制系统的软硬件设计方案合理，移动、吸附、控制性能可靠，达到了预期要求。

本书为移动机器人控制技术的科学研究和工程应用提供了比较详尽的实例，可作为高等院校相关专业的辅助教材，供不同类型院校师生参考，或作为相关专业硕士、博士研究生的科研参考书。

图书在版编目（CIP）数据

移动机器人控制技术及其应用/蒋志坚编著. —北京：机械工业出版社，2013.2

ISBN 978-7-111-40842-0

I. ①移… II. ①蒋… III. ①移动式机器人—机器人控制—研究
IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 305664 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：于苏华 责任编辑：于苏华 韩 静

版式设计：赵颖喆 责任校对：刘秀芝 陈立辉

封面设计：路恩中 责任印制：张 楠

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·10.25 印张·298 千字

0001—2000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-40842-0

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书的第一篇研究具有自主定位和导航功能的通用移动机器人。在室内环境下，移动机器人自主定位和导航是研究热点之一。移动机器人实现自主定位和导航的基础是能够识别标志性的信息。而人工路标在设计时，由于其形状、大小和颜色可以预先设置，因此使用人工路标是首选。设计一种新型人工路标，并让机器人能够快速、准确地识别该路标的信息是研究工作的重点。机器人传统的导航方法有航位推算法、模式匹配法和组合方法等，每个方法都有各自的缺点和不足。最新的定位与地图构建（Simultaneous Localization And Mapping, SLAM）方法在定位的过程中可以构建导航地图，这给机器人自主定位与导航问题提供了一种新的解决思路。由于视觉传感器具有信息量大、容易配置等特点，因此视觉 SLAM 代表了机器人自主导航的发展趋势。

本书以通用移动机器人为研究平台，设计了新型人工路标，分别开展了基于新型人工路标的移动机器人自主定位、自然路标模板追踪和混合路标导航构图等相关研究。

研究工作首先利用 BCH 编码原理设计了一种新型的人工路标图案，该图案不仅制作简单、信息量丰富，还具有一定的纠错功能。在编辑界面中，只要输入相关的信息，就可以自动生成路标图案，并可以打印出来使用。实验证明，机器人不仅能快速识别该路标信息，而且误差率低、鲁棒性好。人工路标采用规则的五边形外形，在新型路标准确识别的基础上，利用先进算法，实现了移动机器人的自主定位。其次，利用特征不变量因子，提取自然路标的特征点，滤除干扰点，确定模板轮廓点，系统生成路标信息的模板。在此基础上，完成了基于自然路标的模板追踪，通过实验，确定机器人能够追踪的范围。最后，基于自然路标和人工路标，依据视觉 SLAM 原理构建导航地图，进而准确有效地指导了机器人的视觉伺服运动。

在通用移动机器人研究的基础上，本书的第二篇研究特种移动机器人——爬壁检测机器人。作为自主移动机器人之一的爬壁检测机器人主要用于高层建筑的壁面检测等极限作业。在现代社会中，随着经济的高速发展和科技的不断进步，高层建筑物越来越多，建筑物高度和复杂程度也越来越高，因此对建筑立面的质量要求也相应提高。为了了解建筑物立面的质量情况，需要对建筑物立面进行检测，以便能及时发现质量问题和安全隐患。目前，对于建筑物立面的检测大都通过传统的人工目测来进行，这种方式效率低、可靠性不高、工作安全性差而且易发生事故。鉴于目前情况，有必要研究一种可代替人工目测进行高层建筑物立面检测的爬壁检测机器人，并对其涉及的控制理论和技术进行深入研究。

本书研究了基于数字信号处理（DSP）的爬壁检测机器人控制系统，对机器人控制系统的硬件结构、软件流程及控制算法进行了具体设计与实现。本书设计了上位计算机 + DSP 下位机主从两级结构的控制系统，包括下位机 DSP 控制系统的硬件电路、DSP 外围基本硬件电路、DSP 扩展存储器电路、控制器电源电路、串行通信电路、电机驱动电

路等，并且分析总结了系统设计中应该注意的主要事项。在 TI 公司的 CCS3.0 编程环境基础上，按照模块化的设计思想，利用汇编语言和 C 语言混合编写了机器人各控制模块的软件程序，包括主程序、系统初始化程序、系统解析程序、系统控制程序以及系统通信程序等。

本书详细推导了机器人驱动轮电机数学模型，通过仿真确定了机器人的 PID 控制方式，分析并设计了闭环控制结构。搭建了爬壁检测机器人实验平台，对机器人进行实验测试，验证机器人硬件电路以及软件程序的有效性和合理性。测试表明，该爬壁检测机器人控制系统的软硬件设计方案合理，机器人移动、吸附、控制性能可靠，达到了预期要求。本书的研究工作为爬壁检测机器人的科学研究和工程应用提供了比较详尽的实例。

编著者

目 录

前言

第 1 篇 通用移动机器人自主定位与导航研究

| | | | |
|------------------------------|----|---------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 2 | 4.2 目标跟踪算法 | 25 |
| 1.1 引言 | 2 | 4.3 机器人控制策略 | 28 |
| 1.2 移动机器人研究发展现状 | 2 | 4.4 实验与分析 | 31 |
| 1.3 移动机器人自主定位方法 | 5 | 4.5 小结 | 33 |
| 1.4 基于路标的视觉导航研究现状 | 6 | 第 5 章 基于人工路标的移动机器人 | |
| 1.5 课题研究的背景及意义 | 7 | 自主定位 | 34 |
| 第 2 章 研究平台 | 9 | 5.1 引言 | 34 |
| 2.1 引言 | 9 | 5.2 坐标系的建立 | 34 |
| 2.2 机器人研究平台 AIM 的硬件结构 | 9 | 5.3 位姿计算 | 35 |
| 2.3 机器人研究平台 AIM 的软件结构 | 14 | 5.4 实验与结果分析 | 36 |
| 2.4 小结 | 16 | 5.5 小结 | 40 |
| 第 3 章 自然路标和新型人工路标的 | | 第 6 章 基于混合路标的移动机器人 | |
| 识别算法 | 17 | 视觉 SLAM | 41 |
| 3.1 引言 | 17 | 6.1 引言 | 41 |
| 3.2 自然路标的识别 | 17 | 6.2 SLAM 问题概述 | 41 |
| 3.3 人工路标分类 | 19 | 6.3 导航系统体系结构 | 43 |
| 3.4 基于 MR 二维码的新型人工路标系统 | 20 | 6.4 室内环境下 SLAM 导航实验 | 45 |
| 3.5 MR 二维码的识别 | 23 | 6.5 实验结果及分析 | 49 |
| 3.6 小结 | 24 | 6.6 小结 | 50 |
| 第 4 章 基于自然路标的追踪 | 25 | 结论与展望 | 50 |
| 4.1 引言 | 25 | 参考文献 | 51 |

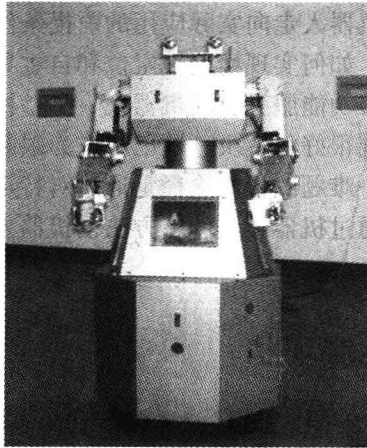
第 2 篇 特种爬壁检测移动机器人研究

| | | | |
|---------------------------------|----|--------------------------|----|
| 第 1 章 爬壁检测机器人概述 | 56 | 2.2 设计要求 | 66 |
| 1.1 研究的背景及其意义 | 56 | 2.3 机器人工作原理及结构 | 67 |
| 1.2 爬壁机器人的分类 | 56 | 2.4 机器人控制系统 | 70 |
| 1.3 爬壁机器人的国内外研究现状 | 57 | 第 3 章 爬壁检测机器人控制系统 | |
| 1.4 机器人控制技术的研究现状 | 63 | 硬件设计 | 74 |
| 1.5 研究目的与内容 | 64 | 3.1 DSP 控制系统设计 | 74 |
| 第 2 章 爬壁检测机器人的总体结构 | 66 | 3.2 下位机硬件电路设计 | 76 |
| 2.1 引言 | 66 | 3.3 上位机监控系统硬件结构设计 | 83 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|------------|
| 3.4 控制系统硬件设计小结 | 84 | 5.4 机器人控制系统模型仿真 | 101 |
| 第4章 爬壁检测机器人控制系统的软件设计 | 85 | 第6章 爬壁检测机器人实验与分析 ... | 104 |
| 4.1 引言 | 85 | 6.1 实验系统组成 | 104 |
| 4.2 DSP 软件开发简介 | 85 | 6.2 机器人吸附性能测试 | 104 |
| 4.3 控制系统软件结构体系 | 86 | 6.3 机器人移动性能测试 | 105 |
| 4.4 上位机软件监控系统 | 87 | 6.4 机器人负重性能测试 | 107 |
| 4.5 下位机软件控制系统 | 88 | 6.5 机器人控制及检测性能测试 | 108 |
| 4.6 软件抗干扰设计 | 91 | 6.6 小结 | 108 |
| 第5章 爬壁检测机器人动力学模型仿真 | 93 | 结论与展望 | 109 |
| 5.1 驱动轮电机数学模型分析 | 93 | 参考文献 | 110 |
| 5.2 控制算法分析 | 95 | 附录 | 113 |
| 5.3 控制器模型仿真分析 | 97 | 附录 A AIM 通用移动机器人科研平台 | 113 |
| | | 附录 B 爬壁检测机器人科研平台 | 145 |

第 1 篇

通用移动机器人自主定位与导航研究



第 1 章 绪 论

1.1 引言

自从“机器人”这个词诞生以来，科研工作者就梦想有一天机器人能够走入家庭与工作中，代替人类从事一些繁琐、危险、繁重的工作。

随着微电子技术、计算机技术、信息融合技术和网络技术的快速发展，机器人技术发展迅速，特别是自主移动机器人原型出现之后，具有移动行走功能、环境感知能力及能够自主完成各种智能服务的机器人研究已经成为机器人技术领域的热点。现今从工业制造领域到非制造领域，都能看到机器人工作的身影。根据目前的发展趋势，在较短时间内，智能移动机器人不但有望进入人们的生活，而且在军事和危险环境领域必能发挥重要作用，代替人类从事一些繁重、危险的工作，比如军事上战地侦察、巡逻、监视以及在生物、化学和核试验场的作业等。

智能移动机器人的重要特征在于它的自主性、交互性和适应性。自主性是指在一定的环境中，不依赖任何外部控制，根据内部程序的指令，完全自主地移动并执行一定的任务^[1]；交互性是指机器人能够与其他机器人进行通信，与人和外部环境进行信息交流；适应性主要在于机器人能够识别和测量周围的物体，并根据环境条件的变化，自主调节机器人自身的参数和控制策略。

具有自主导航能力是移动机器人走向实际应用的前提条件。由于现有移动机器人智能水平和传感器技术等方面的限制，如何实现精确地定位和自主导航一直是困扰研究人员的主要问题。在以前的研究工作中，多功能服务移动机器人、爬壁检测清洗机器人等的自主定位与构建导航地图问题一直未能得到很好的解决，这已经成为限制移动机器人广泛应用和发展的主要瓶颈。研究表明：解决这一难题的根本途径是通过特定人工路标的模式识别，提高机器人自身的视觉识别能力，并通过机器学习的新方法使机器人具备自我构建精准导航地图的能力。

1.2 移动机器人研究发展现状

1.2.1 移动机器人发展概述

自从 20 世纪 60 年代中期第一个自主移动机器人原型诞生以来，在智能机器人领域，自主移动机器人导航研究一直是研究的热点。经过 80 年代的发展低潮之后，现在研究的重点侧重于两点：

- 1) 用符号和实际标准对机器人的智能进行评价，不要求其具有人类一样的高智能，只要求其具有一定的自主定位能力。

2) 在自主移动机器人研究中,许多新技术及控制方法被引入其中,例如信息融合技术、多传感器技术和视觉 SLAM (自主定位同时构图) 等。

1.2.2 国内外移动机器人研究现状

自主移动机器人 (Autonomous Mobile Robot) 的研究始于 20 世纪 60 年代末期,其发展经历了从低级到高级的发展过程,比较典型的移动机器人有以下几种。

如图 1-1 所示,美国的卡耐基-梅隆大学 CMU 设计了一个用于公共场所的教育娱乐移动机器人 Minerva,其目的是为在展馆中的游客导游。1998 年夏天,Minerva 曾成功地应用于史密森尼国立美国历史博物馆,两周内 Minerva 成功地对数千参观者进行了娱乐导航服务。Minerva 机器人自身有许多特点,首先,它可以利用展馆中的马赛克天花板的特征来进行自身的定位;其次,Minerva 可以自主地在动态环境中进行导航,即使在人员拥挤的环境中,也可以高效且安全地实现无碰撞的导航;同时在操作人员的遥控操作下,Minerva 已经具备了一定的构建地图的能力。



图 1-1 CMU 的教育娱乐机器人 Minerva

在美国 2005 年度无人驾驶汽车大奖赛上,斯坦福人工智能实验室设计改装的一辆“大众”牌轿车“斯坦利”(见图 1-2),获得了该项赛事的冠军。该车的道路检测装置为 7 台奔-M 主机、一个单目视觉装置和一个立体视觉装置,利用基于机器学习的控制策略来完成路径规划和速度控制,通过 4 部精度达到 1cm 的激光测距仪组成的阵列扫描前方的地形来检测障碍,融合 GPS、INS 和车轮转速的信息来确定自身位姿。



图 1-2 斯坦福大学无人车“斯坦利”

依靠这些设备,“斯坦利”用时 6 小时 53 分钟,在加利福尼亚和内华达州之间的莫哈维沙漠中自主行驶 212km,率先完成赛程。这对于自主移动机器人的研究是具有里程碑意义的事件,标志着自主无人驾驶车已经进入了实用化阶段。

如图 1-3 所示,1997 年,美国航空航天局 (NASA) 成功研制了第一代火星探测机器人 Mars Rover,并成功登陆了火星^[2],这在机器人应用上尚属首次,开启了人类利用该技术进行空间探测的先河。为了探测火星的实际地质环境,NASA 研制出了新一代样机,根据原先收集到的火星的地质信息,选择 Lavic 湖的岩溶流和干枯的湖床作为模拟实验环境,进行了成功的应用。2004 年 1 月,美国 NASA 火星探测移动机器人“勇气”号和“机遇”号先后顺利登陆火星表面^[3],将人类的视觉、触觉和行动延伸到了火星。

如图 1-4 所示, Kompai 是法国服务机器人公司 Robosoft 开发研制的助老助残机器人, Kompai 不仅能够实现完全自主导航, 而且具有了很大的智能性, 能听懂人类语言, 能够与人交流, 如提醒用户开会时间、记录购物清单、播放音乐, 还能够作为病患与医生远程视频交互的好帮手。

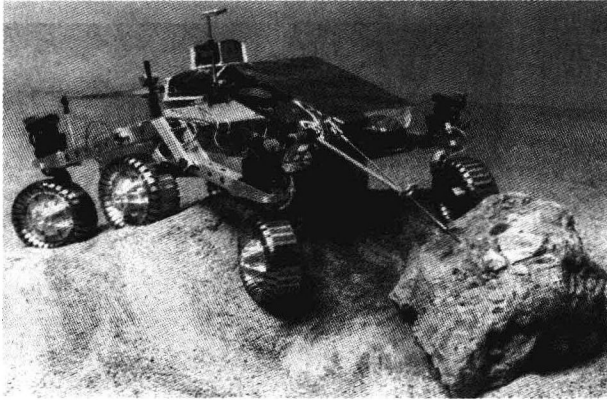


图 1-3 Mars Rover 火星探测机器人



图 1-4 Kompai 服务机器人

在移动机器人研究领域, 我国起步较晚, 但是国家重视程度越来越高, 资金和人员上的投入越来越多。以中科院自动化研究所、哈尔滨工业大学、国防科技大学、清华大学和东北大学为代表的机器人研究基地^[4], 在机器人的理论研究和实际应用上都取得了丰硕的成果^[5]。比较典型的成果如下:

中科院自动化研究所研制出我国第一代智能轮椅平台, 如图 1-5 所示, 该平台已经具备了超声、红外等多传感器融合的导航系统^[6]。该导航系统实现了以下功能: 利用传感器检测前方是否有障碍物, 自动进行避障或平滑停止; 通过传感器检测前方是否有沟或坑, 自动停止向前运动, 从而避免出现跌落或倾翻等危险, 并可实现简单的口令控制。

哈尔滨工业大学机器人研究所研制出了智能服务机器人: 迎宾机器人“飘雪”如图 1-6 所示。其特点是具有两只仿真人的作业手臂, 每只作业臂上有 7 个关节, 具有很强的协调性和精确性。在其身上设置安装了多个传感器, 可以灵活地自主避障。它除了具有自主移动功能外, 还有一定的服务、作业功能, 如应用于医学领域, 通过遥控指令, 该机器人可以为病人倒水喂药; 通过中间部位的显示屏表述自己的意愿, 和病人交流; 利用语音合成软件以提问与回答的形式, 与病人进行简单、互动语言对话。

此外, 还有中科院自动化研究所研制的移动机器人平台 CASIA, 该平台融合了自动避障、语音识别和计算机视觉等多种技术; 香港城市大学自动化以及制造研究中心研制的自动导航车和服务机器人等。这些成果代表了我国在移动机器人技术领域取得的突出成就。但从总体水平上看, 我国移动机器人技术比起发达国家还有一定的差距。



图 1-5 中科院自动化研究所研制的智能轮椅

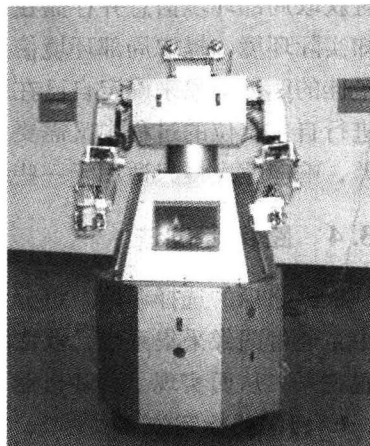


图 1-6 迎宾机器人“飘雪”

1.3 移动机器人自主定位方法

目前，机器人比较典型的自主定位方法主要有以下几种：航位推算法、模式匹配定位法、路标定位法、GPS 定位法、组合方法等。

1.3.1 基于全局系统的定位方法

GPS 是典型的全局定位系统。基于 GPS 的自主定位技术已经非常成熟，在很多领域都有应用。由于 GPS 可以提供全局信息，在机器人进行自主定位时，采用 GPS 技术无累计误差，实时性较好。在室外移动机器人的定位导航中，该方法已经被广泛应用且效果显著。其主要缺点是，在探测物体信息和信号传输时容易出现遮挡现象，致使定位精度较差。尤其在室内环境下，由于其具有封闭性，为防止信号遮挡在使用时需要对环境进行特殊改造，成本较高且需要大量外界技术支持。

1.3.2 航位推算法

航位推算法主要利用机器人自身装备的各种传感器装置，获取当前时刻机器人的动态位置信息，并通过简单的递推公式得出机器人的位置估计。其原理如下：机器人运动时，利用本身装备的传感器装置获得自身的位移信息，并通过计算累计值获得机器人相对于起始点的估计位置，从而实现自主定位。该方法的主要缺点是：首先，起始位置必须准确，否则定位误差会随着位移的增加而累积；其次，相对传感器的输出往往与机器人的实际运动结果并不对应，例如，在一个运动过程中，当机器人原地旋转一圈时，机器人的实际位移为零，而码盘记录的实际值不为零。因此，航位推算法只可用作辅助方法，用于机器人较短时间内的位置估计，在大范围环境内机器人的自主定位并不适用。

1.3.3 模式匹配定位法

模式匹配定位法的基本原理：机器人装备有各种传感器装置，在开始工作之前使用这些

装置获取局部环境信息并存储在建立好的模式数据库内；在机器人运动过程中，利用传感器感知实际环境，提取局部环境信息，并与存储在数据库内的已有环境信息进行匹配，通过确定最佳的匹配对象来确定自己在环境中的位置。但是，由于事先需要存储大量环境信息，而在进行自主定位的过程中又需要大量的特征提取和模式匹配的计算，因此，自主定位的实时性差，响应速度慢只适用于一些结构相对简单、工作范围较小的情况。

1.3.4 路标定位法

根据路标的选择不同，可分为自然路标定位法和人工路标定位法。移动机器人在运动过程中，通过图像采集系统，获取路标的图像信息，根据相关的算法计算机器人与路标之间的位置关系，从而实现了移动机器人的自主定位。

1. 自然路标定位

采用自然路标定位时，通常选取环境中一些有明显特征的自然物体作为参照路标，该特征容易被识别，不易出现混淆。该方法主要用于以下情况：在机器人自主定位之前，其运行路径是事先规划好的，并可以建立可靠的局部地图和全局地图。

2. 人工路标定位

由于人工路标在设计时，其颜色、形状和分布等信息都为已知，因此，采用人工路标进行定位时，机器人能相对容易地对路标进行识别；另外，人工路标在设计时，多选用规则的形状，根据机器人与路标之间的相对关系，容易实现机器人自主定位，定位结果通常也具有较好的鲁棒性。

1.3.5 组合方法

由于每个定位方法都有自己的缺点和不足，仅单独采用某一种定位方法得出的结果很难满足人们的需要。因此，在实际应用中常常采用多种定位方法相结合，形成组合定位导航系统。充分发挥每个方法的优势^[8]，利用多种信息源的冗余技术克服定位过程中的不确定性，从而可以提高移动机器人定位和导航的精度。但是，如果采用组合方法在机器人上装备过多的传感器，就会增加系统的成本，算法上也很难实现，不能简单地使用单个算法的逻辑相加，其结果就是可靠性变差，与实际情况相差甚远。

综上所述，在大范围复杂环境内，GPS定位法和模式匹配定位法定位误差较大，难以满足移动机器人自主定位和导航的需要。而利用路标定位时，图像采集系统能否快速准确地提取出路标信息，也是实现机器人自主定位的难题。因此，如何合理设计新型人工路标系统，提出切实可行的识别算法是本书的研究重点。

1.4 基于路标的视觉导航研究现状

基于路标的视觉导航是事先将环境中的一些特殊景物选为路标，机器人在识别这些路标的基础上，通过提取路标信息和相应的算法来实现自主定位。机器人在实现定位的同时，以路标为节点，将全局线路分解成连贯的片段，通过对路标不间断探测以完成导航任务。根据使用的路标不同，可分为自然路标系统导航和人工路标系统导航。

1.4.1 基于自然路标的导航

基于自然路标的导航不改变机器人的工作环境，机器人依靠自身装备的图像采集系统，提取路标特征信息以实现导航，工作时选取环境中一些有明显特征的自然物体作为机器人自主定位时的参照路标，并且事先可以确定机器人的运行路径（在已建立可靠的局部地图和全局地图的情况下）。但是采用自然路标实现移动机器人自主定位的主要问题是：

1) 路标的选择没有成熟的规则和标准。

2) 光照条件和视角变化时，在原有算法下，路标特征信息提取困难，因而从复杂环境中提取自然路标的难度增大，路标识别算法的鲁棒性和实时性都不能很好地满足要求。

3) 自然路标往往特征类似，仅仅利用路标自身的信息常常难以对不同路标进行区分。在导航时，必须同时使用全局地图才能避免出现“路标混淆”现象。

1.4.2 基于人工路标的导航

人工路标导航是机器人通过对人为放置的特殊标志的识别来完成导航，由于这些特殊标志物的位置、颜色、形状和分布等信息都为已知，人为地改善了机器人的工作环境，导航相对比较容易实现。因此，采用人工路标进行导航时，机器人能相对容易地对路标进行识别，并根据机器人与路标之间的关系实现机器人自主定位，其结果通常也具有较好的鲁棒性。然而，现有基于人工路标的定位方法存在的主要问题是：

1) 人工路标本身没有成熟的设计规则和标准。

2) 采用人工路标定位时常利用三角定位的方法，机器人需要同时观测到3个或3个以上的人工路标，需要对环境进行较大的改变和规划。

3) 单个路标所提供的信息量有限，在复杂环境中难以满足机器人自主定位导航任务的实际需要，也无法为机器人提供视觉伺服控制所需要的位置与角度信息。

1.5 课题研究的背景及意义

实现自主定位与导航是智能移动机器人的基本功能之一，也是其完成各种任务的重要前提。目前大多数智能服务机器人的自主定位与导航能力很低，只能在室内环境内实现小范围的自主漫游，或者根据事先给定的地图沿着给定路径自主移动，难以在复杂环境中完成大范围的自主定位与导航。例如，日本本田公司的机器人 ASIMO、富士通公司的看护机器人、美国 iRobot 公司的 Roomba 和美国 Helpmate 公司的护士助手等著名机器人。

随着 GPS 技术的不断发展，在室外环境下，移动机器人借助 GPS 技术能够实现自主定位与导航；但是，在室内环境下，常常无法通过 GPS 等方式获得自己在全局地图中的具体位置以及周围的环境信息。目前条件下，利用路标实现定位和导航是常用的方法。路标有自然路标与人工路标之分，由于在读取自然路标信息时，光照条件和视角变化影响较大，另外自然路标不仅经常变化，而且特征不鲜明独特，容易出现“路标混淆”现象。因此当环境比较复杂时，机器人难以准确、快速地完成路标提取任务。与自然路标相比，在设计人工路标时，可以根据视觉识别的需要，在颜色和形状上进行有针对性的设计，在复杂环境下也容易被快速识别出来。因此，如何设计新型人工路标系统是研究工作的重点。

同时定位与地图构建 (SLAM) 方法为解决机器人的自主导航提供了一种新的思路, 在一定区域内, 按一定规则设置人工路标, 规划好机器人的行走路径, 利用新型人工路标来构建导航地图, 并将首次的地图信息存储, 在下次的实验中, 机器人利用存储的地图信息实现自主导航。同时在导航的过程中, 不断构建更新的地图。视觉传感器由于其具有信息量大的特点, 视觉 SLAM 是移动机器人自主导航的未来发展趋势。

如何合理设计并有效利用新型人工路标系统, 解决复杂环境中基于机器人视觉系统的路标识别问题, 将是解决移动机器人自主定位与导航的重要途径, 也对解决大范围复杂环境中机器人自主定位与导航问题、促进智能移动机器人的应用与发展具有重要意义。另外, 鉴于自然路标和人工路标的各自特点, 综合利用它们的特点, 优势互补, 实现基于混合路标的移动机器人自主定位和导航, 对今后的研究工作有重要的借鉴意义。

第2章 研究平台

2.1 引言

本课题研究基于中科院的智能移动机器人 AIM (Advanced Intelligent Mobile Robot) 平台, 该平台采用两驱动轮和两支撑轮结构, 以差分方式进行驱动, 运行灵活, 控制方便^[14]。该平台是课题研究的基础, 研究成果均在该平台上进行了验证。

图 2-1 和图 2-2 分别为智能机器人 AIM 平台实物外观的前视图和后视图, 它们向人们形象地展示了移动机器人的实物外观。该机器人本体主要由机械系统、驱动控制系统、通信系统、图像采集系统、传感器系统以及人机交互系统等组成^[15]。该系统的上位机为低功耗 CPU 单板微型计算机。在控制方法选择上, 双轮差动驱动控制系统采用伺服控制技术, 控制灵活, 带负载能力强。机器人上装有可以旋转的云台装置, 摄像装置装在旋转云台上; 通过云台的转动, 带动摄像机的旋转, 以获取周围的环境信息。云台的开、关有手动和上位机控制两种方式可选, 方便灵活。对于传感器系统, 其数量、种类和安装位置可以根据用户的实际需要自行配置。

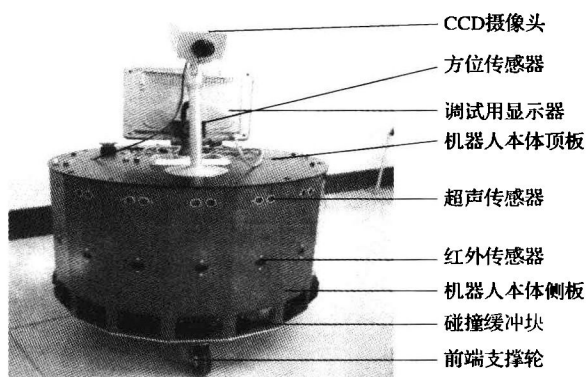


图 2-1 机器人 AIM 平台实物外观前视图

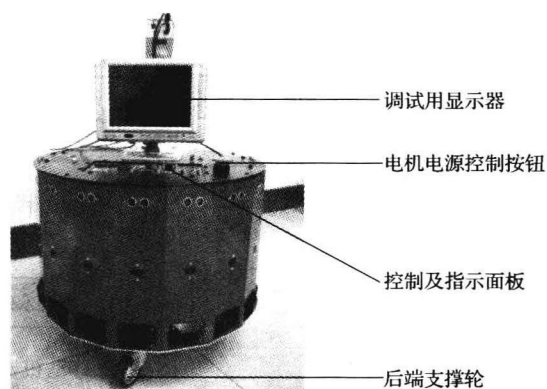


图 2-2 机器人 AIM 平台实物外观后视图

2.2 机器人研究平台 AIM 的硬件结构

智能机器人在设计时, 各个子系统均采用模块化设计方式, 集成化程度高, 其特点如下:

- 1) 机器人以差分方式驱动, 速度调节范围大, 转弯灵活, 即使在不很平坦的路面上也能行走自如。
- 2) 机器人控制系统采用主从分布式控制结构, 每个子模块单独集成设计, 有独自的数

据处理机制，便于上位机的调用。

3) 上位机设计采用开放式控制接口，当原有设计不能满足实际需要时能够进行一定的扩展。

4) 机器人可以遥控操作，也可以键盘输入，配合显示器装置便于用户的操作。USB 口和网口实现了多机器人之间的通信和与外界的通信交流。

5) 旋转云台固定在顶层板上，摄像机固定在云台上，便于摄像机的旋转和上下调节，以采集更多的图像信息。

6) 16 路超声传感器和 16 路红外传感器以等间距方式分布在机器人本体四周。

7) 允许连续运行（移动状态）时间：3h。

2.2.1 系统框架

AIM 机器人系统主要由机械系统（移动平台本体、前后两个支撑轮及左右两个驱动轮等）、驱动控制系统（驱动控制 DSP 板、电机驱动板和左右两个驱动电机等）、非视觉传感器系统（传感器 DSP 控制板，红外、方位和超声等传感器）、视觉系统（摄像头、云台和图像采集卡等）、上位机系统、电源系统、通信系统以及人机交互系统（显示器和指示面板）等组成，其整体结构图如图 2-3 所示。

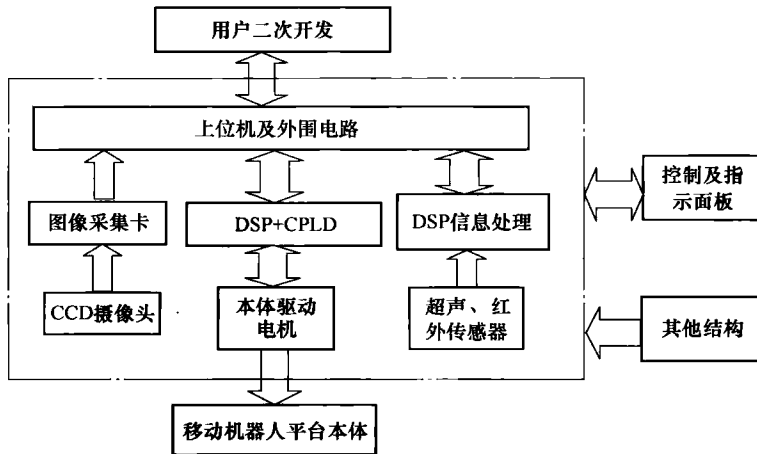


图 2-3 移动机器人平台的整体结构图

2.2.2 上位机控制系统

机器人上位机控制系统采用单板计算机，Windows XP 操作系统，提供 USB 调试键盘和 USB 鼠标，具有外接显示器接口，另外提供 4 个串口、两个 USB 接口及一个以太网接口。

机器人控制系统采用主从式分布计算机控制。上位机系统作为主系统，负责协调和控制各个子模块系统。各个子系统都有自己的数据处理机制。上位机的主要任务是负责数据融合、任务分解和策略选择制定^[16]。机器人在执行某个功能的过程中，当需要某个模块的数据信息时，通过在程序中的设置，上位机可以直接调用。由于在设计时，每个模块都有单独的数据处理机制，大部分数据已经加工处理完毕，因此上位机调用的数据量大为减少，大大