

## 移动机器人概述

本章主要介绍移动机器人的发展历程,按照工作环境、移动机构、控制体系结构、功能和用途,以及作用空间分别对移动机器人进行分类;重点阐述轮式移动机器人和步行移动机器人的工作方式。移动机器人在工厂自动化制造、工厂物流、建筑、采矿、排险、军事、服务、农业等方面有广泛的应用和发展前景,本章分别从制造领域、物流领域、服务领域、农业领域四方面详细介绍。

机器人(robot)是自动执行工作命令的机器装置。它既可以接受人类指挥,又可以运行预先编排的程序,也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。国际上对于机器人的分类标准不统一,根据应用环境不同机器人可以分为两类: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。

而众多应用机器人中,移动机器人涉及的关键技术最多、应用最为广泛。移动机器人是一个集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多功能于一体的综合系统,可在复杂环境下进行自行组织、自主运行、自主规划等工作。常见的移动机器人如图 1-1 所示。



图 1-1 移动机器人

## 1.1 移动机器人的发展历程及关键技术

### 1.1.1 移动机器人发展现状

移动机器人的发展已有几十年历史,“移动”是机器人的重要标志。世界上第一台能实现移动的机器人叫 Shakey,由查理·罗森(Charlie Rosen)领导的美国斯坦福研究所(现在称为 SRI 国际)于 1956—1972 年研制而成,Rosen 于 1963 年 11 月提出移动机器人构想,其团队在 1965 年向 DARPA(美国国防部高级研究计划局)撰写了一份研究计划,详细叙述了能够执行侦查任务的智能移动机器人。之后,计算机的发现与发展,使得移动机器人的进展更加迅速。尤其是传感器、定位系统等技术的成熟都促进了移动机器人的研究发展。

#### 1) 美国移动机器人的发展

美国早在 1989 年就已经出台了关于联合机器人研究计划,并持续地针对机器人制定相关的规划和任务;美国在移动机器人领域一直处于领先地位。特别是美国明尼苏达大学计算机科学与工程系协作系统实验室研制的用于搜救及行星探测等任务的肢体机器人 TerminatorBot,性能突出。该机器人手臂具有 2 个 3 自由度,同时有移动和操作功能。在运送时,机器人手臂可完全放入躯干内部。再加上尺寸小、重量轻、可在崎岖的地形中采用游泳步态、穿越步态及轮式步态移动等功能,提高了其通过狭窄空间的能力,且制造成本低廉。

#### 2) 日本移动机器人的发展

日本将机器人作为一个战略产业,给予了大力支持,而且日本根据目前机器人产业面临的问题,提出了加强机器人研究和推动机器人产业化的具体措施。在日本,由于人口不多,而且老龄化趋势严重,他们需要机器人来承担劳力的工作,因此培养起浓厚的机器人文化;日本为了攻克服务机器人的关键技术,在 2006—2010 年,每年投入 1000 万美元用于研发服务机器人。

日本的移动机器人,现阶段处于世界领先水平。比较突出的研究成果有:日本 KIMURA 实验室研制的六腿爬行机器人 T-Hexs,既有移动功能,又可夹持磁碟盒。Noriho Koyachi 教授研制的 MELMANTIS 第二代产品,具有很高的运动和夹持物体的能力。大阪大学工程科技研究所研制的 ASTERISK 机器人,可使用每个腿移动及搬运物品或进行操作作业。日本东京工业大学的 Shigeo Hirose 教授,研制开发了可以用来探雷、排雷的四腿肢体机器人 TITAN-IX。

#### 3) 欧洲移动机器人的发展

欧洲对于机器人的研究主要体现为制定了欧洲第七框架计划,这一计划的成功可以为机器人模块功能以及危险作业这一比较空白的领域进行填补。

#### 4) 韩国移动机器人的发展

韩国将服务型机器人技术列为未来国家发展的十大“发动机”产业,他们已经把服务型机器人作为国家的一个新的经济增长点进行着重发展,对机器人技术给予了重点扶持。通过不断努力,近几年来韩国机器人相关技术也是飞速发展。韩国信息通信部官员表示,虽然韩国的机器人技术起步比美国、日本和欧洲的竞争者要晚,但是有望在未来 5~10 年内迎头赶上。

### 5) 中国移动机器人的发展

中国对服务机器人的研究起步很晚,1986年3月才开始把研究、开发智能机器人的内容列入国家“863”高科技发展规划中,从1986—2009年的20多年中,团结了几千人的研究开发队伍,圆满完成各项任务,建成了一批高水平的研究开发基地,造就了一支跨世纪的研究开发队伍,为我国21世纪机器人技术的持续创新发展奠定了基础。

近年来我国在智能机器人领域也取得了良好的发展成果,尤其是机器人定位导航技术在很多企业的参与下也取得了良好的效果,思岚科技、小笨智能等企业在移动智能机器人方面均取得了突破性的发展,拥有相对成熟的定位导航技术,其中思岚科技以RPLIDAR系列激光雷达作为核心传感器,配合自主研发的高性能模块化定位导航系统SLAMWARE,提升了机器人的智能程度,可以按照作业要求完成自主定位、路径规划、自动避障、自动建图,从而提升了智能机器人的行走能力。

华中科技大学机械学院的陈学东研制出的模块化多足爬行机器人,实现了腿臂功能融合。该机器人机构设计简单但传动精度较低。其机构主要是:运用行星轮机构,加快了腿臂机构转换速度;把驱动电机、减速器等传动部件设置在机身上,有效地减轻了腿部重量,使得结构简单紧凑,并且整个机器人重量比较集中;肢体在机体躯干的上、下部有了较大运动空间。但由于把行星轮环节引入到了传动路线,使得啮合齿存在一定的齿侧间隙,这一无法克服的缺陷限制了机器人的传动精度。

每一个国家都在致力于移动机器人的开发制造,尤其是现代科学、经济、社会的全面发展,都要求能够有移动机器人来替代和分担人类的某一部分工作,一些智能化移动机器人纷纷被研究制造出来。

## 1.1.2 移动机器人关键技术

### 1. 计算机控制系统

计算机控制系统控制着移动机器人的某些“智能”,比如如何才能知道机器人本身所处的环境,如何面对一个指令进行分析推理,如何才能实施一个正确的行为都是计算机需要控制的,这就依赖于其强大的传感器功能。

### 2. 导航技术

移动智能机器人在导航技术下可以根据传感器提供的信息,感知其所在的环境状况,按照预先设定的程序完成躲避障碍等操作,导航技术是移动机器人可以正常运行的重要技术。

虽然导航技术在生活中应用范围广,但是为了提升移动智能机器人行走的灵活性,还需要加强导航技术在机器人领域的研究力度,常见的导航方式有电磁导航、超声波导航、激光导航和视觉导航等。

#### 1) 电磁导航

其原理是在地下埋下导线,通过导线中不同频率电流产生的磁场从而“引导”机器人的行动,属于典型的非主动导航模式。该方式的优点是结构简单,便于操作,并且受外界环境的影响小;然而,由于其路线是提前固定的,因此应变能力较差。

#### 2) 超声波导航

超声波导航是移动机器人导航方式中应用最广泛的一种,其实质为通过超声波传感器

实现距离测量。超声波发射器发出超声波,超声波在遇到障碍物后返回超声波接收器,通过计算两者的时间差即可得出机器人与障碍物之间的距离。

### 3) 激光导航

其原理是在行驶路径周围安装位置精确的反射板,移动机器人通过发射激光束,同时采集由反射板反射的激光束,即可确定其当前的位姿。激光导航可实现较高的精度,然而由于其需要依靠激光束进行测距,因此容易受外界环境因素(如天气、光线等)的干扰。

同步定位与地图构建导航(simultaneous localization and mapping,SLAM)作为机器人自主移动的关键技术,最早由 HughDurrant-Whyte 和 John J. Leonard 提出,它被定义为解决机器人从未知环境的未知地点出发,在运动过程中通过重复观测到的地图特征(比如,墙角、柱子等)定位自身位置和姿态,再根据自身位置增量式的构建地图,从而达到同时定位和地图构建的目的,如图 1-2 所示。我国思岚科技研究的移动机器人以 RPLIDAR 系列激光雷达作为核心传感器,并配合自主研发的高性能模块化定位导航系统 SLAMWARE,可使机器人实现自主定位、自动建图、路径规划与自动避障,帮助解决机器人自主行走难题。

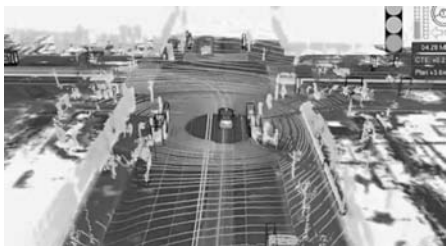


图 1-2 移动机器人地图构建

最新一代 TOF 激光雷达传感器 RPLIDAR S1 可完成 40m 的测量半径,在远距离物体条件下,测量精度依旧精准、稳定,并可有效避免环境光与强日光的干扰,实现室外场景的稳定测距与高精度建图。为了帮助机器人适应多种应用环境,构建了全新的 SLAM 3.0 系统,可使机器人在复杂的大场景下也能轻松完成定位导航任务,能实现百万平方米级别的地图构建能力,同时拥有主动式回环闭合纠正能力,能很好消除长时间运行导致的里程累计误差,成为目前行业中最受欢迎的定位导航方式。

### 4) 视觉导航

视觉导航是最先进的导航技术之一,其原理是在地面上涂上与周围颜色反差较大的涂料或油漆,根据机器人中安装的摄图传感器不断拍摄的图片与存储图片进行对比,偏移量信号输出给驱动控制系统,控制系统经过计算纠正机器人的行走方向,实现对其的导航。

除以上 4 种导航方式以外,还有 GPS 导航、红外导航等导航方式。

## 3. 多传感器信息融合技术

多传感器信息融合技术是移动智能机器人的核心技术,从多个传感器获得环境信息,并对环境信息进行融合、分析、处理,统一信息的实时性、互补性、冗余性,从而可以发挥环境信息的价值,让机器人通过分析的信息,掌握所处环境的特点,并根据系统内部植入的算法进行判断,保障机器人可以按照工作需要移动。

## 4. 路径规划技术

路径规划技术根据机器人的移动要求,确定性能指标,规划无碰撞的行进路线,分析传

传感器收集的环境信息,凭借环境信息控制程度将机器人行进路径分为局部与全局两种类型,收集足够丰富的环境信息,是移动机器人路径规划技术得以发挥的前提。

### 1.1.3 移动机器人的发展方向

移动机器人的出现间接表明了技术的发展历程,从一开始的机械行动逐步提升至机器人行为的智能程度,在当下人机共存的社会中,需要了解移动机器人对我们生活工作起到的重要作用,同时还应该加强对移动机器人技术的研发,通过多机器人协调与控制导航与定位、多传感器信息融合,从而使其可以完成各项活动。但是为了进一步提升机器人的行为能力,使其向高智能情感机器人发展,需要进一步提升相关技术,让移动机器人具备情感是未来机器人的发展主潮流。

#### 1) 微小型移动机器人的发展

目前,移动机器人由于内部需安装传感器等必要软件,所以体积和质量一般较大,而一般科学探索往往要求体积小、质量轻,这样有利于节省能源、降低不必要的能耗,延长机器人的服役时间。因此微小型是移动机器人发展的一个必然趋势。

#### 2) 仿生移动机器人的发展

仿生学主要从结构仿生、材料仿生、控制仿生等方面来研究移动机器人。虽然目前人类已经研究出部分仿生机器人,但其行走速度与准确性与人类相比还有很大的距离。

#### 3) 高可靠性移动机器人的发展

根据前文所述,机器人种类多样,其面临的环境也十分复杂,可能是海洋、沙漠乃至外星,因此必须对机器人的针对性、适应性、可靠性等进行设计与规划。

#### 4) 智能控制移动机器人的发展

移动机器人面对的是动态的外部环境,实时感知外部环境中环境信息的变化,自主控制避开障碍和危险,安全完成任务是人类制造移动机器人的初衷,因此控制技术应向更智能控制发展。此外,控制技术还将与脑科学、神经科学等学科相结合,以此提高机器人的智能化水平。

## 1.2 移动机器人的种类

移动机器人按照不同方式,种类各有不同,主要种类见表 1-1。

表 1-1 移动机器人的分类

序号	分类方式	移动机器人
1	工作环境	室内移动机器人
		室外移动机器人
2	移动方式	轮式移动机器人
		步行移动机器人
		蛇形机器人
		履带式移动机器人
		爬行机器人

续表

序号	分类方式	移动机器人
3	控制体系结构	功能式(水平式)结构机器人
		行为式(垂直式)结构机器人
		混合式机器人
4	功能和用途	医疗机器人
		军用机器人
		助残机器人
		清洁机器人
5	作用空间	陆地移动机器人
		水下机器人
		无人飞机
		空间机器人

根据机器人的工作特征、应用范围,重点介绍以下移动机器人。

### 1.2.1 室内和室外移动机器人

室内移动机器人对定位精度要求高, GPS 等卫星导航方式一般达不到机器人定位精度要求,定位是室内移动机器人的一个难点。但随着目前人工智能的兴起,机器视觉也在机器人上大放异彩,室内定位难题也正在逐渐解决。和室内机器人相反,室外机器人环境空间大,定位精度要求相对室内没那么高,但难点是室外环境的多变和不确定。

### 1.2.2 轮式和步行移动机器人

移动机器人的移动机构主要有轮式移动机构、履带式移动机构及步行移动机构,此外还有步进式移动机构、蠕动式移动机构、蛇行式移动机构和混合式移动机构,以适应不同的工作环境和场合。一般室内移动机器人通常采用轮式移动机构,室外移动机器人为了适应野外环境的需要,多采用履带式移动机构。一些仿生机器人,通常模仿某种生物运动方式而采用相应的移动机构,如机器蛇采用蛇行式移动机构,机器鱼则采用尾鳍推进式移动机构。其中轮式的效率最高,但适应性能力相对较差;而步行的移动适应能力最强,但其效率最低。下面主要介绍轮式移动机器人和步行移动机器人。

#### 1. 轮式移动机器人

轮式移动机器人是移动机器人中应用最多的一种机器人,在相对平坦的地面上,用轮式移动方式是相当优越的。轮式移动机器人根据车轮的多少来分类,有 1 轮、2 轮、3 轮、4 轮及多轮机器人。1 轮及 2 轮移动机构在实现上的障碍主要是稳定性问题,实际应用的轮式移动机器人多采用 3 轮和 4 轮。3 轮移动机构一般是一个前轮,两个后轮。其中,两个后轮独立动,前轮是万向轮,只起支撑作用,靠后轮的转速差实现转向。

4 轮移动机器人应用最为广泛,4 轮机构可采用不同的方式实现驱动和转向,既可以使用后轮分散驱动,也可以用连杆机构实现 4 轮同步转向,这种方式比起仅有前轮转向的车辆

可实现更小的转弯半径,如图 1-3 所示。

## 2. 步行移动机器人

轮式移动机器人虽可以在高低不平的地面上运动,但是它的适应性不够好,行走时晃动较大,在软地面上行驶时效率低。根据调查,地球上近一半的地面不适合传统的轮式或履带式车辆行走,但是一般的多足动物却能在这些地方行动自如,显然,步行移动机构在这样的环境下有独特的优势。

步行移动机器人对崎岖路面具有很好的适应能力,步行运动方式的立足点是离散的点,可以在可能到达的地面上选择最优的支撑点,而轮式和履带式移动机构必须接触最坏地形上的几乎所有点。步行运动方式还具有主动隔振能力,尽管地面高低不平,机身的运动仍然可以相当平稳。步行行走机构在不平地面和松软地面上的运动速度较高,能耗较少。

现有的步行移动机器人的足数分别为单足、双足、三足、四足、六足、八足,甚至更多,如图 1-4 所示。足的数目多,适合于重载和慢速运动。在实际中,由于双足和四足具有最好的适应性和灵活性,也最接近人类和动物,所以用得最多。



图 1-3 轮式移动机器人



图 1-4 步行移动机器人

## 1.2.3 其他种类的移动机器人

### 1. 管道移动机器人

目前,管道的检测和维护多采用管道移动机器人来进行。管道移动机器人是一种可沿管道内壁行走的机械,它可以携带一种或多种传感器及操作装置,如 CCD 摄像机、位置和姿态传感器、超声传感器、涡流传感器、管道清理装置、管道焊接装置、简单的操作机械手等,在操作人员的控制下进行管道检测维修作业,如图 1-5 所示。

### 2. 水下移动机器人

21 世纪是人类开发海洋的新世纪,进行海洋科学研究、海上石油开发、海底矿藏勘测、海底打捞救生等,都需要开发海底载人潜水器和水下移动机器人技术。因此,发展水下机器人意义重大。水下机器人的种类很多,如载人潜水器、遥控有缆水下机器人、自主无缆水下机器人等,如图 1-6 所示。



图 1-5 管道移动机器人



图 1-6 水下移动机器人

### 3. 空中移动机器人

空中移动机器人在通信、气象、灾害检测、农业、地质、交通、广播电视等方面都有广泛的应用。目前其技术已趋成熟,性能日益完善,逐步向小型化、智能化、隐身化方向发展,同时与空中移动机器人相关的雷达、探测、测控、传输、材料等方面也正处于飞速发展的阶段。空中移动机器人主要分为仿昆虫飞行移动机器人、四轴飞行器、微型飞行器等,如图 1-7 所示。

微型飞行器的研制是一项包含了多种交叉学科的高、精、尖技术,其研究水平在一定程度上可以反映一个国家在微电机系统技术领域内的实力,它的研制不仅是对其自身问题的解决,更重要的是,还能对其他许多相关技术领域的发展起推动作用,所以研制微型飞行器不管是从使用价值方面考虑,还是从推动技术发展考虑,对于我国来说都是迫切需要发展的一项研究工作。

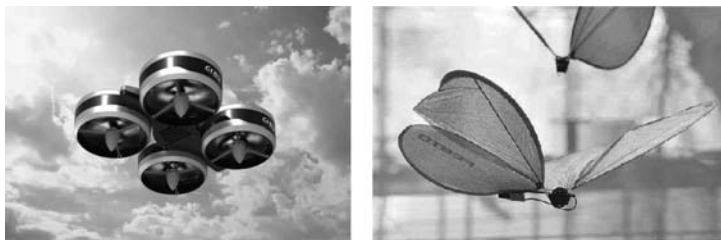


图 1-7 空中移动机器人

### 4. 军事移动机器人

军事是目前机器人使用较广泛的一个领域,随着现代战争逐渐向高新技术方向发展,机器人的使用将大大减少战场上人员的伤亡。军用移动机器人有侦察机器人、爆炸物处理移动机器人、救援机器人、步兵支援机器人和无人机等,如图 1-8 所示。

### 5. 服务移动机器人

服务移动机器人是一种半自主或全自主工作、为人类提供服务的机器人,目前主要有医用机器人、家用机器人、娱乐机器人、导游机器人、智能轮椅等,如图 1-9 所示。智能轮椅是将智能移动机器人技术应用于电动轮椅,融合多个领域的研究,包括移动机器人视觉、移动机器人导航和定位、模式识别、多种传感器融合及用户接口等,涉及机械、控制、传感器、人工智能等技术。

## 6. 仿生移动机器人

仿生移动机器人是指模仿生物、从事生物特点进行工作的移动机器人。有一些蛇形移动机器人、蜘蛛移动机器人、壁虎移动机器人、机器蛙等仿生移动机器人,在搜救、侦察方面都有很好的应用价值,如图 1-10 所示。



图 1-8 军事移动机器人



图 1-9 服务移动机器人



图 1-10 仿生移动机器人

## 1.3 移动机器人的应用领域

移动机器人在工厂自动化制造、工厂物流、建筑、采矿、排险、军事、服务、农业等方面有广泛的应用和发展前景。下面从制造领域、物流领域、服务领域、农业领域 4 方面展开详细介绍。

### 1.3.1 制造领域

移动机器人(automated guided vehicle, AGV)在制造业领域主要应用于生产线上、下料的搬运,车间与仓库间的转运出入库以及作为生产线上的移动平台进行装配工作,如图 1-11 所示。

AGV 能在制造领域成为最受欢迎的“员工”,除了其他外界因素外,主要是因其能高效、准确、灵活并且没有任何情绪地完成每项任务。由 AGV 组成柔性的物流搬运系统,搬运路线可以随着生产工艺流程的调整而及时调整,使一条生产线上能够制造出十几种产品,大大提高了生产的柔性和企业的竞争力。AGV 在汽车制造厂,如本田、丰田、神龙、大众等汽车厂的制造和装配线上得到了普遍应用。AGV 的应用深入到电子电器、医药、化工、机械加工、卷烟、纺织、造纸等多个行业,生产加工领域成为 AGV 应用最广泛的领域。



图 1-11 移动机器人

### 1.3.2 物流领域

移动机器人在仓储物流领域主要应用于仓储中心货物的智能拣选、位移,立体车库的小车出入库以及港口码头机场的货柜转运。其中,仓储物流机器人中最被熟知的是亚马逊公司的 Kiva 机器人,目前有超过 15000 台 Kiva 机器人在亚马逊的物流中心工作。它们增加了仓库空间的容纳量,在中心使用 Kiva 系统能处理 50% 以上的库存。

#### 1. 码垛作业

码垛作业是由码垛机器人将封箱机封装好的成品完成在托盘上的码垛。一台封箱机对应一台码垛机器人,封箱机出来的成品可直接进行码垛,无须进行品牌识别,但机器人利用率低;采用一台机器人码垛两种品牌的成品,同时对两种品牌的成品进行码垛作业,需要通过条码识别器辨认品牌后,机器人再把不同品牌的成品自动码垛到相应托盘上;此外,在品种多、流量小的情况下,一台机器人还可完成多种品牌的码垛作业,关键是在机器人作业范围内布置多个托盘用来码垛。

#### 2. 拣选作业

拣选作业是由移动式机器人来进行品种拣选,如果品种多,形状各异,机器人需要带有图像识别系统和多功能机械手,每到一种物品托盘,机器人就可根据图像识别系统“看到”的物品形状,采用与之相应的机械手抓取,然后放到搭配托盘上。

#### 3. 机器人技术在装卸搬运中的应用

装卸搬运是物流系统中最基本的功能要素之一,存在于货物运输、储存、包装、流通加工和配送等过程中,贯穿于物流作业的始末。当前,机器人技术越来越多地应用于物流的装卸搬运作业,从而直接提高了物流系统的效率和效益。搬运机器人可安装不同的末端执行器来完成各种不同形状和状态的工件搬运工作,大大减轻了人类繁重的体力劳动。目前已被广泛应用到工厂内部工序间的搬运、制造系统和物流系统连续的运转以及国际化大型港口的集装箱自动搬运。搬运机器人出现后,不仅可以充分利用工作环境的空间,而且提高了物料的搬运能力,大大节约了装卸搬运过程中的作业时间,提高了装卸效率。部分发达国家已实现物流系统的物联网作业,智能运作,实现智慧物流。相信随着物联网技术发展和智能化技术的应用,AGV 一定会面临一个更广阔的发展。