



移动机器人 自主定位技术

王殿君 魏洪兴 任福君 著

YIDONG JIQIREN ZIZHU DINGWEI JISHU

国家863项目基金资助

北京市高等学校人才强教深化计划资助

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



移动机器人自主定位技术

王殿君 魏洪兴 任福君 著



机械工业出版社

本书主要介绍基于多信息融合的移动机器人自主定位系统的相关理论基础与前沿技术,是根据作者所带领的研究团队近年来依托国家 863 专项课题所取得的学术研究和 技术实践成果整理、撰写而成的。

书中对移动机器人自主定位的相关理论、方法以及关键技术问题作了较为深入而系统的论述,不仅包含对视觉定位、无线网络、射频识别定位等基础理论的阐述,同时提出一种新的基于无线局域网、射频识别、视觉定位信息融合的机器人定位技术,以及移动机器人轨迹规划等内容作了详细介绍,力求设计理念符合国内外先进技术的发展要求,设计内容与国内外最新研究成果同步。

本书可供机械设计及理论、控制理论与控制工程、机械电子工程等相关专业的研究生阅读,也可作为机器人研究及自动化方向的科研人员及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

移动机器人自主定位技术/王殿君,魏洪兴,任福君著. —北京:机械工业出版社,2013.7

ISBN 978-7-111-42035-4

I. ①移… II. ①王…②魏…③任… III. ①移动式机器人—定位—研究 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 066710 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:吕德齐 责任编辑:吕德齐

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.5 印张 · 257 千字

0 001—2 500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42035-4

定价:49.00 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

策划编辑 (010) 88379772.

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面防伪标均为盗版

前 言

服务机器人是继工业机器人之后的又一新的研究课题，是机器人技术向非制造领域进军的标志，有着极其重要的学术研究价值和现实应用需求。时至今日，机器人已从第一代示教再现型机器人、第二代带感觉的机器人发展到第三代智能机器人，而服务机器人正是第三代机器人的典型代表。目前国外的科学家们在移动机构设计、传感器融合与环境建模技术、路径规划技术、能源技术、智能控制技术、人机交互技术、成本控制等方面都取得了长足的进步。

机器人技术是多技术集成，它的进步取决于其他领域的发展，特别是计算机、信息处理、传感器和驱动器、通信和网络等。制约服务机器人产业发展的共性技术主要包括：自主移动机器人平台技术、机构与驱动、感知技术、交互技术以及网络通信技术。根据需要开发使用无线局域网（wireless local area network, WLAN）、射频识别（radio frequency identification, RFID）以及视觉定位技术的处理和融合，这是服务机器人获得更准确、完整的环境信息、提高系统智能决策水平的关键。

基于结构化环境的室内移动机器人是一种典型的服务机器人。目前，应用于室内移动机器人的定位技术有很多，归纳起来主要有：视觉定位技术、WLAN 定位技术以及 RFID 定位技术等。视觉定位系统主要包括：摄像机或电荷耦合元件（charge-coupled device, CCD）图像传感器、视频信号数字化设备、基于数字信号处理（digital signal processing, DSP）的快速信号处理器、计算机及其外部设备等，其工作原理为对机器人周围的环境进行光学处理，完成机器人的自主导航定位功能。无线网络技术的发展和覆盖率的增加，使得人们在随时随地使用无线网络资源时，对基于位置的信息需求越来越多，这推动了无线定位技术的研究进展。随着无线通信技术的发展和数据处理能力的提高，基于位置的服务成为最具发展潜力的移动互联网业务之一。在室内环境下，快速准确地获得移动终端的位置信息和提供位置服务的需求变得日益迫切。通信和定位两大系统正在相互融合、相互促进。利用无线通信和参数测量确定移动终端位置，而定位信息又可以用来支持位置业务，提高位置服务质量。所以在各种不同的无线网络中快速、准确地获取移动位置信息的定位技术及其定位系统已经成为当前的研究热点。

本书主要研究基于多信息融合的定位技术。在对机器人驱动模式深入讨论的基础上，采用轮式驱动模式，选择 PC104 板卡标准，选用英特尔公司 XScale 架构的 PXA270 ARM 微处理器，设计机器人硬件控制系统，开发相关驱动程序。在机器人定位过程中，WLAN 定位确定机器人在实验环境中的大致范围，利用无线路由器及无线网卡构建了移动机器人定位网络。通过实验对三边定位法和概率法进行比较，采用概率法作为 WLAN 的定位方法，进行大量测试实验，确定概率法合适的定位参数，并消除无线网络定位时存在的误差跃变点。针对有源 RFID 技术在室内定位的特点，使用有源射频模块，基于 Visual C++ 6.0 平台开发出一种室内移动机器人定位系统。以极大似然估计法为基础，

选用接收的信号强度 (received signal strength indicator, RSSI) 值最大的四个标签作为定位标签, 提出一种增加移动误差的改进极大似然估计定位算法, 实现室内移动机器人位置的测量。分析尺度不变特征变换 (scale invariant feature transform, SIFT) 算法的原理, 提出了适合移动机器人自主定位的、改进的 SIFT 算法, 对图像特征点的维数和图像尺寸大小进行优化, 并进行视觉定位实验。把 A^* 轨迹规划算法、遥操作、基于 Helix 的互连网络的视频浏览、WLAN 定位、RFID 定位和视觉定位相结合, 在实际的复杂结构化环境下, 选用多段连续直线轨迹进行测试, 进行了导航机器人融合定位实验。采用 A^* 算法进行结构化环境下机器人轨迹规划, 对得到的轨迹点采用矢量方法进行分析, 保留规划轨迹起始点、拐点和终点坐标, 并计算这些点处的机器人旋转角度和方向, 再对各种情况进行仿真, 这为机器人控制奠定了良好的基础。

北京石油化工学院、北京航空航天大学 and 哈尔滨理工大学组成的研究团队在国家 863 项目 (编号 2007AA04Z255) “基于多信息融合的移动机器人自主定位关键技术研究” 和北京市属高等学校人才强教深化计划资助项目 (PHR201008355、PHR200907221) 的支持下, 对多信息融合的移动机器人自主定位关键技术开展了大量的研究工作。本书是根据作者所带领的研究团队近年来所取得的学术研究和实践成果整理、撰写而成。一方面希望推动对本专业进行更进一步的深入研究, 同时也希望能够为同行提供借鉴和参考。

近年来, 本书作者在多信息融合的移动机器人自主定位关键技术研究中获得国家 863 项目的资助, 在此对有关部门表示衷心的感谢。此外, 作者还要特别感谢博士后姜永成、硕士研究生倪鹏、兰云峰、段云涛、王伟、唐路璐、乔阳、冯玉倩、徐小龙、张立平和曹宇等同学对本书相关研究所做出的贡献。

多信息融合的移动机器人自主定位关键技术内容广泛, 涉及诸多学科领域, 由于作者水平与经验有限, 书中疏漏之处, 请各位专家、学者、同行、读者给予批评和指正, 共同推进我国机器人自主定位技术的发展。

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 无线网络定位技术现状	1
1.2 射频识别定位技术现状	2
1.3 视觉定位技术研究现状	3
1.4 信息融合技术研究现状	4
第 2 章 移动机器人系统结构	5
2.1 移动机器人本体结构	5
2.1.1 机械系统	5
2.1.2 控制系统	8
2.2 移动机器人定位系统	10
第 3 章 机器人控制系统设计	12
3.1 基于功能构件的机器人模块化体系结构	12
3.1.1 体系结构简介	12
3.1.2 功能构件的特点	12
3.1.3 控制器功能构件的特点	13
3.2 系统需求分析	14
3.3 方案设计	14
3.3.1 平台的选择	14
3.3.2 结构框架	15
3.3.3 板级硬件设计原则	16
3.3.4 板级功能划分	16
3.3.5 具体技术路线	17
3.4 系统硬件设计	19
3.4.1 CPU 板的设计	19
3.4.2 接插件板的设计	31
3.4.3 协处理器板的设计	33
3.4.4 按键板的设计	39
3.5 各部分电路的调试	40
3.5.1 总体调试流程	40
3.5.2 CPU 板调试步骤	40
3.5.3 单片机系统调试步骤	41
3.5.4 CPLD 系统调试步骤	41
3.6 协处理器功能实现	42
3.6.1 CPLD 及其开发流程	42
3.6.2 CPLD 系统各功能实现	44
3.6.3 单片机及其开发流程	49
3.6.4 单片机系统程序设计	50
3.7 基于嵌入式 Linux 的软件设计	54
3.7.1 嵌入式 Linux 操作系统及其开发流程	54
3.7.2 设备驱动程序设计	54
3.7.3 应用程序设计	57
第 4 章 无线网络定位技术	62
4.1 无线网络定位技术概述	62
4.2 无线信号强度	63
4.2.1 无线信道探测	63
4.2.2 网络驱动程序 NDIS	63
4.3 室内环境定位因素	64
4.4 无线信号	64
4.4.1 无线信号 RSSI 值的获取	64
4.4.2 无线信号强度的分布	66
4.5 无线定位算法	67
4.5.1 信号传播模型公式	68
4.5.2 三边定位法	68
4.5.3 概率法	69
4.6 无线网络定位实验系统	70
4.6.1 实验平台构建	71
4.6.2 实验环境	73
4.6.3 定位实验	73
第 5 章 射频识别室内定位技术	77
5.1 射频识别技术概况	77
5.1.1 射频识别的基本组成	77
5.1.2 射频识别的基本工作原理	78
5.1.3 射频识别的分类及应用	78
5.2 基于射频识别的室内机器人定位系统	79
5.2.1 射频识别系统技术参数	79
5.2.2 射频识别硬件资源平台	80
5.3 射频识别阅读器与上位机的串口通信	80
5.4 信号强度与几何距离的映射关系	82
5.4.1 无线信号强度测距原理	82

5.4.2	信号传播损耗模型参数的确定	83	6.5.1	实验平台构建	110
5.4.3	测距精度分析	84	6.5.2	SIFT 特征匹配	110
5.5	定位估计理论	85	第7章	机器人的网络遥操作	112
5.5.1	极大似然估计法	85	7.1	基于互联网的机器人遥操作技术	
5.5.2	定位中的极大似然估计法(Maximum Likelihood Estimation)	86		简介	112
5.5.3	最小二乘估计法	86	7.2	机器人的网络遥操作体系结构	114
5.6	定位算法	87	7.2.1	遥操作系统结构	114
5.6.1	读取四个标签定位	87	7.2.2	遥操作应用模式	115
5.6.2	读取三个标签定位	88	7.2.3	Helix 软件流媒体视频服务直播介绍	116
5.6.3	读取三个以下标签定位	89	7.3	机器人遥操作的实施	119
5.6.4	定位实验	89	7.3.1	遥操作网络通信	119
5.6.5	定位精度分析	90	7.3.2	遥操作本地控制程序的建立	121
5.6.6	实时定位误差	91	7.3.3	建立远端控制程序	122
5.7	基于射频识别的机器人系统设计与实验分析	93	7.3.4	机器人导航网页设计	123
5.7.1	基于射频识别的机器人参数标定系统设计	93	7.4	机器人遥操作实验分析	124
5.7.2	基于射频识别的机器人定位识别系统设计	93	第8章	机器人路径规划	125
5.7.3	机器人定位系统定位实验分析	94	8.1	路径规划简介	125
第6章	视觉定位技术	97	8.2	A* 算法	125
6.1	SIFT 算法概述	97	8.2.1	A* 算法原理简介	125
6.1.1	经典 SIFT 算法简介	97	8.2.2	A* 算法的实现步骤	126
6.1.2	改进的 SIFT 算法	99	8.3	基于 A* 算法的改进算法及实验	129
6.2	特征点匹配	101	8.3.1	基于 A* 算法的改进算法	129
6.2.1	匹配算法	101	8.3.2	基于 A* 算法的改进算法实验	132
6.2.2	kd-tree 和 BBF 算法	102	第9章	系统定位实验	138
6.3	改进 SIFT 算法实验	102	9.1	多信息融合定位系统	138
6.3.1	特征点维数对图像匹配效率影响的实验	102	9.2	定位信息的卡尔曼滤波	139
6.3.2	维数对图像匹配效率影响的实验	103	9.2.1	卡尔曼滤波简介	139
6.4	匹配图像像素大小对图像匹配效率影响的实验	108	9.2.2	卡尔曼滤波算法	140
6.4.1	仅背景图变化的影响	108	9.2.3	中值滤波与卡尔曼滤波的比较	141
6.4.2	仅目标图变化的影响	109	9.3	系统定位实验	142
6.5	SIFT 特征匹配实验	110	9.3.1	实验平台构建	142
			9.3.2	机器人定位环境	144
			9.3.3	机器人定位实验	145
			9.3.4	定位误差分析及误差补偿	155
			参考文献	157	

第1章 绪论

服务机器人是当今机器人技术领域的主要研究热点，在很多国家已经成为一个蓬勃发展的新兴产业。据联合国欧洲经济委员会（UN ECE）2003年的全球机器人统计报告显示，到2002年底，智能服务机器人的总数已超过60万台（包括智能吸尘器和割草机5万台，教育与娱乐机器人55万台），并且增长迅猛。在2003到2006年期间，总销量将到达210万台，总产值超过27.5亿美元。

2004年10月21日~23日在美国加利福尼亚州举办的机器人展上，美国机器人产业在民用机器人及面向机器人迷的市场开拓方面，展示了积极动作，标志着美国已经拉开大量生产民用机器人的序幕。该展会的发起者是美国的iRobot公司。会场上展出了多种家用机器人，比如机器人吸尘器及玩具、用于加强家庭保安的机器人和日本的仿人形机器人“HRP-2”等。

由于历史和观念的问题，我国在发展智能移动服务机器人上比国际上的发展水平要落后很多。但随着经济的发展和人民富裕程度的提高，对于智能移动机器人的需求也将越来越大。可喜的是，国内已经有不少研究机构已经认识到这个问题，并着手做了许多工作，也取得了一定的成绩。在清洁机器人方面，哈尔滨工业大学机器人所和海尔公司合作，推出家用的吸尘机器人。在“非典”期间，国内开发了几款护士助手服务机器人，像中科院自动化所的“艾姆”、哈尔滨工程大学的“护士助手”等。这两款机器人均能在“非典”病区执行消毒，运送医疗器械和设备、实验样品及实验结果，还为病人送药品、饮食及生活用品，处理隔离病区垃圾，以及协助护士工作等。两者均具有一定智能，可以自主避障，还能进行无线遥控。中科院自动化所研制的智能轮椅从广义上说可以算作护理机器人，它可以通过语音识别接收乘坐者的语音命令，然后自动控制轮椅的行动，且自动避开障碍到达室内指定位置。智能服务机器人“青青”是由哈尔滨工业大学开发研制的，该机器人是基于PC（personal computer）机开发的轮式移动机器人。它改变了以往机器人带电缆行走的诸多不便，采用独立行走方式，并且可自动躲避障碍，在一定范围内还可实现人与机器人间自由对话交流。

1.1 无线网络定位技术现状

随着IEEE 802.11无线网络的发展，无线通信和无线网络技术进入了飞速发展阶段，无线局域网（wireless local area network, WLAN）、全球移动通信系统（global system for mobile communication, GSM）等无线通信网络得到了迅速普及。在这种背景下许多学者纷纷提出无线网络上相关的应用技术，而对于使用无线网络进行定位便是一个新兴话题。无线信号具有辐射整个空间的特点，而空间中的定位不仅可以帮助使用者辨识方位，还可以提供用户所处位置的相关信息。国内外都先后在无线网络定位方面进行了研究，并取得了一定的成果^[1-5]。

微软雷德蒙研究院的无线网络研究组于2000年研究的雷达（radar）实验系统中，采用

接收信号强度 (received signal strength, RSS) 作为构建信号空间的基本信息, 主要是架构在 IEEE 802.11 无线网络的环境之下, 并且不需要使用特殊的硬件装置。其定位方式是: 每个基站定期发送信标 (beacon) 信号, 由移动结点 (配备无线网卡的笔记本电脑、PDA 等) 所收到的信号强度特性来做环境分析, 估计该移动结点所在位置。RADAR 的定位法可分为两个阶段: 离线训练阶段和在线定位阶段。在离线训练 (off-line) 阶段, 先对要进行定位的场地选择多个参考点, 通过测量和数学模型分析的方式, 找出各点的信号强度数据, 把无线接入点 (access point, AP) 上所收到的信号强度制成表格, 作为所谓的无线电地图。在线定位 (on-line) 阶段, 由移动结点传回到在目标场地中侦测到的各基站的信号强度, 而系统用此测量值与第一阶段中所建立的场地信号模型进行分析比对, 找到该移动结点最适当的估计位置。雷达的基本算法称为信号空间最近邻点 (nearest neighbor in signal space, NNSS), 也就是对于所有最近点的对比采取最小平方法, 选取最小值作为结果。

在使用 IEEE 802.11b 无线 LAN 环境下, 开发了一种运用接收到的信号强度值 (received signal strength indicator, RSSI) 进行位置检测的系统。通过事先记录在数据库中某些特定位置所收到信号的 RSSI, 在系统实际使用时, 利用当时所收到的 RSSI, 辅以统计的条件概率来判断使用者所在位置。该系统采用三个基站, 无须使用专用基站, 安装软件便可实现位置检测功能。此技术无须购买专用硬件, 大大节省了应用时的成本。不光支持目前比较流行的 Bluetooth 和 802.11a 协议, 而且能够同时在 HiperLAN2 或其他网络中使用。

具体做法是将室内空间的空间设计图制作成图片文件 (BMP、PNG 或 JPG 格式等), 然后以此图片文件作为 Ekahau 商用软件 EPE 2.0 (Ekahau Positioning Engineering) 的输入。EPE 2.0 软件会依此图片自动产生出需要侦测信号强度的候选点。在地图构建阶段, 通过手持附有 Java 虚拟机 (Java virtual machine, JVM) 的掌上电脑 (personal digital assistant, PDA) 进入室内环境, 并在需要侦测信号的候选点停留, 供 AP 侦测并记录 PDA 所发送信号的强弱。在室内空间样本点数据采集中, 各 AP 将所搜集到的信号强度记录到数据库中。在实际工作阶段, 这些数据库中的信号信息会与实际走过的采集到的信息进行比较, 便于追踪与校正。通过室内空间的障碍物遮蔽、商品的摆设方式、使用者编好的路径等因素, 可以更精确地规划出最佳的行走路径。通过运用数据库中的信息进行条件概率的推算, 可以较容易地去修正目前测量信号的误差值, 进而推算出使用者的精确位置。

与国外相比, 我国的无线网络定位技术研究起步较晚, 浙江大学开发的 INEMO 系统是通过用户携带节点与邻近房间节点的信息交互, 根据信号强度判断用户所在的房间, 这个系统根据建筑物部署节点, 让节点周期性广播以获取邻近节点信息的信号强度, 实时地了解室内环境的动态特性。通过信号强度差异的计算, 量化出环境动态变化的特性, 并给出了当前定位结果的置信度^[6-10]。

1.2 射频识别定位技术现状

射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术定位以其非接触和非视距等优点成为优选的定位技术, RFID 技术一般使用接收到的信号强度 (RSSI) 值来确定待定位物体的位置。在理论上, 接收器得到的 RSSI 值可以用各种不同的传播模型所描述的形式获得, 是一个接收器和发射器之间距离的函数。RFID 系统可以在几毫秒内得到厘米级定位精度的信

息，其传输范围很大，成本较低，因此备受关注。

采用该技术的典型代表是 SpotON。该系统基于信号强度分析，发展了一种聚合算法对三维空间进行定位。SpotON 系统中硬件标签呈网络状分布，无需中央控制单元，通过标签测试到的信号强弱来表征标签之间的几何距离。但是完整的 SpotON 系统到目前为止还没有建成^[11-16]。另外，PinpointCo 公司还销售一种基于 RFID 技术的室内定位的 3D-iD 的商品。3D-iD 的思路类似于 SpotON，采用无线局域网技术进行定位。该系统具有相当好的定位精度，而且该系统可调性较强，但是系统投资较大。密歇根州立大学研发的 LANDMARC 系统是基于主动射频识别校验的动态定位系统，可通过引入参考定位标签，并根据不同标签之间的残差加权算法，来获得较高的定位精度。西班牙的 Aikaterini D. Koutsoul 等人研究的基于 RFID 室内定位系统，很好地解决了地图构建后的动态更新问题^[17]，图 1-1 为该系统的标签布置图，图 1-2 为该系统的读写器安置图。



图 1-1 RFID 标签的布置

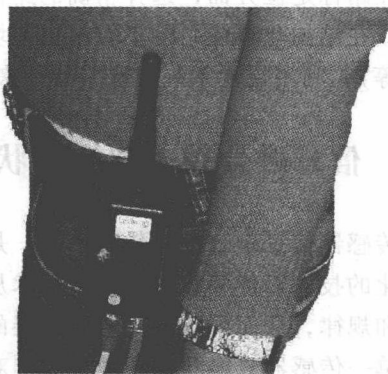


图 1-2 RFID 读写器安置在人身

其他应用如：RFID 技术定位与跟踪系统包括微软公司的 RADAR 系统、MIT Oxygen 项目开发的 Cricket 系统。RADAR 系统是一种基于射频的室内定位系统，采用无线局域网标准网络对空间进行定位。该系统采用经验测试和信号传播模型相结合的方式，其主要优点在于易于安装、只需要很少基站和采用相同的底层无线网络结构。但是到目前为止，该系统总精度不尽如人意。Cricket 系统是测距再定位的典型系统，测距对定位精度影响较大，而且随着定位精度要求的提高，Cricket 系统需要大量的底层硬件设施投资，故成本高^[18]。

1.3 视觉定位技术研究现状

视觉定位是近年来发展起来的一种定位方法，其原理是通过摄像机获取周围环境景物的图像，利用图像处理方法对图像信息进行处理，确定机器人的位置来实现定位。在机器人视觉定位方面，根据摄像头的数目不同，可以分为单目、双目和多目视觉定位。多目视觉虽然可以得到更为丰富的信息，但视觉控制器的设计比较复杂，且相对于双目视觉更加难以保证系统的稳定性。双目视觉可以得到深度信息，并提取三维环境特征。单目视觉无法直接得到目标的三维信息，只能通过移动获得环境中特征点的深度信息，适用于工作任务比较简单且深度信息要求不高的情况；但单目视觉在特征点的提取、匹配等方面跟多目视觉相差不多，

且其计算量相对较小, 速度较快^[19]。

Kosaka 最早开发了一种基于环境几何地图的室内机器人导航系统——FINALE, 它将环境通过 CAD 模型表示, 并通过扩展卡尔曼滤波器 (extended kalman filter, EKF) 维护和更新机器人的位姿状态。FINALE 工作时, 将当前位置的估计和不确定性投影到摄像机输入图像, 生成期望场景图并确定特征搜索区域, 再使用 Hough 变换提取直线匹配场景 CAD 模型, 然后根据期望与实际观察到的特征位置来计算当前位置^[20,21]。

Harris 的 3D 视觉系统 DROID 使用图像中的角点特征来进行三维重建。该视觉系统利用卡尔曼滤波器来跟踪特征, 并通过跟踪成功的特征点位置, 确定摄像机的运动及特征的三维信息。在短时间内这种方法定位比较精确, 但是长时间会带来较大的漂移, 影响定位的精度^[22]。

国内一些学者在视觉研究方面也有很大进展, 如对路标选择、定位精度均作了深入分析。在路标定位方面, 选择精确的路标位置来实现移动机器人的高精度定位。拓扑地图导航方面, 在结构化环境条件下, 根据环境区域间不同连接处节点的不同特征 (如窗户、墙角、设备等), 利用视觉系统提取其特征来识别和确定机器人在拓扑图中的位置^[23-26]。

1.4 信息融合技术研究现状

传感器信息融合又称数据融合, 是对多种信息的获取、表示及其内在联系进行综合处理和优化的技术。传感器信息融合技术从多信息的视角进行处理及综合, 得到各种信息的内在联系和规律, 从而剔除无用的和错误的信息, 保留正确的和有用的成分, 最终实现信息的优化。单一传感器只能获得环境或被测对象的部分信息, 而多传感器信息经过融合后能够完善地、准确地反映环境的特征。经过融合后的传感器信息具有以下特征: 信息冗余性、信息互补性、信息实时性、信息获取的低成本性。

燕山大学的王洪斌、郑瑾研究了目标物体的远程运动估计, 并提出了一种修正卡尔曼滤波器对目标物体远程运动估计的算法。与直接卡尔曼滤波器的远程运动估计相比, 这种算法提高了估计的精度, 将其运用到一种实时预测的实验中, 结果证明了该算法的有效性^[27]。武汉大学的魏娜对如何建立适当的滤波模型进行了分析, 讨论了约束卡尔曼滤波相关噪声和滤波发散、观测值粗差等问题^[28]。上海布劳得自动化科技有限公司的周曜对非线性估计中无味滤波 (UKF) 与扩展卡尔曼滤波 (EKF) 的比较进行了研究, 选用了—一个应用于航天器相对导航中的非线性估计例子进行仿真, 仿真表明 UKF 的滤波精度要优于 EKF^[29]。曲阜师范大学的代凌云、王娟采用卡尔曼滤波器消除了基于电波的传播时间 (time of arrival, TOA) 中的非视距传播 (non-line-of-sight propagation, NLOS) 误差。对卡尔曼滤波器的迭代过程进行了改进, 与传统的 NLOS 误差消除算法相比, 提出的方法均可获得较小的估计误差, 并且实现了实时处理。西北工业大学的李俊、王雪平、张福斌等人设计了一种新的基于自回归滑动平均模型 (auto-regressive and moving average model, ARMA) 模型自校正卡尔曼滤波器及其信息融合的方法, 从而避免了经典卡尔曼滤波器需要精确知道系统的模型参数和噪声统计特性的缺点。仿真结果表明, 在未知部分模型参数和噪声统计特性的情况下, 自校正卡尔曼滤波器的滤波性能非常接近稳态最优卡尔曼滤波器, 基于自校正卡尔曼滤波器的信息融合滤波性能接近基于稳态最优卡尔曼滤波器的信息融合滤波性能^[30,31]。

第 2 章 移动机器人系统结构

近年来，随着传感器等领域的技术进步，智能机器人系统开始应用在服务行业中，开辟了服务机器人自主服务的新领域。以往服务机器人的研究和开发主要在大学和研究所中进行，而如今越来越受到企业界和商业界的重视。智能服务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种功能于一体的综合系统，具有环境感知、多传感器融合、特征提取，避障及环境映射等功能^[32,33]。

移动机器人的体系结构是机器人系统设计中的重要步骤，它将一个复杂的机器人系统划分成了一个独立的组成部分，分配了各部分所要实现的具体功能，并确立了机器人系统各部分之间的相互关系。这样就将一个难以解决的复杂问题分解为若干个较容易处理的更小一些的问题。而每个部分只需要实现一种相对独立的功能，它所关心的只是通过接口给与之连接的其他部分提供服务，从而增强了整个机器人系统的通用性、灵活性和可维护性，为后面的硬件和软件的设计指明了方向。

根据移动机器人所具备的功能和工作的环境分析，大致可以将其系统分为：机械系统部分、控制系统部分、定位系统部分，这三个部分构成一个完整的系统。

2.1 移动机器人本体结构

2.1.1 机械系统

机械系统部分是机器人运动的核心部分，其性能直接关系到整个移动机器人的运动能力，它的功能是使机器人的执行机构实现相应的动作。移动机器人是机器人学中的一个研究热点和重要分支。早在 20 世纪 60 年代以来，就已经开始了关于移动机器人的研究。

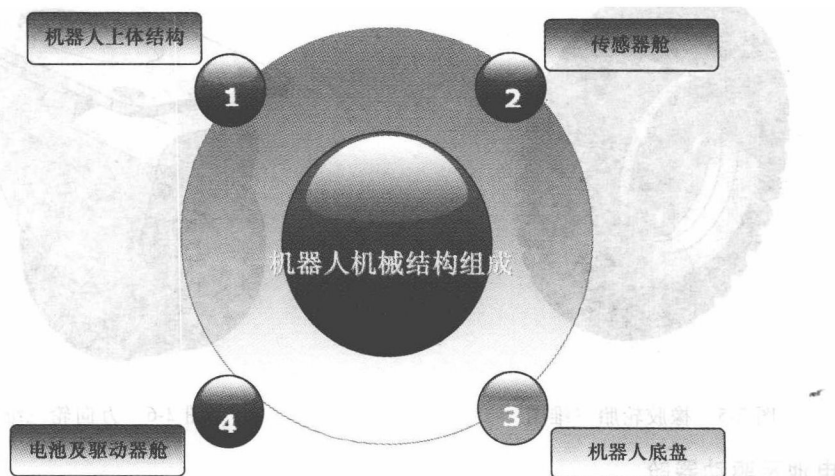


图 2-1 移动机器人机械结构组成

移动机器人由上体结构部分、传感器舱、机器人底盘、电池及驱动器舱组成，如图 2-1 所示。

1. 机器人上体结构三维建模

机器人上体结构部分主要包括摄像头、二维运动调节平台部分，其三维建模如图 2-2 所示。

2. 传感器舱

传感器舱模块按照 24 个角度来打孔，可以根据实际需要安装不同位置的超声传感器和红外传感器，其三维结构如图 2-3 所示。

3. 机器人底盘

机器人底盘主要由两个橡胶轮、两个电动机（包括减速器与编码盘）和安装平板三部分组成，如图 2-4 所示。橡胶轮胎优点是与地面摩擦力大、减振效果明显，按照尺寸要求，可以在市场上买到。而其制图比较复杂，先在 Solidworks 中制图，然后通过_igs 格式倒入 UG，如图 2-5 所示。万向轮在机器人运动中起到辅助支撑作用，其优点是方向灵活、安装方便，如图 2-6 所示。

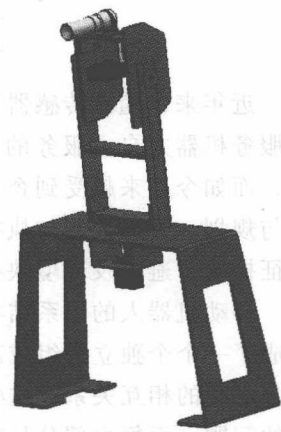


图 2-2 机器人上体效果图

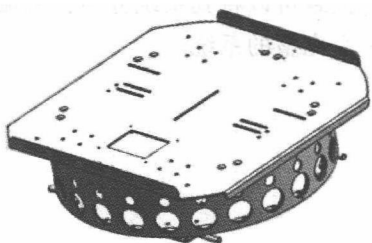


图 2-3 传感器舱三维图

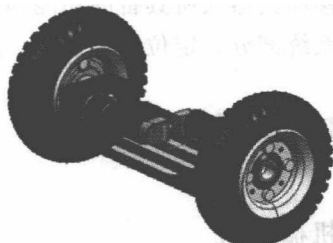


图 2-4 机器人底盘三维图



图 2-5 橡胶轮胎三维图

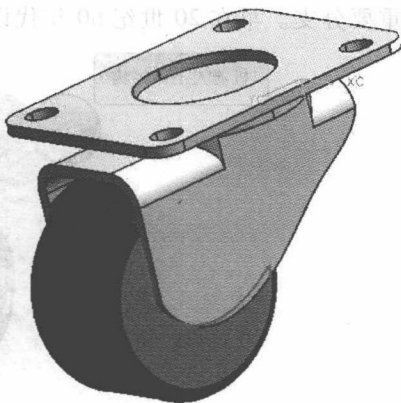


图 2-6 万向轮三维图

4. 电池及驱动器舱

电池及驱动器舱包含箱体、充电电池，电源管理及保护系统以及相应的指示灯和充电

器。这个模块是机器人的动力来源，内置电池提供 24V 直流电，用以供给驱动行走机构的电动机和其他模块，如传感器模块、计算机模块等。同时，计算机发出的运动控制指令通过 RS485 总线传送到这个模块内的电动机控制器，并控制电动机完成指定动作，以及把编码器的信息反馈给上层的计算机以供处理。其三维建模是将机器人主体部分加一层挡板，使主体一分为二，分别装载着机器人电池和驱动模块。电池及驱动器舱壳体如图 2-7 所示，电池及驱动器舱内部结构如图 2-8 所示。

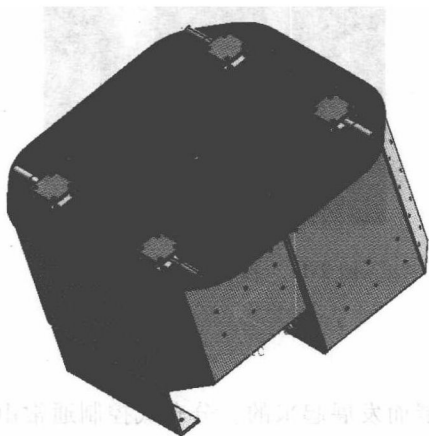


图 2-7 电池和驱动器舱壳体

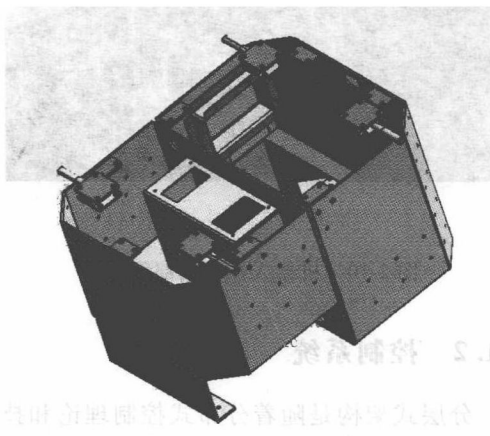


图 2-8 电池和驱动器舱内部结构

5. 移动机器人总体装配图

移动机器人由上体结构、传感器舱、机器人底盘、电池及驱动器舱组成，利用对齐、匹配等约束装配起来，机器人总体装配三维效果图如图 2-9 所示。

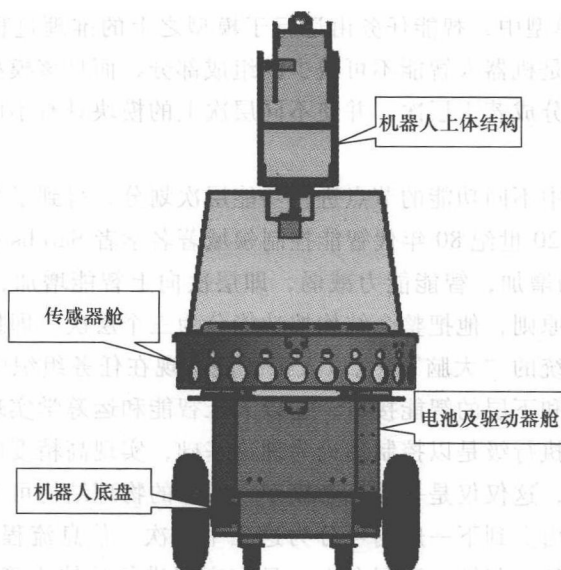


图 2-9 机器人总体装配三维效果图

6. 移动机器人样机

图 2-10 为机器人样机底部结构图，图 2-11 为移动机器人实物图。

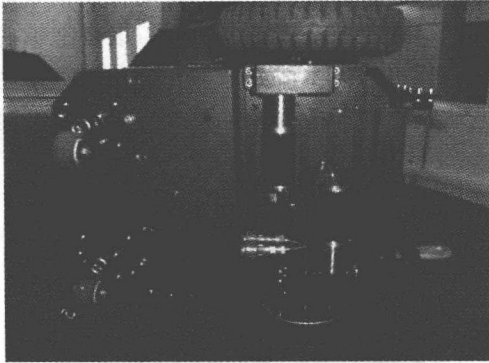


图 2-10 机器人样机底部结构图



图 2-11 移动机器人实物图

2.1.2 控制系统

分层式架构是随着分布式控制理论和技术的发展而发展起来的。分布式控制通常由一个或多个主控制器和很多个节点组成，主控制器和节点均具有处理能力。其中中心思想是主控制器可以比较弱，但是大部分的非符号化信息已经在其各自的节点被处理、符号化，再传递给主控制器来进行决策判断。单个节点分布式控制模型已经被广泛应用在大型工厂、楼宇等结构复杂、传感器和执行器很多的场合中。

分层式架构是基于认知的人工智能（Artificial Intelligence, AI）模型，因此也称之为基于知识的架构。在 AI 模型中，智能任务由运行于模型之上的推理过程来实现，它强调带有环境模型的中央规划器是机器人智能不可缺少的组成部分，而且该模型必须准确、一致。分层式架构是把各种模块分成若干层次，并使不同层次上的模块具有不同的工作性能和操作方式^[39]。

通过对分布式系统中不同功能的节点进行功能层次划分，得到了分层式架构。分层式架构中最有代表性的是由 20 世纪 80 年代智能控制领域著名学者 Saridis 提出的三层模型。Saridis 认为随着控制精度的增加，智能能力减弱，即层次向上智能增加，但是精度降低，层次向下则相反。按照这一原则，他把整个结构按功能分为三个层次，即执行级、协调级和组织级。其中，组织级是系统的“大脑”，它以人工智能实现在任务组织中的认知、表达、规划和决策；协调级是上层和下层的智能接口，它以人工智能和运筹学实现对下一层的协调，确定执行的序列和条件；执行级是以控制理论为理论基础，实现高精度的控制要求，执行确定的运动。需要指出的是，这仅仅是一个概念模型，实际的物理结构可多于或少于三级。无论多少级，从功能上来说由上到下一般均可分为这三个层次。信息流程是从低层传感器开始，经过内外状态的形势评估、归纳，逐层向上，且在高层进行总体决策；高层接受总体任务，根据信息系统提供的信息进行规划，确定总体策略，形成宏观命令，再经协调级的规划设计，形成若干子命令和工作序列，最后分配给各个控制器加以执行。

在分层式架构中，最广泛遵循的原则是依据时间和功能来划分架构中的层次和模块。其

中，最有代表性的是美国航天航空局（NASA）和美国国家标准局（NBS）提出的 NASREM 的结构。其出发点之一是考虑到一个智能机器人可能有作业手、通信、声呐等多个被控分系统，而这样的机器人可能组成一个组或组合到更高级的系统中，相互协调工作；出发点之二是考虑已有的单元技术和正在研究的技术可以应用到这一系统中来，包括现代控制技术和人工智能技术等。整个系统横向上分成信息处理、环境建模和任务分解三列，纵向上分为坐标变换与伺服控制、动力学计算、基本任务、单体任务、成体任务和总任务六层，所有模块共享一个全局数据库，如图 2-12 所示。

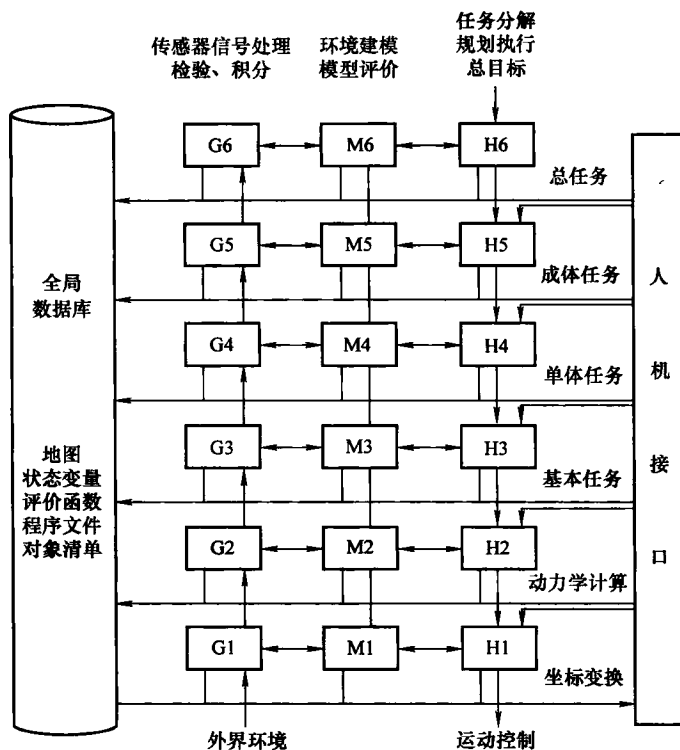


图 2-12 机器人分层式架构

NASREM 结构的各模块功能和关系非常清楚，有利于系统的构成和各模块内算法的添加和更换。它具有全局规划和推理的能力，对复杂的环境可以做出合理的反应，适合于一个或一组机器人的控制。但同其他的分层式架构一样，NASREM 的问题在于输入环境的信息必须通过信息处理列的所有模块。结果往往是将简单问题复杂化，影响了机器人对环境变化的响应速度，而机器人非常重要的一个性能就是对环境变化、意外事件的发生做出迅速反应。因此分层式架构在理论上只适合于那些有一定的位置环境信息、在轻微非结构化环境工作的机器人。但是由于总线技术、实时控制技术的高速发展，分层式架构的最致命弱点之一即响应较慢等问题也得到了不同程度的缓解。

移动机器人采用上位 PC 机 + 底层主处理器 + 底层协处理器的上下位机结构。各部分主要功能如下：

(1) 上位 PC 机 完成机器人在定位过程中的定位传感器信息，主要包括无线网络 RSSI 值、RFID 标签的信息和单目视觉系统的图像信息等，完成定位和决策任务。

(2) 底层主处理器 接收上位 PC 机发过来的运动控制指令作解析, 并给两个电动机驱动控制器相应的控制指令, 使机器人执行上位 PC 机的运动控制。

(3) 底层协处理器 主要负责连接机器人本体中使用到的避障传感器, 如红外传感器、超声传感器等。

2.2 移动机器人定位系统

本书以用于科技馆导航的移动机器人为例, 来介绍移动机器人的定位系统。该机器人应当具有自主导航和对游人需要参观的场馆的一些景点进行讲解的功能。游人直接通过机器人的引领和介绍, 就能了解感兴趣的景点的基本情况。针对科技馆导航服务机器人的特点, 研制出了一款基于 WLAN、RFID 和视觉信息融合的机器人定位和导航方法的移动机器人。其中 WLAN 负责无线通信及大范围的定位, RFID 负责小范围定位并与无线定位相互配合, 在确定大致位置之后, 视觉负责小范围定位, 如果定位成功则开始播放讲解音频, 从而实现科技馆导航服务机器人自主导航定位和讲解的作用。科技馆导航服务机器人应用如图 2-13 所示。

在自主移动机器人导航定位过程中, 需要精确知道机器人当前在实验环境中的状态, 这就是机器人的定位问题。通过定位传感器感知周围的景物, 以确定与周围景物的相对位置, 计算自身在参考坐标系中的绝对位置和方法, 完成避障、路径规划及导航等任务^[40,41]。基于此, 提出了一种基于 WLAN、RFID 和视觉信息融合的机器人导航定位方法。

(1) WLAN 定位技术研究 综合考虑定位精度及经济性, 通过对三边定位法和概率法定位精度的比较, 采用概率法利用无线路由器及无线网卡构建移动机器人定位网络, 研制了机器人 WLAN 定位系统。

(2) RFID 定位技术研究 在室内环境下, 对采用 RFID 及 RSSI 进行移动机器人定位技术进行了研究。为了降低环境对 RSSI 的影响, 经过大量实验对比无源 RFID 及有源 RFID 读写系统, 最后采用受环境影响小的有源 RFID 读写系统进行机器人定位; 针对读取标签个数的不同采用了不同的定位方法, 提高了机器人定位精度。

(3) 视觉定位技术研究 采用直接显示 (DirectShow) 技术构建了移动机器人视觉采集及识别系统, 实现了视频流的高速采集及自动识别; 为提高视觉识别效率, 对影响尺度不变特征变换 (scale invariant feature transform, SIFT) 算法中定位效率的表示特征点维数进行了

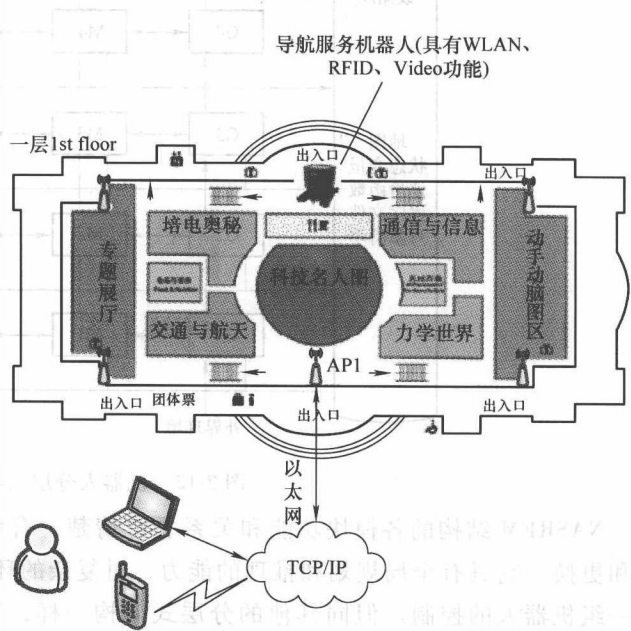


图 2-13 科技馆导航服务机器人应用