



21世纪先进制造技术丛书

未知环境中移动机器人 导航控制理论与方法

· 蔡自兴 贺汉根 陈虹 著 ·



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪先进制造技术丛书

未知环境中移动机器人 导航控制理论与方法

蔡自兴 贺汉根 陈虹 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以未知环境中的移动机器人导航控制理论和方法为研究内容,全书主要包括七个方面:机器人的体系结构,动力学模型与路径跟踪控制,环境建模与定位,障碍物的检测,机器人导航策略,故障诊断与容错控制,机器学习理论及应用。本书重点介绍了机器学习、环境认知、运动规划、导航控制等方面在理论和方法上取得的进展,意在推动认知科学、模式识别、非线性控制等学科的前沿问题的研究,对提高探测移动机器人导航控制系统的技术水平,促进移动探测技术的发展,具有重要的科学意义。

本书可作为智能机器人研究和教学的参考书,也可供从事智能机器人、人工智能、智能控制和智能系统研究、设计和应用的科技人员和高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

未知环境中移动机器人导航控制理论与方法/蔡自兴,贺汉根,陈虹著.
—北京:科学出版社,2009
(21世纪先进制造技术丛书)
ISBN 978-7-03-023431-5

I. 未… II. ①蔡…②贺…③陈… III. 移动式机器人—导航—自动控制
系统 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 182174 号

责任编辑:耿建业 / 责任校对:钟 洋

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年1月第一次印刷 印张:32 1/2 插页:2

印数:1—2 500 字数:640 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

《21 世纪先进制造技术丛书》编委会

主 编:熊有伦(华中科技大学)

编 委:(按姓氏笔画排序)

- | | |
|--------------------|------------------|
| 丁 汉(上海交通大学/华中科技大学) | 李涵雄(香港城市大学/中南大学) |
| 王田苗(北京航空航天大学) | 周仲荣(西南交通大学) |
| 王立鼎(大连理工大学) | 查建中(北京交通大学) |
| 王国彪(国家自然科学基金委员会) | 柳百成(清华大学) |
| 王越超(中科院沈阳自动化所) | 赵淳生(南京航空航天大学) |
| 王 煜(香港中文大学) | 钟志华(湖南大学) |
| 冯 刚(香港城市大学) | 徐滨士(解放军装甲兵工程学院) |
| 冯培恩(浙江大学) | 顾佩华(汕头大学) |
| 任露泉(吉林大学) | 黄 强(北京理工大学) |
| 江平宇(西安交通大学) | 黄 真(燕山大学) |
| 刘洪海(朴次茅斯大学) | 管晓宏(西安交通大学) |
| 孙立宁(哈尔滨工业大学) | 黄 田(天津大学) |
| 宋玉泉(吉林大学) | 熊蔡华(华中科技大学) |
| 张玉茹(北京航空航天大学) | 翟婉明(西南交通大学) |
| 张宪民(华南理工大学) | 谭 民(中科院自动化研究所) |
| 李泽湘(香港科技大学) | 谭建荣(浙江大学) |
| 李涤尘(西安交通大学) | 雒建斌(清华大学) |

《21 世纪先进制造技术丛书》序

21 世纪，先进制造技术呈现出精微化、数字化、信息化、智能化和网络化的显著特点，同时也代表了技术科学综合交叉融合的发展趋势。高技术领域如光电子、纳电子、机器视觉、控制理论、生物医学、航空航天等学科的发展，为先进制造技术提供了更多更好的新理论、新方法和新技术，出现了微纳制造、生物制造和电子制造等先进制造新领域。随着制造学科与信息科学、生命科学、材料科学、管理科学、纳米科技的交叉融合，产生了仿生机械学、纳米摩擦学、制造信息学、制造管理学等新兴交叉科学。21 世纪地球资源和环境面临空前的严峻挑战，要求制造技术比以往任何时候都更重视环境保护、节能减排、循环制造和可持续发展，激发了产品的安全性和绿色度、产品的可拆卸性和再利用、机电装备的再制造等基础研究的开展。

《21 世纪先进制造技术丛书》旨在展示先进制造领域的最新研究成果，促进多学科多领域的交叉融合，推动国际间的学术交流与合作，提升制造学科的学术水平。我们相信，有广大先进制造领域的专家、学者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，本丛书将为发展制造科学，推广先进制造技术，增强企业创新能力做出应有的贡献。

先进机器人和先进制造技术一样是多学科交叉融合的产物，在制造业中的应用范围很广，从喷漆、焊接到装配、抛光和修理，成为重要的先进制造装备。机器人操作是将机器人本体及其作业任务整合为一体的学科，已成为智能机器人和智能制造研究的焦点之一，并在机械装配、多指抓取、协调操作和工件夹持等方面取得显著进

展，因此，本系列丛书也包含先进机器人的有关著作。

最后，我们衷心地感谢所有关心丛书并为丛书出版尽力的专家们，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助，感谢广大读者对丛书的厚爱。

A handwritten signature in black ink, consisting of the Chinese characters '熊永佑' (Xie Yong), written in a cursive style.

华中科技大学

2008年4月

前 言

未知环境中移动机器人导航控制研究是人工智能和智能控制的国际前沿研究课题,也是智能机器人开发研究的热点和难点问题之一。智能移动机器人是一类能够通过传感器和其他技术感知环境和自身状态,实现在有障碍物的环境中面向目标的自主导航运动,从而完成预定任务的机器人系统。确定性环境的导航控制方法已取得了大量的研究和应用成果,但对未知环境中的导航控制尚有许多关键理论和技术问题有待解决和完善。未知环境中的移动机器人只具有较少的先验知识,其导航控制方法涉及环境认知、机器学习、优化决策、知识表示与获取等多项关键问题。

2003年1月~2006年12月,在由中南大学、国防科技大学和吉林大学合作完成的国家自然科学基金重点项目“未知环境中移动机器人导航控制的理论与方法研究”(批准号:60234030)的基础上,项目组成员共同努力,通过自主研发、大胆创新,同时与国内外同行进行了深入的学术交流与合作,取得了一批优秀成果。通过省部级技术鉴定1项,申请国家发明专利2项,获得教育部自然科学奖二等奖1项。分别在 *IEEE Transactions* 等国际期刊和本领域重要的国际会议(如 ICRA、IROS、ICPR、ICEC、ISIC 等)上发表论文 257 篇,其中被 SCI、EI 和 ISTP 检索 172 篇。在国际期刊(如 *IEEE Transactions*、*Automatica* 等)上发表论文 21 篇,在国内期刊上发表论文 135 篇,在国内外主流会议上发表论文 101 篇。由于这些成果都是以分散的形式在各杂志或论文集上出现,不方便查阅和交流,因此有必要将该项目的成果组织起来,以专著的形式呈现给广大的机器人学研究者。

本书主要包括七个方面的内容:机器人的体系结构、动力学模型与路径跟踪控制、环境建模与定位、障碍物的检测、机器人导航策略、故障诊断与容错控制、机器学习理论及应用等。本书针对未知环境下的机器人导航理论的研究,重点集中在跟踪控制的设计方法、视觉的拓扑建模与定位、机器人复合导航策略、基于自适应粒子滤波的故障诊断方法、增强学习及多目标进化学习等。

与国外已经出版的同类书籍比较,本书具有下列特色:

(1) 学术思想新颖,反映国内外未知环境中移动机器人导航控制研究的最新进展。

(2) 内容比较全面翔实,几乎包括了未知环境中移动机器人导航控制的主要研究方面。

(3) 主要作者具有丰富的编写经验,书稿的内容理论联系实际,可读性强。

本书主要由蔡自兴、贺汉根、陈虹撰写。文志强负责书稿的整理工作。其他参加编写的成员(排名不分先后)还有胡德文、邹小兵、李枚毅、王璐、段琢华、于金霞、王勇、徐昕、吴涛、祝晓才、孙振平、王学宁、陈伟、董国华、胡庭波、刘志远、高兴泉、王虎。在完成本书的过程中得到了国内外许多专家、学者的帮助。在此,我们要特别感谢国家自然科学基金的资助。另外还要感谢那些参加了基金项目研究而没有参加本著作撰写工作的一些博士研究生和硕士研究生。

由于本书涉及内容广泛,是智能机器人开发研究的热点和难点之一,再加上作者水平有限,书中难免存在不妥之处,我们诚恳地希望各位专家读者不吝赐教和指正,对此我们表示衷心感谢。

蔡自兴

2008年10月17日于中南大学

目 录

《21 世纪先进制造技术丛书》序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 未知环境中移动机器人导航理论与技术研究的进展概况	1
1.2.1 体系结构	2
1.2.2 环境建模与定位	2
1.2.3 路径规划	3
1.2.4 运动控制	4
1.2.5 故障诊断与容错控制	5
1.3 机器学习和自适应理论与方法研究的进展	6
参考文献	7
第 2 章 未知环境中移动机器人系统的体系结构	10
2.1 引言	10
2.2 机器人体系结构	10
2.2.1 递阶式体系结构	10
2.2.2 反应式体系结构	11
2.2.3 慎思/反应复合式体系结构	12
2.3 移动机器人系统体系结构实例	13
2.3.1 移动机构与传感器系统	14
2.3.2 控制系统软件体系结构	17
2.3.3 控制系统使用的硬件	25
2.4 四层递阶式智能导航控制体系结构	29
2.4.1 导航控制任务分解与导航控制系统中的几个概念	29
2.4.2 一个四层模块化的汽车自动驾驶控制系统结构	29
2.4.3 驾驶控制系统各层内部通用结构	30
2.4.4 驾驶控制系统各层结构特点	31
参考文献	35
第 3 章 未知环境中移动机器人的动力学模型与控制	38
3.1 引言	38

3.2	轮式移动机器人的动力学模型	38
3.2.1	轮式移动机器人的几种典型机构	38
3.2.2	非完整约束条件下轮式移动机器人的动力学模型	39
3.3	轮式移动机器人的镇定与跟踪问题	41
3.3.1	轮式移动机器人的镇定与跟踪控制器设计问题	41
3.3.2	镇定与跟踪控制器的相关研究	42
3.4	轮式移动机器人的鲁棒统一控制器设计理论	52
3.4.1	破坏理想非完整约束条件下的轮式移动机器人鲁棒统一控制律	52
3.4.2	不确定曲面运动条件下轮式移动机器人原型的鲁棒统一控制器	68
3.5	镇定和跟踪控制设计实例	81
3.5.1	Unicycle 类型轮式移动机器人的控制器设计	81
3.5.2	单链链式系统的控制器设计	94
3.5.3	基于 backstepping 的跟踪控制律设计	110
3.5.4	基于模糊滑模变结构的控制器综合	114
3.5.5	基于微分平坦的轮式移动机器人轨迹生成	122
3.5.6	基于 T-S 模糊模型的轮式移动机器人轨迹跟踪控制	128
3.5.7	同时存在执行机构饱和与外部干扰时的 WMR 轨迹跟踪控制	136
	参考文献	159
第 4 章	未知环境中移动机器人的环境建模与定位研究	171
4.1	引言	171
4.2	移动机器人环境建模与定位技术	172
4.2.1	环境模型简介	172
4.2.2	环境建模与定位方法概述	176
4.3	基于视觉图像的环境特征提取	180
4.3.1	基于图像外观的环境特征分析与提取	181
4.3.2	基于兴趣点的环境特征分析与提取	183
4.3.3	基于立体视觉的环境特征分析	189
4.4	动态环境下移动机器人地图构建的研究	190
4.4.1	地图表示方法简介	190
4.4.2	动态环境中基于障碍时空关联的地图构建	191
4.4.3	实验结果及其分析	201
4.5	移动机器人定位技术的一些实例	207
4.5.1	基于激光雷达环境感知信息的机器人定位方法	207
4.5.2	基于 Monte Carlo 方法的移动机器人定位	213
4.6	基于免疫进化算法的同步定位与建图	216

4.6.1	基于占据栅格的地图表示	217
4.6.2	关键点栅格及其检测	218
4.6.3	结合领域知识的并发定位与建图免疫进化算法	220
4.6.4	算法的实现和实验结果	223
4.6.5	结论	224
4.7	基于视觉的拓扑环境建模与定位	225
4.7.1	拓扑模型与度量模型	225
4.7.2	视觉拓扑建模与定位领域常用的概率技术	226
4.7.3	视觉拓扑建模与定位系统	227
4.8	基于视觉信号的地面移动机器人航迹修正	230
4.8.1	问题描述	230
4.8.2	视觉里程计	231
4.8.3	基于立体视觉的视觉里程计实现技术	232
4.8.4	基于视觉量角计的航迹修正算法	236
	参考文献	241
第5章	未知环境中移动机器人的障碍物检测	245
5.1	引言	245
5.2	障碍物的检测方法	245
5.2.1	激光测距雷达	245
5.2.2	视觉方法	247
5.3	基于激光雷达的障碍检测方法	252
5.3.1	测距数据的滤波处理	253
5.3.2	激光雷达测距数据的3-D变换	257
5.3.3	非结构化环境中的障碍检测	259
5.4	基于自适应分割和立体视觉的快速障碍检测	262
5.5	基于移动机器人视觉系统的运动目标检测与跟踪	266
5.5.1	基于移动机器人视觉系统的运动目标检测方法	267
5.5.2	运动目标跟踪技术	283
5.5.3	目标检测与跟踪的难点	287
	参考文献	288
第6章	未知环境中移动机器人的导航策略	291
6.1	引言	291
6.2	路径规划技术	292
6.2.1	基于事例的学习规划方法	292
6.2.2	基于环境模型的规划方法	292

6.2.3	基于行为的路径规划方法	294
6.2.4	发展趋势	294
6.3	基于近似 Voronoi 图的路径规划	296
6.3.1	移动机器人运行环境的空间表示方法	296
6.3.2	Voronoi 图的介绍	299
6.3.3	近似 Voronoi 边界网络(AVBN)建模方法	301
6.3.4	基于 AVBN 模型与 GAS 的全局规划	306
6.3.5	仿真与实验	314
6.4	反射式局部规划策略	315
6.4.1	反射式 7 层避障模型	315
6.4.2	轨迹的运动控制	318
6.4.3	扰动策略	319
6.4.4	反应式导航实验验证	320
6.5	移动机器人的局部规划策略	322
6.5.1	局部规划方法概述	322
6.5.2	基于模拟退火的扰动规则设计	323
6.5.3	局部规划程序设计	328
6.5.4	局部规划仿真实验	329
6.6	复合导航策略与实现	331
6.6.1	复合导航的策略	331
6.6.2	复合导航的实现	340
6.7	路径规划的智能方法	345
6.7.1	基于免疫进化和示例学习的移动机器人路径规划	345
6.7.2	基于蚁群算法的移动机器人路径规划	351
6.8	基于特征点的导航策略	359
6.8.1	特征提取	360
6.8.2	基于特征点的导航行为	362
6.8.3	导航策略的设计与实现	363
	参考文献	366
第 7 章	未知环境中移动机器人的故障诊断与容错控制	371
7.1	移动机器人故障诊断与容错控制概述	371
7.1.1	故障模型和传感器误差模型	371
7.1.2	移动机器人故障诊断与容错控制的特点	372
7.1.3	移动机器人故障诊断与容错控制的方法	373
7.2	航迹推算系统硬故障诊断	377

7.2.1	基于粒子滤波器的混合动态系统估计	377
7.2.2	航迹推算系统故障模型	379
7.2.3	状态空间自适应	380
7.2.4	移动机器人航迹推算系统传感器的故障诊断	383
7.3	移动机器人软故障检测与补偿的自适应粒子滤波算法	388
7.3.1	模型与软故障检测	388
7.3.2	软故障补偿的自适应粒子滤波器 PD-PNAPF	391
7.3.3	实验与分析	394
7.3.4	粒子数目自适应、精度及效率分析	398
7.4	软故障补偿的自适应进化粒子滤波算法 PD-EAPF	401
7.4.1	多样性测度	402
7.4.2	自适应进化粒子滤波器 PD-EAPF	402
7.4.3	实验以及分析	402
7.5	不完备故障模型诊断及其在移动机器人故障诊断中的应用	405
7.5.1	不完备混合动态系统	405
7.5.2	未知模式检测	406
7.5.3	不完备模型诊断的粒子滤波算法	409
7.5.4	实验分析	410
7.5.5	不完备系统诊断的自适应机制	412
7.6	激光雷达异常及车轮异常检测	414
7.6.1	激光雷达的异常检测与滤除	414
7.6.2	激光雷达鲁棒测量模型	417
7.6.3	移动机器人异常运动状态识别以及避让策略	423
	参考文献	427
第 8 章	机器学习理论及其在移动机器人导航控制中的应用	429
8.1	引言	429
8.2	面向移动机器人导航与控制的机器学习方法	430
8.3	增强学习研究的一些新进展	432
8.3.1	策略梯度增强学习的回报基线方法	433
8.3.2	模糊策略梯度增强学习	437
8.3.3	结合 SVM 的混合策略梯度增强学习方法	442
8.3.4	基于多目标优化的进化算法求解约束优化问题	450
8.4	机器学习在移动机器人导航中的应用实例	472
8.4.1	增强学习在月球探测机器人运动控制中的应用	472
8.4.2	统计学习理论在基于视觉的环境感知中的应用	482

参考文献	493
第 9 章 未知环境中移动机器人导航控制研究的展望	498
9.1 未来研究方向	498
9.2 结束语	502
参考文献	502

第 1 章 概 述

1.1 引 言

智能移动机器人是一类能够通过传感器感知环境和自身状态,实现在有障碍物的环境中面向目标的自主运动,从而完成一定作业功能的机器人系统。移动机器人与其他机器人不同之处就在于强调了“移动”的特性。移动机器人不仅能够在经济、国防、教育、文化和生活中起到越来越大的作用,而且还是研究复杂智能行为的产生,探索人类思维模式的有效工具与实验平台。

随着科学技术的发展,人类的研究和活动领域已由陆地扩展到深海和太空。利用移动机器人进行空间探测和开发,已成为 21 世纪世界各科技发达国家开发空间资源的主要手段之一。研究和发 展月球探测移动机器人技术,对包括移动机器人导航控制在内的相关前沿技术的研究将产生巨大的推动作用。移动机器人在月球和火星等外星球表面导航时,将面临复杂的未知环境。未知环境中的移动机器人自主导航控制技术已成为空间探测机器人的一项关键技术。在移动机器人导航控制理论和方法的研究中,确定性环境的导航控制方法已取得了大量的研究和应用成果。对未知环境中的导航控制也开展了一些研究,并提出了若干方法,但尚未形成统一和完善的体系,还有许多关键理论和技术问题有待解决和完善。这些问题主要包括环境建模、定位、导航控制器的学习与优化、故障诊断、在线运动规划与控制等。未知环境中的移动机器人只具有较少的先验知识,其导航控制方法涉及环境认知、优化决策、知识表示与获取等多项关键科学技术问题。

对未知环境中的移动机器人导航控制理论和方法的研究,将推动认知科学、模式识别、非线性控制等前沿学科的研究,带动航天、海洋、军事、建筑、交通、工业和服务业等领域移动机器人导航控制系统的开发研究,为无人探测车、无人排险车和无人运输车等用于航天、军事、地面、深海作业和核工业等领域的移动机器人系统的应用奠定理论和技术基础^[1]。

1.2 未知环境中移动机器人导航理论与技术研究的进展概况

适应于未知环境的移动机器人导航系统应具备环境认知、行为决策、运动控制

等能力,可对系统自身状态进行监测并能有效容错。该领域的研究内容主要包括体系结构、环境建模与定位、路径规划、运动控制、故障诊断与容错控制等方面。

1.2.1 体系结构

适当的移动机器人导航控制体系结构,需要实现系统模块之间的合理协调,并在系统的软件和硬件上具有开放性与可扩展性。体系结构的合理设计将能够实现复杂行为并具备进一步完善扩展能力。目前,移动机器人导航控制的体系结构主要分为以下3种:

(1) 递阶式体系结构,也称为功能分解(decomposition)的体系结构,机器人的行动被看做一个循环重复执行的递阶流程,即感知-建模-规划-执行。在建模阶段,传感器信息被融合到一个世界模型中。规划器搜索状态空间,寻找能够从当前状态到达目标状态的途径。典型的结构如四层递阶控制体系结构^[2]。

(2) 基于行为的反应式体系结构,每一个行为单元针对自己的局部目标,能够实现从感知到行为的快速响应。不需要建立一个显式世界模型来表示环境,每一个行为单元只处理与之相关的感知信息。基于行为的方法是一种自下而上的构建系统方法,它用行为封装了机器人控制中应具备的感知、探索、避障、规划和执行任务等能力。基于行为的控制结构在实际控制中具有较快反应能力而显得比传统方法更具适应性,因而一度成为移动机器人研究关注的焦点。典型代表有1986年Brooks等提出的包容式体系结构^[3]和1989年Arkin提出的基于图式的体系结构^[4]。

(3) 慎思/反应复合式体系结构,克服了递阶式体系结构在不确定和未知环境中的建模困难、实时性和适应性差等缺点;同时实现对已有环境信息进行有效表示和利用,完成单一结构无法实现的复杂导航任务。具有代表性的结构是GAT提出的三层体系结构(three layered architecture)^[5]。复合式体系结构采用慎思方式对复杂环境进行建模与规划,并运用反应式行为来克服执行过程中动态变化的不确定性,因此具有较强的功能与应用的灵活性。复合式体系结构已经成为智能移动机器人设计的主要范式,并且在不断发展和完善之中。但在移动机器人体系结构的研究方面,仍有许多问题需要进一步研究解决,主要有:①如何实现基本功能模块的灵活组合,使得功能与知识都具有良好的扩展性;②如何实现基于符号的慎思式智能与基于行为的反应式智能之间的合理协调;③如何建立各层次间知识的交流机制,通过机器学习获得新的知识。

1.2.2 环境建模与定位

未知环境中,环境信息对机器人而言是不明确的或不充分甚至完全没有。仅根据里程计等传感器所获得的机器人自身状态信息很容易产生累积误差,因此由

于外部环境信息的匮乏,机器人无法进行精确定位及路径规划。适应于未知环境的移动机器人导航系统应具备环境认知、行为决策等能力,可见,环境建模与定位对于机器人导航至关重要。移动机器人自定位与环境建模问题是紧密相关的。环境模型的准确性依赖于定位精度,而定位的实现又离不开环境模型。

环境建模可以如下分类。根据环境模型(地图)的形式,将环境建模问题分为基于概率格^[6]、基于几何信息^[7]、基于拓扑信息^[8]、基于三维信息的环境建模^[9]。根据环境模型的坐标系,将其分为局部环境建模^[6]和全局环境建模^[7,8]。在环境建模技术研究方面,主要提出了基于传感器的单元分解建模技术^[10]、几何建模技术和拓扑建模技术3类方法^[11]。自1990年以来,概率技术在环境建模领域逐渐占据主导地位,包括扩展卡尔曼滤波(EKF)^[12]、最大相似性估计算法(MLE)^[13]等,其实质都是概率技术。而这种趋向越来越明朗,并出现了Monte Carlo定位(粒子滤波器定位)^[14]的新概率算法。现有移动机器人的定位方法主要包括:航迹推算、组合定位和感知定位^[15]。

目前,在该领域,文献[16]和[17]针对未知环境中移动机器人拓扑建模问题,提出了一种近似Voronoi边界网络(AVBN)的拓扑建模方法,采用生成虚拟障碍方法为存在非凸集障碍的复杂环境下边界网络的连通性难题的解决提供新的思路。文献[18]提出一种基于多区域融合思想的增量式建模方法,能有效地降低建模时间,适合于机器人的在线规划。针对未知环境,文献[19]提出并实现了一个新的基于摄像机视觉的增量式拓扑建模及导航系统。该系统采用局部显著图像区域构造自然路标,并利用隐马尔可夫模型(HMM)建立当前场景中所获得路标间的关系,构造拓扑顶点;设计了最大后验概率(MAP)的学习策略,利用局部图像特征及其关系表示环境,辅以路标管理使之能够适应大规模环境导航任务。文献[20]采用2-D扫描的激光测距传感器与精密转动云台,设计并实现了非结构化环境下的移动机器人感知系统,该系统可对地形平坦性进行分析和判断移动机器人的可行区域与障碍区域,为移动机器人导航过程中的环境建模与路径规划提供了支持。

在复杂未知环境中,由于先验知识的匮乏和环境的不确定性,使得并发环境建模与定位方法成为亟待解决的课题,其中包括环境的表示、环境特征的提取等技术,需要在实时性、鲁棒性和准确性3个方面取得突破。

1.2.3 路径规划

移动机器人的路径规划可分为基于地图的全局路径规划和基于传感器的局部路径规划。对于环境已知条件下的离线全局路径规划方法,已取得大量成果。基于传感器的局部路径规划是实现移动机器人在未知环境中导航的重要技术之一。

文献[21]提出大范围环境下基于操作算子概率自适应的移动机器人进化路径规划方法和变化环境下基于免疫克隆选择进化算法与示例学习的移动机器人路径