



装备科技译著出版基金

先进机器人科技译丛

Robot Navigation from Nature

Simultaneous Localisation, Mapping,
and Path Planning Based on Hippocampal Models

源于自然的机器人导航

——基于啮齿类动物模型的同时定位
地图构建和路径规划

[澳大利亚] 迈克尔·约翰·米尔福德

(Michael John Milford)

著

高晓颖

译



国防工业出版社
National Defense Industry Press



Springer



装备科技译著出版基金

先进机器人科技译丛

源于自然的机器人导航

——基于啮齿类动物模型的同步定位
地图构建和路径规划

Robot Navigation from Nature
Simultaneous Localisation, Mapping,
and Path Planning Based on Hippocampal Models



[澳大利亚] 迈克尔·约翰·米尔福德
(Michael John Milford) 著
高晓颖 译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2011-110号

图书在版编目(CIP)数据

源于自然的机器人导航:基于啮齿类动物模型的同
步定位地图构建和路径规划/(澳)米尔福德(Milford,M.J.)
著;高晓颖译. —北京:国防工业出版社,2016.1

(先进机器人科技译丛)

书名原文:Robot Navigation from Nature
Simultaneous Localisation, Mapping, and Path
Planning Based on Hippocampal Models

ISBN 978-7-118-10718-0

I. ①源… II. ①米… ②高… III. ①机器人-应
用-导航系统-研究 IV. ①TN966

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第008677号

Translation from the English language edition:

Robot Navigation from Nature

Simultaneous Localisation, Mapping, and Path Planning Based on Hippocampal Models

by Michael John Milford

© 2008 Springer - Verlag Berlin Heidelberg

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书简体中文版由 Springer 授权国防工业出版社独家出版发行,版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 11 字数 201 千字

2016年1月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 58.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

TRANSLATOR'S PREFACE 译者序

机器人技术在 21 世纪开始,已经获得了飞速的发展,在多个世界级的博览会均成为了媒体与观众关注的焦点。清洁机器人等正在走进人们的生活,并可能改变人们未来的生活方式。

译者选择 Springer 先进机器人技术丛书(STAR)中的《源于自然的机器人导航》一书进行了翻译。译稿完成之时恰逢国家“十二五”发展规划制订发布,且中国制造 2025 等发展战略的制订与实施均对机器人领域提出了明确且更多的要求,机器人技术位列重大领域之列,期望能够对该方面研究有兴趣的人员有所帮助。

该书关注了近年最热的研究课题之一——同步定位与地图构建(SLAM)。为了建立一个能够满足实际应用需要的基于生物激励机制的地图构建和导航系统,对机器人和生物领域的相关文献进行调研。分析了地图构建和导航的一般问题,并回顾了解决地图构建和导航问题的主要方法。为了在机器人领域模拟动物的绘图和导航能力,对啮齿类海马神经经典计算模型进行了探索性研究,并通过局部定位和地图构建实验对该模型进行了测试。进而提出了一种称为 RatSLAM 的海马神经地图构建和导航扩展模型,建立了一种使用 RatSLAM 模型的地图重构系统,它可以使机器人直接向特定目标导航。为了进一步提高系统的环境适应性,作者提出了一种称为经历地图构建的算法,建立了地图构建和导航组合系统,测试了其能同时解决自动探索、地图构建、目标导航和对环境改变适应性等问题的能力。该书还讨论了地图构建和导航研究领域未来面临的挑战,并提出了一些研究思路。最后总结了对机器人地图构建和导航领域所做的贡献。

经过努力,终于完成了《源于自然的机器人导航》一书的翻译工作。值此,特别感谢国防工业出版社和责任编辑的支持与帮助。感谢参与相关工作的孟景、杜亚玲、刘晶晶、聂琦、姬晓琴、张俊、刘亮亮、丑金玲、吕建强、王勇、宋莉等同志;感谢侯志远研究员、杜诚谦研究员、朱文彪研究员、孙富春教授帮助进行了校对与讨论;感谢王晓东研究员、齐春棠研究员、吴宏鑫院士、祁振强研究员等人的支持。

在本书的翻译过程中,译者深感语言的博大精深以及无穷魅力,在忠实原文的基础上反复推敲、力求准确。但限于译者的认知所限,定有不当之处,敬请读者批评指正。

译者

2015 年 11 月

序 FOREWORD

站在新千年的开端,机器人技术在深度及广度上都发生着重要转变。机器人技术从主要以工业技术领域应用,迅速向开放环境所带来的挑战方向扩展。结合对人类的辅助、服务和探索,机器人将越来越多地触及人类及其生活。

Springer 出版“先进机器人技术”丛书(STAR)系列的目的是从机器人技术的本质和意义角度带来机器人技术的最新进展。我们期望研究成果的广泛传播能够推进研究团体间的交流与合作,并促进这一飞速发展领域的进一步提高。

Michael Milford 撰写的这本著作是该系列丛书之一,它更关注了近几年最热的研究课题之一——同步定位与地图构建(SLAM)。本书内容是作者博士论文的延伸,并介绍了机器人地图构建和导航系统的发展,这种地图构建的导航系统是受啮齿类动物海马神经中关于底层空间导航的生物机制模型启发而来的。

本书一个独特的优点在于它是真正的交叉学科成果,建立了已开展多年研究的生物学和人工机器人系统之间的联系。据我所知,该书是将啮齿类动物及相似生物导航、机器人导航等技术与 SLAM 方面进行结合的最完美尝试。为我们的 STAR 系列丛书做出了贡献。

STAR 编辑 Bruno Siciliano

意大利那不勒斯

2007 年 9 月

本书介绍了一种机器人地图构建和导航系统的研究进展,它是受啮齿类动物海马神经中底层空间导航的神经机制模型启发而来的。现阶段生物导航系统的计算模型在机器人中应用还非常有限,研究的目的是确定在真实环境中哪种海马模型能够提供机器人在地图构建和导航方面的能力;研究的重点是实用机器人的性能,而不是保持生物仿真度。

地图构建和导航问题是一个包含范围广,但又必须要解决的问题,只有解决这个问题,机器人才能具备以下几种关键能力:探索未知环境、同步定位与地图构建(SLAM)、目标导航的路径规划与执行、环境变化的适应性。最成功的传统解决方案是基于核心概率法,使用大量从距离到拓扑的地图表征法。这些概率方法有很好的SLAM性能,但很少能完全解决整个地图构建和导航问题。相比之下,生物系统鲜为人知,并且仿真计算模型在恶劣环境下机器人平台上的应用非常有限。但是许多动物在不具备高精度传感器和高分辨率地图的情况下能够解决整个SLAM问题,典型代表就是啮齿类动物。利用相对好理解的动物,如啮齿类动物,地图构建和导航过程为模型实际改进提供了很大的潜能。

本书针对受啮齿类动物海马神经的地图构建和导航过程启发而来的计算模型开展了一系列研究。最初的研究建立在传统的位置感知细胞和头方向细胞的人工模型基础上。但是,随着向功能性机器人导航系统研发的进一步推进,这些生物模型得以扩展,并为机器人提供更好的导航性能。研究的目的是得到全面解决问题的方案,而不仅仅是地图构建问题,还包含环境探索、目标导航和适应性带来的挑战。这个过程的最终结果是一个称为RatSLAM系统和一种称为经历制图的算法。在研究的每个阶段都进行了实验,随着环境更广阔、更恶劣,它的能力也得以不断提升。经过长达2h的真实机器人性能测试,虽然情况有时不是最优,但综合系统的运行是成功的。在最终测试中,配备RatSLAM系统的机器人表现出了完全的自主行为,进行未知环境探索的同时实现了SLAM在适应环境持续简单变化的情况下完成了目标导航。

源于自然的机器人导航力图证明一种相互约束方法的有效性,这种方法结合了啮齿类和其他动物的生物导航方法处理机器人导航和SLAM问题。本书的研究工作多数是在我博士学习期间进行的,并根据博士论文的内容进行校正,出

版了本书。通过撰写和出版本书,我希望能够在这个方向对后续研究工作有所启发,我相信,在未来能够提供一种真正的机器人智能化导航方法。

和其他任何研究一样,我是在基于前人的研究基础上完成此书的。贯穿全书的参考文献主要出处和研究者均进行了标注。我也很感谢来自澳大利亚研究理事会和澳大利亚政府的基金支持,没有这些我可能根本无法进行研究工作。我的博士导师 Gordon Wyeth 博士,他是这项研究工程幕后的驱动力;我的同事 David Prasser,他与我在该项目中共同奋斗,并开发了视觉系统;提到本书的整理和出版,我要感谢 Springer Verlag 工程部的编辑 Tomas Dizinger 博士,他们帮助我完成了本书的出版工作。感谢澳大利亚联邦科学与工业研究组织的 Peter Corke 博士、Naples 大学的 Siciliano 教授和其他提出很多有建设性意见的所有读者。

Michael John Milford
昆士兰大学昆士兰大脑研究所和
信息技术与电子工程学院
2007 年 8 月

第 1 章 概述	1
1.1 移动机器人	1
1.2 同步定位和地图构建	2
1.3 环境探索、目标导航和适应变化	5
1.4 生物模型的应用	5
1.5 章节介绍	6
第 2 章 地图构建和导航	8
2.1 地图构建和导航问题	9
2.1.1 定位和地图构建	9
2.1.2 SLAM:“鸡和蛋”问题	9
2.1.3 不确定性的处理	10
2.1.4 探索未知环境	10
2.1.5 目标导航	11
2.1.6 学习并应对环境变化	11
第 3 章 机器人地图构建方法	13
3.1 基于概率的地图构建算法	13
3.1.1 卡尔曼滤波算法	13
3.1.2 极大期望算法	15
3.1.3 粒子滤波算法	16
3.2 拓扑地图构建算法	18
3.3 环境探索、导航和适应环境变化	20
3.3.1 环境探索	20
3.3.2 目标导航	22
3.3.3 适应动态环境	23

3.4	讨论	24
第4章	生物导航系统	26
4.1	啮齿类动物与认知地图	26
4.1.1	头方向信息和具体位置细胞	27
4.1.2	环境探索,导航和适应变化	29
4.2	其他动物和昆虫	31
4.2.1	蜜蜂	31
4.2.2	蚂蚁	32
4.2.3	灵长类动物	33
4.2.4	人类	34
4.3	讨论	35
第5章	海马脑区模型生物仿真	36
5.1	头方向和具体位置细胞——人工技术状态	36
5.1.1	吸引子网络	36
5.1.2	路径综合	37
5.1.3	利用外部辅助信息校正头方向	38
5.1.4	位置细胞——人工技术状态	39
5.1.5	利用外界辅助线索的具体位置细胞	39
5.1.6	利用自我定位信息的位置细胞	42
5.1.7	导航	45
5.2	讨论	47
第6章	机器人与生物激励比较	48
6.1	鲁棒性与精确度	48
6.2	地图友好性与使用性	49
6.3	传感器差异	50
6.4	在真实世界环境中的能力	51
6.5	问题的解	52
第7章	海马模型的探索性研究	53
7.1	机器人和环境	53
7.2	完整模式结构	55
7.3	空间方向模型	56
7.3.1	方向表征	56

7.3.2	认知非自我中心的标志序列	57
7.3.3	使用非自我中心的标志序列重定向	58
7.3.4	内部动力学	58
7.3.5	使用自中心信息进行路径集成	59
7.4	模型性能	60
7.4.1	实验 1: 路径集成标定	61
7.4.2	实验 2: 定向和一维地图构建	61
7.5	空间位置模型	64
7.5.1	表示位置	64
7.5.2	学习非自中心导引标志物	64
7.5.3	利用非中心引导标志重定位	65
7.5.4	内部动力学	66
7.5.5	使用自中心信息进行路径集成	67
7.6	模型性能	67
7.6.1	实验 3: 定位和二维地图构建	68
7.7	讨论和总结	69
7.7.1	与生物系统的比较	71
7.7.2	与其他模型比较	72
7.7.3	结论	73
第 8 章	RatSLAM 扩展海马模型	74
8.1	空间位姿模型	74
8.1.1	完整模型的结构	74
8.1.2	位姿感知细胞的生物证据	75
8.1.3	位姿表征	75
8.1.4	内部动态过程	76
8.1.5	视觉场景的学习	77
8.1.6	使用熟悉的视觉场景进行重定位	78
8.1.7	直观的路径积分	78
8.2	局部场景的形成	79
8.2.1	绝对差总和的模型	80
8.2.2	图像直方图	81
8.3	海马模型中的可视化 SLAM	84
8.4	室内和室外环境中的 SLAM	85
8.4.1	实验 4: 有人造路标的 SLAM	85
8.4.2	实验 5: 环形环境中的 SLAM	88

8.4.3	实验6:在办公大楼中的SLAM	91
8.4.4	实验7:室外环境中的SLAM	94
8.4.5	只有路径积分时的表现	95
8.4.6	SLAM结果	96
8.5	总结和讨论	97
8.5.1	RatSLAM的必要条件	97
8.5.2	RatSLAM表征的本质	97
第9章	目标记忆的探索性研究	99
9.1	用RatSLAM唤起目标记忆	99
9.2	学习	99
9.3	回忆	101
9.3.1	实验8:小环境的目标回忆	101
9.3.2	目标回忆结果	102
9.3.3	实验9:大环境中的目标回忆	105
9.3.4	目标回忆结果	105
9.4	总结和讨论	106
9.4.1	创建适合于目标回忆的地图	107
第10章	扩展RatSLAM:经历地图构建算法	109
10.1	由经历构成的地图	109
10.2	关联经历:空间、时间、行为	111
10.3	地图校正	112
10.4	地图的适应性和长期保持	113
10.5	室内经历制图结果	115
10.5.1	实验10:大的位姿感知细胞表征	115
10.5.2	实验11:小的位姿感知细胞表征	117
10.6	实验12:室外的经历制图	118
10.7	总结和讨论	120
第11章	环境探索,目标记忆和适应改变	122
11.1	有效的环境探索	122
11.1.1	实验评估	123
11.1.2	讨论	125
11.2	用时间地图回忆路线	125
11.2.1	构建时间地图	125

11.2.2	路径规划	126
11.2.3	行为仲裁	127
11.2.4	路线丢失恢复	128
11.3	SLAM 和在静态环境中的导航	129
11.3.1	实验 13:小位姿冲突下的目标回忆	130
11.3.2	实验 14:大位姿冲突下的目标回忆	131
11.3.3	讨论	133
11.4	适应环境的变化	134
11.4.1	实验 15:室内地图的适应性	134
11.4.2	实验结果	134
11.5	讨论	136
11.5.1	结论	137
第 12 章	讨论	138
12.1	本书总结	138
12.1.1	地图构建与导航	138
12.1.2	海马神经模型的探索性研究	139
12.1.3	RatSLAM:一种扩展海马模型	139
12.1.4	目标记忆:探索性研究	139
12.1.5	扩展 RatSLAM:经历地图构建	140
12.1.6	环境探索,目标回忆和适应变化	140
12.2	贡献	141
12.2.1	机器人和生物系统的比较综述	141
12.2.2	海马模型的性能评估	141
12.2.3	扩展海马模型的实现	142
12.2.4	经历地图构建算法	142
12.2.5	一种地图构建与导航的综合方法	142
12.3	地图构建与导航研究的前景	143
12.4	网格细胞	144
12.5	总结	145
附录 A	移动行为	146
参考文献		150
复制图列表		159
索引		161

第 1 章 概 述

本书介绍了一种基于视觉的同步定位与地图构建系统的设计与应用,这种同步定位与地图构建系统采用啮齿类动物海马神经的扩展模型,其中地图构建算法与整个系统相结合,具有目标记忆和环境适应能力。在机器人系统的实际应用中,生物系统计算模型在地图构建和定位方面具有一定的局限性。常规的概率统计技术能够解决特定问题的某些方面,如 SLAM,但是不能提供环境探索、地图构建、目标导航和对环境变化适应性的一体化解决方案。本书的研究目标是在实际机器人环境条件下通过分析和扩展啮齿类动物海马神经模型,建立一种能够解决关键导航和地图构建问题的生物激励模型。

本章介绍了移动机器人地图构建和导航技术所面临的挑战、研究工作的基本原则和研究成果。1.2 节和 1.3 节就移动机器人的四个主要要求进行了讨论,包括 SLAM、环境探索、目标导航和对环境变化的适应能力。1.4 节介绍了开发基于生物学原理的地图构造和导航系统应该遵循的基本原理。1.5 节给出了本书章节概要。

1.1 移动机器人

无论家用还是工业领域,移动机器人的应用数量都在急剧增长。20 世纪 60 年代,生产线上的工业机器人曾经是机器人的主要形式。仅仅过了几十年,随着以消费领域为代表的其他领域的移动机器人快速发展,移动机器人已经取代工业机器人,占据了机器人领域的统治地位(UNECE,2005 年)。

移动机器人爆炸式发展的关键在于它已经从科幻小说中的奢侈品变成了现实生活中减轻劳动强度的工具。iRobot 和 Electrolux 公司发明的移动清洁机器人就是其中一个典型事例。根据联合国欧洲经济委员会调查的数据(UNECE,2005 年),截止到 2004 年,全球大概卖出了 120 万个家用机器人,其中清洁机器人超过 100 万个。仅 2004 年一年时间就卖出大约 55 万个机器人,也充分说明了机器人市场的增长速度之快。截止到 2004 年,虽然没有清洁机器人卖得那么多,但割草机器人已共计卖出了 46000 台(UNECE,2005 年)。2005—2008 年,

个人机器人的销售量突破 700 万台,其中包括约 450 万台总价值超过 30 亿美元的家用机器人和 250 万台总价值超过 44 亿美元的娱乐机器人(UNECE,2005 年)。据半导体分析公司 Future Horizons(Horizons 2004 年)给出的数据,到 2010 年全球卖出 390 万台家用机器人。

移动机器人已经逐渐成为很多家庭生活中不可或缺的一部分,但是其功能上还有很多不尽人意的地方。例如,现在清洁机器人主要是轮式机器人,集成一套反射运动以及一系列预先设计的路径反应器,通过简单的后退和转弯避开障碍物或者死角。虽然反馈技术能够解决相当多情况下的导航问题,但是在缺乏更先进导航方法的情况下其应用也有很大的局限性。例如,箱形峡谷等很多环境的几何学问题就对反馈技术提出了挑战。在特定情况下,滞后机制(Browning,2000 年)或者局部空间记忆(Balch 和 Arkin,1993 年)的方法能够解决反馈方法所不能解决的一些问题。然而在没有状态信息或者地图的情况下,目前的机器人还没有更好办法适应环境。

家用机器人的一个重要特点是,为了获取庞大的消费市场,系统采用了价格便宜并能够大量供应的传感器和计算电路。个人服务型机器人是一款消费品,其价格必须是该使用领域的消费者所能够承受的(Schofield,1999 年)。为了生产出零售价格 100 美元左右的机器人,其元器件的总价只能占整个成本的一小部分。而价格约束明显地限制了可选的传感器的种类,像 SICK 激光扫描器这种很好的机器人传感器是绝对不适用的(Schofield,1999 年)。Colin Angle 声称:“制造一台价格高昂的机器人是很容易的”,但是制造一台价格能为大多数消费者所承受的机器人则极具挑战性(Kanellos,2004 年)。

限制移动机器人复杂应用的基础问题是需要机器人具备更先进导航能力的复杂算法。机器人若仅采用反馈机制,其导航能力就受到很大局限。为了能够自动适应实际环境中的各种情况,而不必事先设定好应用环境,移动机器人必须能够自主探测环境,并利用地图进行自主导航,从而完成任务(Thrun,1998 年)。地图规划和导航技术的发展使得工业和家用移动机器人技术有了巨大的进步。新一代的机器人将能够探索环境和构建地图,完成全局性的任务,例如,到特定目标的导航以及对环境改变的适应等。

本章的其余部分将介绍设计制造下一代移动机器人所必须攻克的主要难题:地图构建和导航。同时介绍解决这些问题现有的一些方法,并简单介绍本书的主要内容。

1.2 同步定位和地图构建

同步定位和地图构建问题(SLAM)是自动移动机器人面临的主要问题之一。虽然 SLAM 并不是唯一的问题,但却是最关键问题之一(Dissanayake、

Durrant-Whyte 等,2000 年; Newman 和 Leonard,2003 年),也是过去 20 多年间研究的重点课题。SLAM 的核心问题是,要求机器人在一个陌生环境中,首先要探索环境从而了解环境(构建地图),同步运用地图追踪机器人在该环境中的位置(定位)。严格地说,SLAM 是一个疑难问题,尽管在一些文献中它被描述为机器人解决问题的行为过程。

在很多情况下,SLAM 问题的解决都非常困难。移动机器人从本质上来说是移动的传感器平台,传感器虽然类型和能力各有不同,但是都存在使用限制和不同程度的噪声。以激光测距仪为例,它被公认为是机器人最精确、最可靠的传感器之一。虽然它能够以很高的精度探测与障碍物之间的距离,但它既不是真实距离而且也不是确定可靠的。只有在一定的误差范围内,测量才是精确的。更进一步的分析发现,在实际的环境中,激光测距仪给出的测量值也可能是错误的。例如,激光能够穿透玻璃墙;激光光束在反射回探测器之前,可能经过了多次反射。在户外,强光条件也会影响探测器而导致错误的读数。

使用声呐测距仪时,这种情况更严重。与激光光束不同,声波以锥形的方式从发射源向外传播,探测器根据锥形区域最近物体的反射来判断距离。这种比较大范围的波束也导致了很难得到被探测物体的准确位置的问题(Moravec 和 Elfes,1985 年)。某些材质的表面或者 90°左右的横切面都可能不会有效反射声波,从而导致探测器没有读数。像激光测距仪一样,声波多次反射或者非最近物体的反射也会影响读数。

传感器问题不仅仅局限于测距仪,图像传感器也有其应用的局限性。例如,照相机在区分图像标准色方面表现很差。而如果采用灰度的方式表示图像,光强的改变又很难表现出来,在户外条件下情况会更严重。虽然有一些处理图像光强改变的技术,但是没有一个是令人完全满意(Buluswar 和 Draper,2002 年; Tews、Robert 等,2005 年)。另外,如果采用全景相机或者廉价的广角镜头采集图像,图像会发生严重的畸变。

内部传感器也有使用受限制的问题。机器人轮子上的里程计可以精确测量轮子的移动距离,但是因轮子滑动等因素的存在,使得测量结果不能准确反映机器人移动的距离。由于不能完全补偿掉滑动所造成的这种误差,即使滑动误差很小,但随着时间的延长这种误差的累积也会变得无法忽略。这种称为“里程计漂移”的现象在机器人领域是众所周知的。当机器人行驶在崎岖不平的路面上时,这种情况会更严重。

通过工程化设计可以降低外部和内部传感问题的重要度。例如,使用更昂贵的照相机可以减小图像的畸变;利用不同类型的多个传感器数据进行信息融合能够帮助去除由单一传感器带来的错误信息的影响。工程师可以通过设计机器人和控制系统,以优化滑动误差;全球卫星定位系统(GPS)的使用可以不再依赖一段时间内的轮子编码器积分来实现机器人位置信息的更新。

虽然这些方法能够解决或者减小误差的影响,但是却很可能并不实用或者会带来新的问题。例如,标准的 GPS 无法在室内使用;在室外使用也不完全可靠并且不是所有的室外环境都能使用。第一个问题可以通过使用室内可用的 GPS 解决,但是也只能适用于特定类型的室内环境,不能通用。在户外环境下,如果 GPS 发生故障,故障修复将会花费相当长的时间。成本规则同样会限制很多可能的解决办法,尤其是在家用机器人领域,昂贵的传感器是尽量避免不能使用的。

事实上在自然界,人类和动物并不需要精确、完美的传感器就可以适应环境,进行定位和导航。使用更精确的传感器是提高导航精度和可靠性的一个方法,但是自然界中的生物采用完全不同的办法来解决这个问题。从商业应用和实际需求考虑,这种办法也可以适用于机器人系统的研制。尤其是对家用机器人来说,为了适应市场的价格承受能力,采用低精度、低价格的传感器搭建系统才是正确的选择。

对 SLAM 问题的解决方法主要可以分为两大类。一类是基于数学概率方法,这种方法在过去 20 年的研究成果很多。其中,卡尔曼滤波器、粒子滤波器和极大期望算法等是机器人 SLAM 问题的基本解决办法。基于概率论的方法研究非常广泛,并产生了各种各样的世界地图类型和传感器类型。该领域研究主要集中在实际环境中或者对机器人最终目标的仿真中,对移动机器人的导航功能和地图构建系统的研究。该领域的研究产生了许多 SLAM 方法,它们能够满足大环境中各种假设条件下的功能需求。典型的假设条件是机器人所处的环境是静止不变的,并且机器人装备了足够精确的传感器。因此,这些方法大多需要配备满足工程实用性的昂贵传感器装置,以及高性能的计算能力(Montemerlo、Thrun 等,2003 年;Grisetti、Stachniss 等,2005 年)。近年来,距离信息主要通过立体图像传感器计算出来,并且已经成功地应用在 SLAM 问题中,但是这种方法需要极其复杂的尺度不变特征转换(SIFT)(Sim、Elinas 等,2005 年)管理。

另一类研究领域则侧重于模拟动物的地图构建和导航系统。研究最多的动物是啮齿,通过研究啮齿类动物海马神经活动来解决三维空间导航任务。虽然这个领域还存在很多质疑,但是就鼠类导航活动中海马神经活动的特点已经达成一致观点。这个领域现在的研究方向主要是验证和改进大脑功能模型,而不是关注实际机器人的导航系统(Franz 和 Mallot,2000 年)。目前,只有很少一部分模型应用于实际的机器人系统中,并且仅限于小型人工环境中(Arleo,2000 年;Krichmar、Nitz 等,2005 年)。尽管如此,在不采用昂贵传感器和复杂概率算法的条件下,这种利用生物神经激励系统的方法提供了解决 SLAM 问题的研究思路。

总之,SLAM 问题是更高级的自主移动机器人必须解决的最具挑战性的问题之一。SLAM 问题的难点在于机器人必须采用具有不确定性的传感器去获取

外界环境信息。机器人研究领域产生了很多解决 SLAM 的方法,但是这些方法往往依赖于对环境的假设,昂贵的传感器和复杂的概率算法。现有的生物模拟系统计算模型还远远不能解决 SLAM 问题,但是它提供了一种可供选择的、使用廉价传感器解决问题的途径。

1.3 环境探索、目标导航和适应变化

要想真正在实际环境中应用,解决 SLAM 问题仅仅是自主移动机器人必须具备的能力之一。机器人还必须能够探索未知环境,进行目标导航,并且能够适应环境的变化。然而,在没有解决 SLAM 问题核心之前,这些任务是很难得到有效实现的。研究机器人的地图构建和导航系统与解决 SLAM 问题还是有差异的,尽管在未解决 SLAM 问题之前这种系统的研究面临着很大困难。环境探索和目标导航技术已经在仿真状态下进行了广泛地研究,但是 SLAM 问题的解决都是在假设前提下进行的。因此,实际应用 在机器人上的研究成果很少,对环境改变适应性方面的方法研究也较少。

由于过去的 20 多年里对机器人地图构建和导航系统的研究大多集中在对 SLAM 核心问题的解决上,因此这种解决方法是孤立的,并没有同其他具有挑战性的问题联系起来,如目标导航和对环境的适应问题。当未来 SLAM 问题解决以后,现有的研究成果可以为机器人的目标重构和适应能力的提升提供一些借鉴,而不需要所有地图构建和导航问题都从头开始研究。因此,每个独立的技术只能解决问题的某个方面,没有哪个系统可以解决实际环境中机器人所面临的所有问题。

1.4 生物模型的应用

本书的目的在于弥补两种系统的缺陷:一种是实际应用性能相对较差的生物导航模型;另一种是实用性较好但是有较强针对性的现有机器人导航系统。生物模型模拟动物的能力,需要综合考虑所有的地图构建、导航和环境适应能力,但是现有的机器人技术一般是采用特定方法分别解决特定的问题。科学家已经提出了很多的生物系统模型,但是仅有很少一部分模型是为机器人实际应用而提出的(ArleoBrowning,2000 年)。其中大部分模型不是为了更好地解决机器人地图构建和导航领域的问题,而只是为了测试生物机械模型本身而建立的。

大部分生物模型都是通过观察可控小环境下老鼠的行为而提出的。典型的老鼠实验就是让老鼠绕着小圆柱体或者长方体的柱子跑,或者放入标有一定数量人工指示标志的简单迷宫(NcNaughton、Barnes 等,1983 年;Knierim、Kudrimoti 等,1995 年;Skaggs 和 McNaughton,1998 年;Hampson、Simeral 等,1999 年;Koba-