

移动机器人环境认知理论与技术的研究*

蔡自兴, 邹小兵

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 未知环境中的移动机器人只具有较少的先验知识, 因此对环境的认知是实现环境建模、定位、规划、行动等自主导航控制的基本前提。移动机器人的认知理论与方法研究涉及计算机科学、人工智能、认知心理学、神经学、仿生学等领域, 是新兴的交叉学科——认知科学的一项重要前沿研究项目。本文介绍了移动机器人的环境感知技术与理论研究的现状, 并从认知理论与方法出发, 总结了有待进一步研究的相关问题。

关键词: 移动机器人; 环境认知; 知识表示; 进化学习

中图分类号: TP24

文献标识码: B

RESEARCH ON ENVIRONMENTAL COGNITION THEORY AND METHODOLOGY FOR MOBILE ROBOTS

CAI Zi-xing, ZOU Xiao-bing

(College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Mobile robots in unknown environment have little a-prior information. Therefore, environmental cognition is the basis of the environment modeling, self-localization, planning and action for autonomous navigation. The research on environmental cognition theory and methodology relates to computer science, artificial intelligence, psychology, neuroscience, bionics, and so on. It is an important frontier research field of the interdisciplinary subject of cognition science. The current status of theories and methods for environmental cognition of mobile robots under unknown environments are surveyed and analyzed. Existing problems are presented and issues of future research are also proposed.

Keywords: mobile robot; environmental cognition; knowledge representation; evolutionary learning

1 引言 (Introduction)

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^[1, 2]。未知环境中的移动机器人只具有较少的先验知识, 因此对环境的认知是实现环境建模、定位、规划等自主导航控制的最基本的前提。

人类和各种高等动物都具有丰富的感觉器官, 能通过视觉、听觉、味觉、触觉、嗅觉来感受外界刺激, 获取环境信息, 并由神经中枢(脑、脊髓神经)做出响应。尤其是人类的大脑能够从感知信息抽象出对周围环境的整体性知识, 形成对环境的理解, 从而实现更为复杂的智力活动。对机器人的感知系统而言, 认知功能包括: 获取、修正、组织、使用由时间、空间约束的环境信息。移动机器人工作环境的认知理论与方法研究将涉及计算机科学、人工智能、心理学、仿生学等领域, 是新兴的交叉学科——认知科学的一项重要前沿研究项目。该研究从认知科学的理

论与方法出发, 探讨移动机器人的环境认知过程, 模仿人类选择性关注机制下的心理活动与智能行为, 着重于对自然环境的感受与理解; 将移动机器人对环境理解从片面的、离散的、被动的感知层次, 提高到全局的、关联的、主动性的认知层次上; 探索建立一套适合于复杂环境的认知理论与方法, 适应移动机器人自主导航控制的鲁棒性环境建模与定位要求。

2 移动机器人环境感知的研究现状 (Current research status on environmental sensing of mobile robots)

根据目前移动机器人的技术水平与所担负的任务, 把移动机器人的环境限定为机器人工作运行空间中的一切与之关联的对象。因此, 环境认知的基础是空间认知。自主式移动机器人通过传感器获取环境信息。对感知系统而言, 需要完成的基本功能: 对象与路标的识别、自身的定位、环境地图的获

* 基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(60234030)。
收稿日期: 2003-05-16

得(建立合理的环境模型)^[3,4]。路标是确定位置上可以显著识别的物体;路径是环境中可以通行的连续位置点的序列;全局知识的提取是将环境的感知信息抽象为一个相对简单的模型,以便进行规划和决策。

目前应用于移动机器人的传感器有超声波传感器^[5]、激光测距传感器^[6]、计算机视觉系统^[7~9]等。通常采用信息融合方法把多传感器或多种类信息进行综合处理^[10,11]。多传感器信息具有信息冗余性、互补性特点。信息融合可在不同层次上进行,如像素级融合、特征级融合以及决策级融合。已经提出了许多信息融合方法,如人工神经网络(ANN)、贝叶斯估计、模糊集合理论等等^[12,13]。

人工神经网络是一种仿效生物神经系统的信息处理方法,在无法建立确切算法或逻辑结构的情况下,神经网络将发挥非线性适应结构的作用;贝叶斯估计是融合多传感器底层数据的概率统计分析方法^[14]。如果系统具有近似线性模型,且传感器噪声是高斯分布的白噪声模型,那么卡尔曼滤波器方法为融合数据提供统计意义下的最优估计^[15]。目前,传感器融合主要是实现测距传感器信息、内部航迹推算系统(如:里程计、编码器、罗盘等)信息、全局定位信息(如GPS)之间的信息融合。随着计算机视觉技术的发展,计算机视觉的应用已在移动机器人导航控制中占据越来越重要的地位。在室内环境中,环境在相当程度上具有结构化的特征,可以通过地面地板的条纹、固定的灯光、墙壁、拐角等特征进行导航。在室外道路的自动驾驶控制中,文献^[16]采用边缘检测技术进行道路跟踪控制,文^[17]利用物体识别技术检测障碍并识别交叉路口、弯道、桥梁等标志。

环境信息综合是一个对感知信息进行建模的过程。环境的建模与移动机器人导航的自定位是紧密相关的。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。一个适当的环境模型将有助于对环境理解,降低规划和决策的计算量。在环境建模技术研究方面,主要提出了几何建模方法和拓扑建模方法^[18,19]。几何建模方法着重于时空坐标上对象的定量描述;而拓扑建模方法则着重于局部环境中部分可观测特性的描述,通过部分可观测马尔可夫决策过程(POMDP)进行环境的辨识与定位。

虽然人工智能在机器推理方面已经取得了很大的进展,但在环境感知与理解方面却处于比较低级

的水平。机器人学的先驱 Hans Moravec 曾经指出:在某些智能活动中,机器推理的能力可以达到成年人所具有的推理和思考能力,而在对环境的感知与理解方面,人工机器的能力尚不如一岁的婴儿^[20]。这不仅是受限于现有传感器、计算机等硬件,更受限于对环境认知机理的了解不够深入以及认知方法论不完备等原因。研究未知环境中的移动机器人,必然要模拟人或动物在与环境交互中形成的有意识的认知方法和无意识的反应机理。

3 基于认知理论的导航 (Navigation based on cognition theory)

认知科学以人和高等动物的智力行为以及大脑的功能为主要研究对象。空间认知是存在于相对早期的动物进化中的重要认知能力,非常适合于研究从简单的定式行为向复杂认知行为进化的一般性机理。移动机器人研究从智能控制的基础出发,期望赋予机器人更多的人工智能。认知科学提出的一系列理论概念需要通过仿生智能机器来验证;另一方面,智能控制领域的移动机器人研究也正向着高智能的拟人和自主方向发展。研究人类以及动物对环境的认知能力(空间的感知与空间的行为能力)已成为研究人类智能以及机器人发展的一个重要课题。把对人类以及其它高级动物对环境的认知科学研究成果应用于移动机器人的研究,将有助于建立一个鲁棒的未知环境中的移动机器人认知体系。

3.1 认知体系结构的研究

随着生物界与自然界的进化,一方面是高级生物的感知能力提高,同时也由于自然环境的日益复杂,动物需要一个环境的空间知识表示来作为导航的认知基础。动物神经学家经过长期的研究,发现啮齿动物大脑内的海马区在导航中起着关键性作用。海马机能与空间定位、方向识别、位置感应等空间认知行为相关的能力,是啮齿动物空间认知与空间行为能力的神经学基础^[21,22]。海马机能体现在啮齿动物(如鼠)能够根据环境线索(主要是视觉信息,还包括听觉、嗅觉以及体觉的信息)以及本体感应(proprioception)来确定空间方位。在夜晚等对外界感知能力减弱的情况下,本体感受与脑前庭的感应部分地取代了外部的线索^[23]。文^[24]提出了海马机能的计算模型,并采用移动机器人对模型进行验证。

人、机器人、动物在环境中的认知行为可以按照复杂度分为几个等级^[25]:反射式的感知行为、信息融合的感知行为、可学习的认知行为、自主的认知行

为.反射式行为根据当前传感器的激励而直接引导执行器的本能响应,如人体的膝跳反射.移动机器人的简单避障行为;反射式行为不需要知识记忆.信息融合需要短期的知识记忆来综合传感器的信息,以得到外界复杂环境的局部印象.学习行为能够从当前信息与历史信息中提取知识,更新对环境的认知.自主的认知行为不仅仅依赖于传感器的刺激和历史经验,而且也依赖于当前执行的任务与追求的目标;能够根据当前的任务,采用柔性的行为去实施复杂的认知行动.在环境认知的更高层次,能够进行空间知识的语言描述与语言交流,例如蜜蜂可以通过舞蹈来表达食物所处的方位^[26].

感知功能模块的灵活组合以及合理的传感响应体系是实现认知行为的功能平台.针对移动机器人认知体系结构,有许多问题需要进一步研究解决,它们是:如何实现多层次知觉行为的合理协调,并建立各层次间知识的交流机制与学习机制,形成包容性的环境激励响应机制;如何实现快速的知识提取与知识更新,使得功能与知识都具有良好的扩展性等.

3.2 选择性关注机制与主动视觉

对动物界外界环境感知,视觉无疑具有极其关键的作用.国际认知界关于视觉搜索的研究在神经心理学和认知心理学中受到了格外关注^[27].人类与动物的视觉系统具有明显的选择性关注机能^[27-29].视觉感知过程分为两个比较显著的不同阶段:关注前阶段(*preattentive stage*)与关注阶段.在关注前阶段,环境的基本特征(色彩、局部外形)被并行存储,视场内的图像按照基本信息特征被分割为视觉空间单元.关注前阶段也是单元选择过程.文献[28]认为在同一时刻只有一个视觉单元进入下一阶段,被置于关注焦点上,即视觉采用串行处理机制,对环境的认知是基于特征融合理论(*features integration theory*),感知是从局部特征到整体认知.而在并行认知机制里,心理学模型提示所有阶段的感知任务都能够由并行的竞争模型(*competitive model*)来解决^[29],即认知行为是从整体到局部的感知路线.文献[30]提出了混合的引导式搜索模型(*guided search model*),认为进入关注阶段的视觉对象并不唯一,关注的焦点是与心理活动相关的活跃区域;在串行搜索中,并非盲目地逐一搜索,而是通过竞争,首先关注被激活的特征.

主动视觉的概念是针对 Marr 提出的传统视觉计算理论而言的, Marr 的计算理论是一种严格的自下而上的过程^[31],没有考虑视觉不同层次之间的相

互作用以及主体与客体(环境对象)之间的相互作用.显然,主动视觉受到认知心理学的选择性关注的控制.主动视觉强调视觉行为的目的性.视觉行为在不同层次间的联系、主客体间的交互作用^[32].主动视觉系统是机器人视觉一个重要的研究领域^[33].在不同的主动视觉系统中,模仿人类视觉生理调节机能运动的双目视觉最为常用.当计算机视觉应用于移动机器人,必须考虑几种动态的感知因素.其中,最重要的是图像信息的处理能力,以便能够满足扫描或视觉跟踪目标的要求.这就需要改变关注机制,以便实现快速地探测与定位视觉目标.此外,在神经心理学中,感知信息到达大脑的视觉处理皮层的延迟时间也是不一样的.强烈刺激到达的速度快于弱刺激.在数据处理过程中,这些信号代表了激励的数据流^[34].人类对环境的感知体系是一个相互支持的统一认知整体.视觉往往在触觉、听觉、嗅觉、味觉的引导下选择关注对象,同时也会用后几种感知来感性化、具体化、实物化视觉所产生的认知概念.

认知心理学强调过去的知识经验和现实刺激都是产生知觉所必需的,因此它认为知觉过程包含相互联系的两种加工:自下而上(*bottom up*)加工和自上而下(*top down*)加工.主动视觉是实现选择性关注机制的前提,而选择性关注机制的实践模型,又是两种知觉路线在视觉行为中的体现^[27].人往往只对“感兴趣”的对象表现出关注的热情,而对关注点外的对象往往视而不见、熟视无睹等;针对复杂对象,往往需要反复刺激才会产生深刻的印象.这使得人类的大脑能够集中精力从事复杂的智力行为.

选择性注意机制将有可能解决复杂环境下实时视觉信息的处理以及大量数据的记忆问题.研究主动视觉以及选择性关注机制的目的在于模拟动物的视觉调节机制,实现主动的视觉观察行为.有待进一步研究的问题包括:由于环境中存在许多对象和敏感刺激源,如何选择关注对象?在包容性机制中,如何合理地安排这种选择性行为?

3.3 时空环境信息的表示

认知心理学家把大量的认知过程看作是“知觉的”,知觉过程是接纳感觉输入并将之转换为较抽象代码的过程.知觉研究的一个基本问题是“什么是知觉信息的基本表达?或者知觉过程是从哪里开始的?要建立任何知觉学说和理论模型,无论是人类的还是计算机的,都必须首先回答这个问题.

文[35]提出在关注阶段的认知行为包括了3个并行的处理流程:识别当前被选择单元、针对被选择

单元进行空间-马达(spatial-motor)的行为计算,建立相应的描述文件.在关注阶段,提取、概括被关注目标的详细外形、色彩、位置等视觉特征,形成一个描述文件;同时,还进一步对实施何种行为进行判决.如何描述物体的不同特征,也就是对物体不变性的特征提取,并使之与表示物体的索引一一对应.在人们的记忆中,场景对象并不是以精确数学描述或准确图片的形式存储下来,而是对场景特征用某种语言符号描述、概括,便于更好地管理与记忆.被关注目标的描述文件包括简洁地描述视觉对象的视觉-空间特性,并加注相应的目标索引.一个索引引起一个指针的作用,与观察的时间和地点有关^[36].

在视觉信息特征提取与辨识技术中,一种是复杂的精确的数学分析方法(如小波分析、傅里叶变换),实现精确的特征提取与匹配^[37,38];另一类是基于认知心理学、神经学、模糊逻辑的典型特征的概率匹配方法^[35].人的认知显然倾向于后一种机制,人脑并不是一个刻板记录的机器.研究时间与空间约束下的环境知识的表示以及它们的性质,将传感器感知的离散的、片面的、非完整的空间信息形成可应用于决策规划的知识形式,是环境认知的重要方法论.对环境对象的知识表示研究有几点值得关注:(1)对空间物体不变性特征的提取与特征绑定,从心理学与神经科学层面研究形象信息处理,研究新的环境信息处理的数学方法是关键问题之一.(2)不同知识表示的特性以及针对某个任务需要哪种最合理的知识表示方法?(3)空间环境的建模问题本质上是感知知识的组织与利用.一个合理的环境模型能够有效地帮助移动机器人实现导航控制,是感知层上升到认知层的重要标志.从底层的感知信息表示到较高层的认知过程,可以细化为由感知信息如何得到环境路标知识,如何转化为路径知识并形成对环境的全局认知模型?

3.4 认知行为能力的自适应进化与学习

知觉依赖于过去的知识和经验,知觉信息是现实刺激的信息和记忆信息相互作用的结果.认知主体既在环境中运行,同时也可以对环境施加影响.认知过程包含信息获取的过程和信息处理的过程(即思维过程),同时也包含知识状态改变的过程或产生主观信息的过程(经验、知识的积累).自主认知系统与环境的交互作用,能够将主动地创造环境与最大限度地利用自然环境相结合,实现对环境的认知^[39].研究的重点包括:机器人采用何种行为去最大可能地获取必要的信息,实现对环境的全面理解;

尤其是机器人如何获得自适应的进化学习能力.

适应性的思想对计算机科学是十分重要的, Brooks 的临场人工智能是对自然环境的适应.由于现场认知是研究实际环境中信息处理与行为的课题,因此,对这个领域的深入探索对自主机器人的环境认知有着重要作用.移动机器人进化设计与学习是 20 世纪 90 年代兴起的一种通过人工进化的自动化设计过程来开发机器人及其传感-马达控制系统的方法^[40],它包括群体进化学习和个体发展学习.基于进化学习的机器人导航系统的主要优点在于可以简化设计过程,设计结果具有一定鲁棒性,并可能产生突现(emergence)行为,是实现低层反应式控制和高层行为决策的有效途径之一.但是进化学习在仿真设计、运行时间、性能评估指标等方面还没有理论依据.进化学习是否能持续有效,进化结果是仅仅停留在传感-马达反应式行为水平上还是可以进一步扩展到复杂行为等问题都值得深入探讨.该方向的研究将对生物系统认知过程的理解起到促进作用.

4 结论 (Conclusion)

环境认知对于移动机器人而言,是一个重要的研究环节.在未知环境中的导航,尤其需要移动机器人对环境的理解.对环境的认知是实现移动机器人在未知环境中导航的关键技术.以往的研究是离散的、感知层次上的研究,难以为复杂未知环境下的机器人导航提供足够的导航信息.从认知理论与方法出发,模仿人类选择性关注机制下的心理活动与智能行为,将对自然环境的感受与理解从片面的、离散的、被动的感知层次提高到全局的、关联的、主动性的认知层次上;全面深入分析移动机器人系统与环境之间的交互关系,以实现灵活、稳定、可靠的移动机器人认知系统,建立一套适合于复杂环境下的环境认知理论,对于促进高性能的移动机器人系统在航天、海洋、军事、工业、服务业等领域的广泛应用具有重要意义.

参考文献 (References)

- [1] 欧青立,何克忠.室外智能移动机器人的发展及其相关技术研究[J].机器人,2000,22(6):519-526.
- [2] 蔡自兴,贺汉根,陈虹.未知环境中移动机器人导航控制研究的若干问题[J].控制与决策,2002,17(4):385-390.
- [3] Betke M, Gurdits L. Mobile robot localization using landmarks[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1997, 12(2):251-263.
- [4] Mouaddib El M, Marhic B. Geometrical matching for mobile robot localization[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 2000, 16

- (5) :542 - 552 .
- [5] Elfes A. Sonar-based real-world mapping and navigation[J]. IEEE Journal of Robotics & Automation, 1987 ,3(3) :249 - 265 .
- [6] 杨明,王宏,何克忠,等. 基于激光雷达的移动机器人环境建模与避障[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2000 ,40(7) :112 - 116 .
- [7] Shah S, Aggarwal J K. Mobile robot navigation and scene modeling using stereo fish-eye lens system[J]. Machine Vision and Applications, 1997 ,10(4) : 159 - 173 .
- [8] Taylor C J, Kriegman D J. Vision-based motion planning and exploration algorithms for mobile robots[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1998 ,14(3) :417 - 426 .
- [9] Dias J, Paredes C, Fonseca I, *et al.* Simulating pursuit with machine experiments with robots and artificial vision[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1998 ,14(1) :1 - 17 .
- [10] GroBmann A, Poli R. Robust mobile robot localisation from sparse and noisy proximity readings using Hough Transform and probability grids[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2001 ,37(31) : 1 - 18 .
- [11] Matia F, Jimenez A. Multisensor fusion: An autonomous mobile robot [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1998 ,22(2) :129 - 141 .
- [12] Thrun S. Bayesian landmark learning for mobile robot localization[J]. Machine learning, 1998 ,33(1) : 41 - 76 .
- [13] McFetridge L, Ibrahim M Y. New technique of mobile robot navigation using a hybrid adaptive fuzzy-potential field approach[J]. Computers and Industrial Engineering, 1998 ,35(3) :471 - 474 .
- [14] Castellanos J A, Montiel J M M, Neira J, *et al.* The Spmap: a probabilistic framework for simultaneous localization and map building[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1999 ,15(5) :948 - 953 .
- [15] Jetto L, Longhi S, Venturini G. Development and experimental validation of an adaptive extended Kalman filter for the localization of mobile robots[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1999 ,15(2) : 219 - 229 .
- [16] Leonard J J, Durrant-Whyte H F. Mobile robot localization by tracking Geometric beacons[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1991 ,7(3) : 376 - 382 .
- [17] Franklin N, Tversky B, Coon V. Switching points of views in spatial mental models[J]. Memory & Cognition, 1992 ,20(5) : 507 - 518 .
- [18] 邹小兵,蔡自兴. 基于传感器信息的环境非光滑建模与路径规划[J]. 自然科学进展, 2002 ,12(11) :1188 - 1192 .
- [19] Salichs M A, Moreno L. Navigation of mobile robots: open questions [J]. Robotica, 2000 ,18(2) :227 - 234 .
- [20] Moravec H. Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence [M]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1988 .
- [21] Jung M, McNaughton B. Spatial selectivity of unit activity in the hippocampal granular layer[J]. Hippocampus, 1993 ,3(2) : 165 - 182 .
- [22] Knierim J, Kudrimoti H, McNaughton B. Place cells, head direction cells, and the learning of landmark stability[J]. Journal of Neurosci, 1995 ,15(3) :1648 - 1659 .
- [23] Quirk G, Muller R, Kubie J. The firing of hippocampal place cells in the dark depends on the rat's recent experience[J]. Journal of Neurosci, 1990 ,10(6) :2008 - 2017 .
- [24] Arleo A, Gerstner W. Spatial cognition and neuro-mimetic navigation: a model of hippocampal place cell activity[J]. Biological Cybernetics, 2000 ,83(3) : 287 - 299 .
- [25] Mallot H A. Spatial cognition: behavioral competences, neural mechanisms, and evolutionary scaling[J]. Kognitionswissenschaft, 1999 ,8(1) : 40 - 48 .
- [26] Hauser M D. The Evolution of Communication[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1996 .
- [27] Chelazzi L. Serial attention mechanisms in visual search: a critical look at the evidence[J]. Psychological Research, 1999 ,62(2/3) : 195 - 219 .
- [28] Treisman A, Gelade G. A feature-integration theory of attention[J]. Cognitive Psychology, 1980 ,12(1) : 97 - 136 .
- [29] Duncan J, Humphreys G. Visual search and stimulus similarity[J]. Psychological Review, 1989 ,96(3) : 433 - 458 .
- [30] Wolfe J M, Cave K R, Franzel S L. Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search[J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1989 ,15(3) : 419 - 433 .
- [31] Marr D. Vision[M]. New York: W.H Freeman and Company, 1982 .
- [32] Pavlidis I, Symosek P, Fritz B, *et al.* Automatic detection of vehicle occupants: the imaging problem and its solution[J]. Machine Vision and Applications, 2000 ,11(6) : 313 - 320 .
- [33] 吴福朝,李华,胡占义. 基于主动视觉系统的摄像机自定标方法研究[J].自动化学报,2001 ,27(6) :752 - 762
- [34] Knoblauch A, Palm G. Scene segmentation by spike synchronization in reciprocally connected visual areas. II global assemblies and synchronization on larger space and time scales[J]. Biol. Cybern., 2002 ,87(3) : 168 - 184 .
- [35] Schneider W X. Visual-spatial working memory, attention, and scene representation: a neuro-cognitive theory[J]. Psychological Research, 1999 ,62(2/3) : 220 - 236 .
- [36] Leslie A M, Xu F, Tremoulet P D, *et al.* Indexing and the object concept: developing "what" and "where" systems[J]. Trends in Cognitive Sciences, 1988 ,2(1) , 10 - 18 .
- [37] 吴均,朱重光,赵忠明. 一种基于小波分析的旋转不变图像快速匹配方法[J]. 遥感学报, 2002 ,6(5) :339 - 342 .
- [38] Li W X, Zhang D, Xu Z-Q. Palmprint recognition based on Fourier transform[J]. Journal of Software, 2002 ,13(5) : 879 - 886 .
- [39] Mallot H A. Behavior-oriented approaches to cognition: theoretical perspectives[J]. Theory in Biosciences, 1997 ,116(2) : 196 - 220 .
- [40] Brooks R, Robis A. Layered control system for a mobile robot[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 1986 ,2(1) :14 - 23 .

作者简介:

蔡自兴(1938-),男,教授.研究领域:人工智能,智能机器人等.

邹小兵(1969-),男,博士生.研究领域:移动机器人,智能控制系统等.