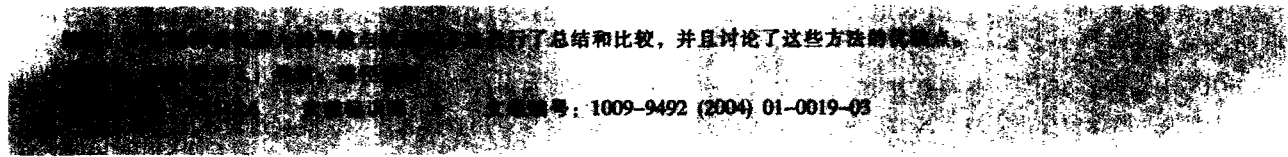


# 移动机器人的导航与路径规划的研究

吕永刚，谢存禧

(华南理工大学机械工程学院，广东广州 510640)



## 1 前言

移动式机器人的研究开始于 60 年代末。斯坦福研究院 (SRI) 的 Nils Nilssen 和 Charles Rosen 等人在 1966 年至 1972 年中研究制造出名为 Shakey<sup>[1]</sup> 的自主移动机器人。70 年代后期，由于计算机和传感技术的应用与发展，移动机器人的研究又出现了一个新的高潮。80 年代中期以来，一批配备有超声波、视觉等传感器、图象处理器、微机控制器的多处理机的移动机器人相继问世，具有代表性的如 CMU Nanlab、Martin Maritetta Alvin、Texas A & M 大学 BART 以及德国联邦国防军大学的 VaMoRs 等。90 年代以来，研制高水平的环境信息传感器和信息处理技术，高适应的移动机器人控制技术，真实环境下的规划技术为标志，开展了移动机器人更高层次的研究<sup>[2]</sup>。移动机器人正向着具有自组织、自学习、自适应的智能化方向发展。

## 2 移动机器人的导航方式与方法

导航是移动机器人应该具备的基本功能。当处于一个未知的、复杂的、动态变化的环境中时，通过对环境的探索，引导机器人到达期望的位置，同时尽量减少消耗（如时间或能量）。

移动机器人的导航方式有：基于环境信息的环境地图模型匹配导航、基于各种导航信号的路标导航、视觉导航、气味导航<sup>[3]</sup> 和声音导航等<sup>[4]</sup>。

环境地图模型匹配导航是机器人通过自身的各种传感器，探测周围环境，利用感知到的局部环境信息进行局部的地图构造，并与其内部事先存储的完整地图进行匹配。如果两模型相互匹配，机器人可确定自身的位置，并根据预先规划的一条全局路线，采用路径跟踪和避障技术，实现导航<sup>[5]</sup>。几年前国外的科学家就开始从事这项技术的研究。如英国伦敦大学的 ARNE<sup>[6]</sup> 机器人就采用的这种方法。

路标导航是在事先知道路标在环境中的坐标、形状等

特征的前提下，机器人通过对路标的探测来确定自身的位置，同时将全局路线分解成为路标与路标间的片断，不断地对路标探测来完成导航。可分为人工路标导航和自然路标导航。人工路标导航，虽然比较容易实现，但它人为地改变了机器人工作的环境。自然路标导航不改变工作环境，是机器人通过对工作环境自然特征的识别完成导航，路标探测的稳定性和鲁棒性是研究的主要问题<sup>[7]</sup>。

视觉导航主要完成障碍物和路标的探测及识别。国内外应用最多的是在机器人上安装车载摄像机的基于局部视觉的导航方式。P. I. Corke 等对车载摄像机的移动机器人视觉闭环系统的研究表明，这种控制方法可以提高路径跟踪精度<sup>[8]</sup>。从视觉图象中识别道路是影响移动机器人导航性能的一个最重要因素。对于一般的图象边沿抽取而言，已有了许多方法，例如，局部数据的梯度法和二阶微分法。Trahanias<sup>[9]</sup> 利用视觉探测路标来完成机器人的导航。其中路标不是预先定义的人工路标，而是在学习阶段自动提取的自然路标。在视觉导航中边缘锐化、特征提取等图象处理方法的计算量大，移动机器人是在运动中对图象进行处理，实时性差始终是一个非常棘手的问题。解决该问题的关键在于设计一种快速图象处理方法。为了满足速度的要求，基于统计计算的预值法被应用于机器人的导航，但在实际应用中发现，它抑制噪声的能力差，特别是，预值的选取极大地依赖于环境，要想获得理想的结果，仅在一幅图象中的不同区域就要设置不同的预值。近些年，由于人工智能的发展，有很多好的算法被应用到移动机器人的视觉导航中去。Stanley<sup>[10]</sup> 提出了基于神经网络的机器人视觉导航技术。该技术中估算逆雅可比矩阵，并将图象特征的变化与机器人的位置变化对应起来，通过神经网络训练来近似特征雅可比矩阵的逆阵。该技术，通过提取几何特征、平均压缩、向量量化和主成分提取来简化图象处理，实现实时视觉导航<sup>[12]</sup>。当机器人在室外工作

环境中时,由于室外环境的复杂性,为网络提供有效和完备的样板是一件非常困难的工作。利用模糊逻辑推理进行图象的边沿抽取是一个尚未深入研究的新方向。

气味导航<sup>[1]</sup>是通过装配在机器人的化学传感器感知气味的浓度,根据气味的浓度和气流的方向来控制机器人的运动。由于气味传感器具有灵敏度高、响应速度快以及鲁棒性好等优点。但该技术实用性很差,还处在实验研究阶段。

在导航中采用的一些算法:HOUGH 变换、删格法和扩展卡尔曼滤波器-阈值综合法等。

HOUGH 变换,它是一种特殊图像处理方法。使 HOUGH 变换从图像中提出直线形式的道路边界,并通过对比探测到的道路信息与机器人内部存储的地形,修正偏差,实现导航。在室内环境中,可采用 HOUGH 变换从图像中提出墙壁等直线信息,然后通过对多个墙壁的距离来实现自身的定位。这种方法可以提高导航的鲁棒性<sup>[11]</sup>。

栅格法<sup>[12]</sup>将机器人工作环境分解成一系列具有二值信息的网络单元,多采用四叉树或八叉树表示工作环境。并通过优化算法完成路径的搜索,该法以栅格为单位记录环境信息,环境量化成具有一定分辨率的栅格,栅格的大小直接影响着环境信息存储量的大小和规划时间的长短。栅格划分大了,环境信息存储量小,规划时间短,但分辨率下降,在密集环境下发现路径的能力减弱;栅格划分小了,环境分辨率高,在密集环境下发现路径的能力强,但环境信息存储量大,规划时间长,可以采用改进的栅格法弥补栅格法的不足。可以采用一定的环境信息优化策略,删除移动机器人后面一定的环境信息。从环境坐标系取出一栅路,当此栅路落后于车体的距离大于一定值时,则从环境坐标系中删除此栅路,由此可减少处理时间。

A.CURRAN 和 K.J.KYKRIAKOPULOS 曾提供了一种系统,把扩展卡尔曼滤波器与阈值技术结合起来,成功地确定了当环境中没有未知物体的情况下移动机器人的位置<sup>[11]</sup>。

### 3 移动机器人路径规划方法

路径规划是移动机器人导航最基本的环节之一。它是按照任务要求搜索一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰撞路径。根据移动机器人对环境信息知道的程度不同,可分为两种类型:环境信息完全知道的全局路径规划和环境信息完全未知或部分未知的局部路径规划。

(1) 早期的规划方法有:几何法和拓扑法

几何法将组成空间表示成一系列递归方式不同精度的网络,根据不同的精度要求,由粗到精,逐级搜索路径。这种方法的优点在于表示的一致性、简单性和普通性,容易实现;缺点是没有考虑环境的拓扑特征,因而搜索本身具有盲目性,依赖于对精度的要求,当环境复杂而精度要求高时,搜索空间是相当大的,而且这种方法一般没有考虑移动物体的几何特点,不能很好地解决方向因素很重要的路径规划问题<sup>[13]</sup>。

拓扑法根据环境和运动物体的几何特点,将组成空间划分成若干拓扑特征一致的子区域,并依据彼此的连通性建立一个拓扑网,在该图中搜索一条拓扑路径,可以得到几何路径,这种方法的优点在于利用拓扑特征大大缩小了搜索空间,其算法的复杂性仅仅依赖于障碍物的数目,在理论上是完备的,缺点在于表示的复杂性、特殊性,建立拓扑网的过程相当复杂。但是,针对一种环境拓扑网只需建立一次,因而在实际中能大大提高效率,显示其优越性<sup>[14]</sup>。

(2) 全局路径规划的主要方法有:可视图法、自由空间法、环境地图法。

可视图法<sup>[14]</sup>是将所有障碍物的顶点和机器人的起始点及目标点用直线相连,这些直线均不能与障碍物相交,即“可视的”,然后采用某种方法搜索从起始点到目标点的最优化路径,如 Dijkstra 法, A\* 搜索算法等。而且还可以通过剔除一些不必要的障碍物,简化可视图,达到减小搜索复杂性。优点是可以求得最短路径,缺点是此法缺乏灵活性,即一旦机器人的起点和目标点发生改变,就要重新构造可视图,比较麻烦。

自由空间法的基本思想是采用预先定义的基本形状(如广义锥形,凸多边形等)构造自由空间,并将自由空间表示为连通图,然后通过对图的搜索来规划路径,其算法的复杂度往往与障碍物的个数成正比。自由空间的优点是比较灵活,机器人的起始点和目标点的改变不会造成连通图的重新构造,缺点为不是任何时候都可以获得最短路径。

环境地图法是由 Dudek<sup>[15]</sup>提出的根据激光传感器信息建立环境地图的方法。Elfes<sup>[16]</sup>针对超声波传感器信息的特征,提出了一种离散化的概率地图。Boresstein 和 Koren<sup>[17]</sup>提出了基本概率地图的矢量场分布图的环境地图描述法。

(3) 局部路径规划的主要方法有:人工势场法、遗传算法(GA)和模糊逻辑算法等。

人工势场法,是由 Khatib 提出的一种虚拟力法。这种方法的基本思想是把移动机器人在环境中的运动视为一种在抽象的人造受力场中的运动,即在环境中建立人工势场的负梯度方向指向系统的运动控制方向。目标点对移动机器人产生引力,障碍物对移动机器人产生斥力。其结果是使移动机器人沿“势峰”间的“势谷”前进。最后求出合力来控制移动机器人的运动。这类方法的突出的优点是系统的路径生成与控制直接与环境实现了闭环,从而大大加强了系统的适应性与避障性能。但是人工势场法也存在几个主要的缺陷:①陷阱区域;②在相近的障碍物之间不能发现路径;③在障碍物前振荡;④在狭窄通道中摆动<sup>[11]</sup>。

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化的搜索算法,由于它具有简单、健壮、隐含并行性和全局优化等优点,对于传统搜索方法难以解决的复杂和非线性问题具有良好的适用性,应用遗传算法解决自主

移动机器人动态环境中路径规划问题,可以避免困难的理论推导,直接获得问题的最优解。但是也存在一些不足:计算速度不快,提前收敛等问题,因此可对算法作一些改进,在种群初始化中,引入某一控制依据以及在判断算法终止时的策略。

模糊控制算法模拟驾驶员的驾驶思想,将模糊控制本身所具有的鲁棒性与基于生理学上的“感知-动作”行为结合起来,适用于时变未知环境下的路径规划,实时性较好。

随着通讯技术和计算机技术的进步,人工智能的发展,越来越多的方法将被应用到移动机器人的导航与规划中,从而使移动机器人的导航与规划可以在现实社会中有更大的应用。

参考文献:

- [1] N Nilsson. A. mobile automation: An application of artificial intelligence techniques. In Proc IJCAI, 1969
- [2] 李磊,叶涛,谭明等. 移动机器人技术研究现状与未来 [J]. 机器人, 2002, 24 (5): 1-5
- [3] R Andrew Russell. Survey of Robotic Applications for Odor-sensing Technology [J]. The International Journal of Robotics Research. 2001, 20 (2): 144-162
- [4] Jie Huang, Tadawate Supaongprapa. A model-based sound localization system and its application to robot navigation. Robotics and Autonomous Systems [J]. 1999, 27: 199-209
- [5] E Bourque, G Dudek. Automated Image-based Mapping. In workshop on perception for creating virtual environments. On Proc IEEE Int Conf On Robotics and Auto, Leuven Belgium, 1998
- [6] O Wijk, H I Chriteensen. Localization and Navigation of A Mobile Robot Using Natural Point Landmarks Extracted From Data. Robotics and Autonomous System.
- [7] Kenneth D. Harris, Michael Recce. Absolute localization for a mobile robot using place cells. Robotics and Autonomous System. 1997, (22): 393-406
- [8] Corke P I, Good M C. Dynamic effects in visual closed-loop systems. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1996, 12 (5): 671-683
- [9] Trahanias P. Visual Recognition of Workspace Landmarks for Topological Navigation. Autonomous Robotics, 1999, 7 (2): 143-158
- [10] Stanley K. W. Q. M. J. Neural Network-based Vision Guided Robotics. Proceedings of the 1999 IEEE Inter Conf on Robotics and Automation, 1999: 281-286
- [11] 李貽斌, 李彩虹, 刘明等. 移动机器人导航技术 [J]. 山东矿业学院学报 (自然科学版), 1999, 18 (3)
- [12] C. Wongkamnit, D. Angluin. The robot, the grid, and the algorithm. Technical Report, YALE/DCS/TR-1188, Yale University Computer Science Department, New Haven, CT, 1999.
- [13] 艾海舟, 张敏. 移动机器人路径规划系统 [J]. 模式识别与人工智能, 1991, 4 (1)
- [14] Claude Pegard, A mobile robot using a panoramic view. In: Proceeding of the 1996 IEEE Int. Conf. On robotics and Automation, Minneapolis, 1996: 89-94
- [15] Gregory Dudek, Michael Jenkin. Computational Principles of Mobile Robotics. Cambridge University Press, 2000: 132-145
- [16] Elfes A. A Sonar-based Mapping and navigation system, Proc. Of the IEEE Inter. Conf. on Robotics and automation, 1986: 1151-1156
- [17] Borenstein, J. Koren, Y. Histogramic in Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance, IEEE Transactions on Robotics and Automation [J]. 1991, Aug. 17 (4): 535-539

第一作者简介: 吕永刚, 男, 1976年生, 山西文水人, 硕士研究生。研究领域: 机器人。

(编辑: 吴智恒)

(上接第 12 页) 不断进化。

## 5 结束语

企业集群及企业集群的网络化制造为集群内企业提供了适应快速多变的市场的优良环境和制造模式, 对于集群内企业, 其活动的最终目的是占有市场, 实现利润的最大化。集群内企业为适应市场竞争的需要, 迎合快速变化的市场机遇, 充分利用企业集群及网络化制造的各种优势, 在集群内快速组合, 建立起具有足够弹性、自适应性和组织性的企业集群的网络化制造系统。

在企业集群的网络化制造中, 集群内各专业化企业可充分利用企业集群的信息网络公共服务平台, 协同完成新产品的开发研究、设计、制造、装配、销售和维全过程。企业集群的网络化制造可实现集群内企业的协同进

化, 使集群内资源得到共享和优化配置, 提高集群内企业创新能力, 发挥集群优势, 加速企业集群的发展与进化。

参考文献:

- [1] 王缉慈. 从意大利产业区模式看浙江专业化产业区发展前景 [N]. 浙江经济, 2001-11-06.
- [2] 王缉慈. 创新的空间-企业集群与区域发展 [M]. 北京 北京大学出版社, 2001.
- [3] 崔明磊. 透视温州家族企业 [N]. 中国信息报, 2002-01-23.
- [4] 顾新建, 祁国宁, 陈子辰. 网络化制造的战略和方法-制造业在网络经济中的生存和发展 [M]. 北京 高等教育出版社, 2001.

第一作者简介: 葛昌跃, 男, 1974年生, 浙江台州人, 硕士, 讲师。研究领域: 先进制造技术企业集群网络化制造。

(编辑: 吴智恒)