

文章编号: 1671-7848(2003)S₀-0152-04

机器人路径规划方法综述

张 颖, 吴成东, 原宝龙

(沈阳建筑工程学院 信息与控制工程学院, 辽宁 沈阳 110015)



摘 要: 路径规划技术是机器人控制技术研究中的一个重要问题, 目前为止, 其研究方法主要有两大类: 传统方法和智能方法。综述了有关机器人路径规划技术的研究方法, 介绍了自由空间法等传统方法, 同时讨论了基于遗传算法、模糊控制和神经网络等智能方法的路径规划技术, 并展望了机器人路径规划技术的未来与发展趋势。

关 键 词: 机器人; 路径规划; 智能规划; 传统规划; 粗糙集

中图分类号: TP 242

文献标识码: A

1 引 言

路径规划技术是机器人研究领域中的一个重要分支。所谓机器人的最优路径规划问题, 就是依据某个或某些优化准则(如工作代价最小、行走路线最短、行走时间最短等), 在其工作空间中找到一条从起始状态到目标状态的能避开障碍物的最优路径。机器人路径规划方法大致可以分为两类: 传统方法和智能方法。

2 传统路径规划方法

1) 自由空间法 为了简化问题, 通常采用“结构空间”来描述机器人及其周围的环境。这种方法将机器人缩小成点, 将其周围的障碍物及边界按比例相应地扩大, 使机器人点能够在障碍物空间中移动到任意一点, 而不与障碍物及边界发生碰撞。

2) 图搜索法 图搜索方法中的路径图由捕捉到的存在于机器人一维网络曲线(称为路径图)自由空间中的节点组成。建立起来的路径图可以看作是一系列的标准路径。而路径的初始状态和目标状态同路径图中的点相对应, 这样路径规划问题就演变为在这些点间搜索路径的问题。

通过起始点和目标点及障碍物的顶点在内的一系列点来构造可视图。连接这些点, 使某点与其周围的某可视点相连(即使相连接的两点间不存在障碍物或边界)。然后机器人沿着这些点在

图中搜索最优路径。

3) 栅格解耦法 栅格解耦法是目前研究最广泛的路径规划方法。该方法将机器人的工作空间解耦为多个简单的区域, 一般称为栅格。由这些栅格构成了一个连通图, 在这个连通图上搜索一条从起始栅格到目标栅格的路径, 这条路径是用栅格的序号来表示的。栅格解耦法包括确切的和不确切的两种。

确切的解耦法用来描述整个自由空间, 这将使复杂环境的解耦速度变慢, 其原因是许多复杂的多边形可能需要与障碍物的边界相匹配。这种方法可以保证只要起始点到目标点之间存在路径, 就完全能搜索到这条路径。

在不确切的解耦法中, 所有的栅格都是预定的形状, 为了研究方便假设全部为矩形。整个图被分割成多个较大的矩形, 每个矩形之间都是连续的。如果大矩形内部包含障碍物或者边界, 则又被分割成 4 个小矩形, 对所有稍大的栅格都进行这种划分, 然后在划分的最后界限内形成的小栅格间重复执行程序, 直到达到解的界限为止。这种解耦的结构称为“四叉树”。四叉树法在计算机图形和机器人视觉中已得到了广泛的应用, 并且在此基础上又发展了许多的操作算法。在进行下一层更细的划分之前, 应在每一层上的起点和目标点间找到一条路径, 如果该路径满足起点到目标点间无障碍物的要求, 则停止搜索。

不确切的解耦方法比确切的解耦方法在数学

计算上要简单的多,因此也比较容易实现。

4) 人工势场法 传统的人工势场法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,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”,最后通过求合力来控制移动机器人的运动。但是,由于势场法把所有信息压缩为单个合力,这样就存在把有关障碍物分布的有价值的信息抛弃的缺陷,且易陷入局部最小值。

大部分机器人路径规划中的全局规划都是基于上述几种方法进行的,但是以上这些传统方法在路径搜索效率及路径优化方面尚有待于进一步改善。而现在通常使用的搜索技术包括:梯度法, A* 等图搜索方法,枚举法、随机搜索法等。这些方法中梯度法易陷入局部最小点,图搜索方法、枚举法不能用于高维的优化问题,而随机搜索法则计算效率太低。

3 智能路径规划方法

近年来,随着遗传算法等智能方法的广泛应用,机器人路径规划方法也有了长足的进展,许多研究者把目光放在了基于智能方法的路径规划研究上。其中,应用较多的算法主要有模糊方法、神经网络和遗传算法。

1) 基于模糊逻辑的机器人路径规划 模糊方法是在线规划中通常采用的一种规划方法,包括建模和局部规划。庄晓东等^[1]提出一种基于模糊概念的动态环境模型,参照物体的位置和运动信息构造二维隶属度函数;然后通过模糊综合评价对各个方向进行综合考察,得到搜索结果。该方法在移动障碍物和移动目标的环境中能有效地实现机器人避碰和导航。李彩虹等^[2]提出了一种在未知环境下移动机器人的模糊控制算法,并对此算法进行了推导与仿真,证明该算法鲁棒性强,可消除传统算法中存在的对移动机器人的定位精度敏感、对环境信息依赖性强等缺点,使移动机器人的行为表现出很好的一致性、连续性和稳定性。Hartmut Surmann 等^[3]提出一种未知环境下的高级机器人模糊导航方法,由 8 个不同的超声传感器来提供环境信息,然后利用基于模糊控制的导航器来计算这些信息,规划机器人路径。其模糊规则建立见表 1。

表 1 基于模糊控制的机器人导航模糊规则建立

命令	模糊量	命令	模糊量
停止	$0 \in [-0.5, 0.5]$	立即右转	$6 \in [5.5, 6.5]$
面向前	$1 \in [0.5, 1.5]$	前行	$7 \in [6.5, 7.5]$
下个命令左转	$2 \in [1.5, 2.5]$	转向	$8 \in [7.5, 8.5]$
下个命令右转	$3 \in [2.5, 3.5]$	新:前一个命令左转	$9 \in [8.5, 9.5]$
后退	$4 \in [3.5, 4.5]$	新:前一个命令右转	$10 \in [9.5, 10.5]$
立即左转	$5 \in [4.5, 5.5]$	—	—

该方法在环境未知或发生变化的情况下,能够快速而准确地规划机器人路径,对于要求有较少路径规划时间的机器人是一种很好导航方法。但是,其缺点是当障碍物数目增加时,该方法的计算量会很大,影响规划结果。

2) 基于神经网络方法的机器人路径规划 禹建丽等^[4]提出了一种基于神经网络的机器人路径规划算法,研究了障碍物形状和位置已知情况下的机器人路径规划算法,其能量函数的定义利用了神经网络结构,根据路径点位于障碍物内外的不同位置选取不同的动态运动方程,规划出的路径达到了折线形的最短无碰路径,计算简单,收敛速度快。

陈宗海^[5]等提出了一种在不确定环境中移动机器人的路径规划方法,将全局路径规划分解为局部路径规划的组合,为了提高规划的效率,在避障规划中采用了基于案例的学习方法,以 ART-2 神经网络实现案例的匹配学习和扩充,满足了规划的实时性要求。

为了提高机器人路径规划的速度,禹建丽等^[6]在利用神经网络路径规划方法的基础上,又引进了线性再励的自适应变步长算法。这种方法实现了步长的自适应选择,使路径规划速度比原来的神经网络规划提高了 10 倍。

3) 基于遗传算法的机器人路径规划 遗传算法是目前机器人路径规划研究中应用较多的一种方法,无论是单机器人静态工作空间,还是多机器人动态工作空间,遗传算法及其派生算法都取得了良好的路径规划结果。

孙树栋等^[7]用遗传算法完成了离散空间下机器人的路径规划,并获得了较好的仿真结果。但是,该路径规划是基于确定环境模型的,即工作空间中的障碍物位置是已知的、确定的。

Kazuo Sugihara and John Smith^[8]在采用离散空间进行路径规划的同时,将问题更深入化,栅格序号采用二进制编码,统一确定其个体长度,随机

产生障碍物位置及数目,并在搜索到最优路径后,再在环境空间中随机插入障碍物,模拟环境变化,通过仿真结果验证了算法的有效性和可行性。但是,规划空间栅格法建模还存在缺陷,即若栅格划分过粗,则规划精度较低;若栅格划分太细,则数据量又会太大。

周明等^[9]提出一种连续空间下基于遗传算法的机器人路径规划方法,该方法在规划空间利用链接图建模的基础上,先使用图论中成熟算法粗略搜索出可选路径,然后再使用遗传算法来调整路径点,逐步得到较优的行走路线。该方法的染色体编码不会产生无效路径,且仅使用基本遗传算法就可以完成路径规划。但是,该方法对于环境复杂、障碍物数目较多的情况,链接图的建立会有一定的困难。

在遗传算法的改进上,周明等^[10]提出一种遗传模拟退火算法,利用遗传算法与模拟退火算法相结合来解决机器人路径规划问题。有效地提高了路径规划的计算速度,保证了路径规划的质量。

在多移动机器人协调作业方面,遗传算法也得到了应用,景兴建等^[11]提出一种基于理性遗传算法的协调运动行为合成算法,针对特定环境下的多机器人协调运动问题,基于调速避碰的思想,借助 CMAC 神经网络,描述各机器人的运动行为与环境状态之间复杂的、非线性映射关系,利用理性遗传算法来合成与优化各机器人的运动行为,从而实现多机器人已知环境下,运动行为的相互协调与优化。此外,还有 Cai Zixing^[12]及孙树栋^[13]等人的研究成果。

4) 基于混合方法的机器人路径规划方法

L. H. Tsoukalas^[14]等提出一种用于半自主移动机器人路径规划的模糊神经网络方法。所谓半自主移动机器人就是具有在人类示教基础上增加了学习功能的器件的机器人。这种方法采用模糊描述来完成机器人行为编码,同时重复使用神经网络自适应技术。由机器人上的传感器提供局部的环境输入,由内部模糊神经网络进行环境预测,进而可以在未知环境下规划机器人路径。

此外,也有人提出基于模糊神经网络和遗传算法的机器人自适应控制方法。将规划过程分为离线学习和在线学习两部分。其中,离线学习部分主要为模糊神经网络方法,将模糊方法分为 5 层:输入、模糊化、操作、规则、输出,然后用神经网络

络对这 5 层的参数进行训练。

在线学习部分为 3 部分:PE—性能鉴别;AS—行为搜索;RC—规则构造。性能鉴别部分主要是判断机器人工作环境中是否有障碍物。 J^b 为判断所用的性能指标,若 $J^b = 1$,则该位置无障碍物;反之,若 $J^b = 0$,则该位置有障碍物。行为搜索部分是根据费用最小原则,利用遗传算法调整路径。规则构造部分则为模糊控制构造规则库。主要用于产生机器人的行为控制,如向前、向后、左转、右转等。该方法是一种混合的机器人自适应控制方法,可以自适应调整机器人的行走路线,达到避障和路径最短的双重优化。

综上所述,遗传算法等智能方法在机器人路径规划技术中已受到广泛的重视及研究,在障碍物环境已知或未知情况下,均已取得一定的研究成果。而其应用特点总结如下:

①在全局规划的基础上,进行局部微调,提高规划速度及精度。②具有一定的灵活性,可以互相结合,取长补短。③具有一定的扩展性,每种研究方法都可以完成自身的扩展及完善。④性能稳定。

4 结 语

机器人路径规划是机器人应用中的一项重要技术,例如,在执行装配、焊接及抢险救灾等任务时,采用良好的机器人路径规划技术可以节省大量机器人作业时间、减少机器人磨损,同时也可以节约人力资源,减小资金投入,为机器人在多种行业中的应用奠定良好的基础。将遗传算法、模糊逻辑以及神经网络等方法相结合,可以组成新的智能型路径规划方法,从而提高机器人路径规划的避障精度,加快规划速度,满足实际应用的需要。同时,多机器人协调作业环境下的路径规划技术也将是研究的热点及难点问题,越来越受到人们的重视。由于障碍物及机器人数目的增加,极大地增加了路径规划的难度,引入可以优化约简知识的粗糙集理论,简化规划条件,提取路径规划特征参数,有可能进一步解决诸如机器人路径规划速度等难题,因此,这将是一个有意义的研究课题。

参考文献:

[1] 庄晓东,孟庆春,殷波,等. 动态环境中基于模糊概

- 念的机器人路径搜索方法[J]. 机器人, 2001, 23(5): 397-399.
- [2] 李彩虹, 张景元, 李贻斌. 基于模糊控制的移动机器人的路径规划[J]. 淄博学院学报, 2001, 3(3): 27-30.
- [3] Hartmut Surmann, Jrg Huser, Jens Wehking. Path planning for a fuzzy controlled autonomous mobile robot[A]. Fifth IEEE Int. Conf. On Fuzzy Systems Fuzz-IEEE '96[C]. UAS New Orleans, 1996.
- [4] 禹建丽, 韩平. 一种基于神经网络的机器人路径规划算法[J]. 洛阳工学院学报, 2001, 22(1): 31-34.
- [5] 陈宗海, 陈锋. 一种不确定环境下移动机器人避障规划算法[J]. 机器人, 2002, 24(4): 359-361.
- [6] 禹建丽, 成久洋之, Valeri Kroumov. 线性再励的自适应变步长机器人神经网络路径规划算法[J]. 燕山大学学报, 2002, 26(3): 259-266.
- [7] 孙树栋, 曲彦宾. 遗传算法在机器人路径规划中的应用研究[J]. 西北工业大学学报, 1998, 16(1): 79-83.
- [8] Kazuo Sugibara, John Smith. Genetic algorithms for adaptive motion planning of an autonomous mobile robots[A]. Problems IEEE Trans SMC[C]. USA: SIM, 1997.
- [9] 周明, 孙树栋, 彭炎午. 用遗传算法规划机器人路径[J]. 西北工业大学学报, 1998, 16(4): 581-583.
- [10] 周明, 孙树栋, 彭炎午. 基于遗传模拟退火算法的机器人路径规划[J]. 航空学报, 1998, 19(1): 118-120.
- [11] 景兴建, 王越超. 一种基于理性遗传算法(RGA)的协调运动行为合成算法[J]. 机器人, 2002, 24(1): 49-54.
- [12] Cai Z X, Peng Z H. Cooperative coevolutionary adaptive genetic algorithm in path planning of cooperative multi-mobile robot systems[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2002, 33(1): 61-71.
- [13] 孙树栋, 林茂. 基于遗传算法的多移动机器人协调路径规划[J]. 自动化学报, 2000, 26(5): 673-676.
- [14] Tsoukalas LH, Houstis EN, Jones GV. Neurofuzzy motion planners for intelligent robots[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1997, 19: 339-356.
- [15] Kevin M. Stebbing. the application of genetic algorithms to path planning for mobile robots[D]. A Thesis Submitted to the University of Wales for the Degree of Magister in Scientia, 1992.
- [16] Mansor MA, Morris AS. Path planning in unknown environment with obstacles using virtual window[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1999, 14(24): 235-251.
- [17] Zavlangas PG, Tzafestas SG. Industrial robot navigation and obstacle avoidance employing fuzzy logic[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2000, 27(1): 85-97.
- [18] 唐平, 张祺, 杨宜民. 可碰机器人动态避障的路径规划研究[A]. Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation[C]. Hefei, P. R. China: 中国科技大学, 2000.
- [19] 姜大力, 杨西龙, 杜文, 等. 车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(6): 43-45.
- [20] 吴晓涛, 孙增圻. 用遗传算法进行路径规划[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1995, 35(5): 14-19.
- [21] 张颖, 吴成东. 基于遗传算法的机器人路径规划[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2002, 18(4): 302-305.

Progress on Path Planning Research for Robot

ZHANG Ying, WU Cheng-dong, YUAN Bao-long

(College of Information and Control Engineering, Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: Path planning is an important problem in robot control. At present, there are two major methods: traditional method and intelligent method. Some methods of robot path planning are surveyed, and traditional methods such as free space method are introduced. Meanwhile, the path planning methods based on genetic algorithms, fuzzy logic and neural networks are discussed respectively. Finally, the future development of robotic path planning is forecast.

Key words: robot; path planning; intelligent planning; traditional planning; coarse set

中国·正泰集团

为感谢您多年来对正泰品牌工业电器的信任和支持,集团公司特在辽宁省设立正泰集团辽宁总公司,我们将以最优惠的价格和最可靠的产品为您服务。

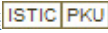
谢谢惠顾,欢迎光临!

正泰集团辽宁机电设备有限公司

地 址 沈阳市和平区民主路 66 号

联系人 张丽萍 手 机 :13840468664

电 话 23224831

作者：[张颖](#)，[吴成东](#)，[原宝龙](#)
作者单位：[沈阳建筑工程学院，信息与控制工程学院，辽宁，沈阳，110015](#)
刊名：[控制工程](#) 
英文刊名：[CONTROL ENGINEERING OF CHINA](#)
年，卷(期)：[2003, 10\(z1\)](#)
被引用次数：[209次](#)

参考文献(21条)

1. [庄晓东, 孟庆春, 殷波, 王汝霖, 熊建设, 王旭柱](#) [动态环境中基于模糊概念的机器人路径搜索方法](#) [期刊论文]-[机器人](#) 2001(5)
2. [李彩虹; 张景元; 李贻斌](#) [基于模糊控制的移动机器人的路径规划](#) 2001(03)
3. [Hartmut Surmann; Jrg Huser; Jens Wehking](#) [Path planning for a fuzzy controlled autonomous mobile robot](#) 1996
4. [禹建丽, 李晓燕, 王跃明, 韩平](#) [一种基于神经网络的机器人路径规划算法](#) [期刊论文]-[洛阳工学院学报\(自然科学版\)](#) 2001(1)
5. [陈宗海, 陈锋](#) [一种不确定环境下移动机器人的避障规划算法](#) [期刊论文]-[机器人](#) 2002(4)
6. [禹建丽, 成久洋之, Valeri. Kroumov](#) [线性再励的自适应变步长机器人神经网络路径规划算法](#) [期刊论文]-[燕山大学学报](#) 2002(3)
7. [孙树栋; 曲彦宾](#) [遗传算法在机器人路径规划中的应用研究](#) 1998(01)
8. [Kazuo Sugibara; John Smith](#) [Genetic algorithms for adaptive motion planning of an autonomous mobile robots](#) 1997
9. [周明; 孙树栋; 彭炎午](#) [用遗传算法规划机器人路径](#) 1998(04)
10. [周明, 孙树栋, 彭炎午](#) [基于遗传模拟退火算法的机器人路径规划](#) [期刊论文]-[航空学报](#) 1998(1)
11. [景兴建, 王越超](#) [一种基于理性遗传算法\(RGA\)的协调运动行为合成算法](#) [期刊论文]-[机器人](#) 2002(1)
12. [Cai Z X; Peng Z H](#) [Cooperative coevolutionary adaptive genetic algorithm in path planning of cooperative multi-mobile robot systems](#) 2002(04)
13. [孙树栋, 林茂](#) [基于遗传算法的多移动机器人协调路径规划](#) [期刊论文]-[自动化学报](#) 2000(5)
14. [Tsoukalas LH; Houstis EN; Jones GV](#) [Neurofuzzy motion planners for intelligent robots](#) 1997
15. [Kevin M; Stebbing](#) [the application of genetic algorithms to path planning for mobile robots](#) 1992
16. [Mansor MA; Morris AS](#) [Path planning in unknown environment with obstacles using virtual window](#) 1999(24)
17. [Zavlangas PG; Tzafestas SG](#) [Industrial robot navigation and obstacle avoidance employing fuzzy logic](#) 2000(27)
18. [唐平; 张祺; 杨宜民](#) [可碰机器人动态避障的路径规划研究](#) 2000
19. [姜大立, 杨西龙, 杜文, 周贤伟](#) [车辆路径问题的遗传算法研究](#) [期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 1999(6)
20. [吴晓涛; 孙增圻](#) [用遗传算法进行路径规划](#) 1995(05)
21. [张颖, 吴成东, 于谦](#) [基于遗传算法的机器人路径规划](#) [期刊论文]-[沈阳建筑工程学院学报\(自然科学版\)](#) 2002(4)

1. 邓顺平, 张艳军, 刘会平 [一种基于威胁势场的A星路径规划算法](#)[期刊论文]-[科技视界](#) 2014(03)
2. 刘罡, 刘玉斌, 赵杰 [未知环境下基于传感器的救援机器人路径规划](#)[期刊论文]-[煤矿机械](#) 2011(01)
3. 马千知, 雷秀娟 [改进粒子群算法在机器人路径规划中的应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2011(25)
4. 纪迪 [人工势场法在机器人避碰路径规划中的应用](#)[期刊论文]-[软件导刊](#) 2010(07)
5. 王红, 周越 [针对机器人路径规划问题的改进型遗传算法](#)[期刊论文]-[沈阳师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(03)
6. 叶小勇, 雷勇, 侯海军 [蚁群算法在全局最优路径寻优中的应用](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2007(24)
7. 刘玲, 王耀南, 况菲, 张辉 [基于神经网络和遗传算法的移动机器人路径规划](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2007(02)
8. 张泽明, 罗文坚, 王煦法 [基于免疫进化非选择机制的移动机器人路径规划算法研究](#)[期刊论文]-[电子与信息学报](#) 2007(08)
9. 鲁庆 [基于栅格法的移动机器人路径规划研究](#)[期刊论文]-[电脑与信息技术](#) 2007(06)
10. 周友行, 何清华 [双臂凿岩机器人离散任务规划](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2006(13)
11. 张汝波, 郭必祥, 熊江 [基于遗传蚁群算法的机器人全局路径规划研究](#)[期刊论文]-[哈尔滨工程大学学报](#) 2004(06)
12. 张银玲, 牛小梅 [蚁群算法在移动机器人路径规划中的仿真研究](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2011(06)
13. 孙俊岭 [基于电子海图的智能潜水器路径规划研究](#)[期刊论文]-[海洋工程](#) 2011(04)
14. 丘华兰, 张认成, 杜建华, 陈军 [林区火源探测机器人的路径规划仿真研究](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2008(05)
15. 郑利君 [基于超声传感器移动机器人路径规划和避障算法的研究](#)[学位论文]硕士 2006
16. 段俊花, 李孝安 [基于改进遗传算法的机器人路径规划](#)[期刊论文]-[微电子学与计算机](#) 2005(01)
17. 卢瑾 [基于遗传算法的机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
18. 孙叶平, 李德雪 [机器人不能折线转弯的最短路径问题](#)[期刊论文]-[高师理科学刊](#) 2015(1)
19. 唐念, 陈永亮 [UUV在线路径规划技术现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[电源技术应用](#) 2014(03)
20. [基于粗糙集和蚁群算法的机器人路径规划研究](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2012(12)
21. 熊新娟, 范宁军, 吴炎恒 [微小型无人水面航行器的全局避障航迹规划](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2010(z1)
22. 曹萌萌 [基于模糊逻辑控制的动态行为移动机器人路径规划](#)[学位论文]硕士 2009
23. 黄力, 张增芳, 朱亚超 [基于二叉决策的机器人路径规划研究](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2008(03)
24. 朱锐 [类人机器人地图创建与自定位技术研究及其在路径规划中的应用](#)[学位论文]硕士 2008
25. 王洪斌, 陈刚 [轮式移动机器人在未知环境下路径规划](#)[期刊论文]-[科技创新导报](#) 2007(35)
26. 廖绍辉, 张连东 [机器人路径规划技术的现状与发展趋势](#)[期刊论文]-[机械工程师](#) 2007(07)
27. 孟宪权, 薛青, 龙立 [用于虚拟环境中实时避障的凸多边形融合算法](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2006(z1)
28. 刘微 [机器人路径规划的研究及其虚拟监视](#)[学位论文]硕士 2004
29. 石庆龙 [基于LWR算法的避障行为学习控制器设计及在机器人上的实现](#)[学位论文]硕士 2013
30. 李正明, 张燕 [基于模拟退火算法的割草机器人的避障研究](#)[期刊论文]-[现代科学仪器](#) 2012(02)
31. 李艳丽 [基于遗传算法的多足球机器人路径规划](#)[学位论文]硕士 2011
32. 郗安民, 王琦, 孙学彬 [一种有效的地图创建方法和机器人的路径规划](#)[期刊论文]-[机械设计](#) 2010(01)

33. [何海涛](#) [动态环境下四足机器人运动规划和控制](#)[学位论文]硕士 2008
34. [何炎祥, 范收平](#) [基于神经网络和人工势场的滚动规划](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2005(31)
35. [吕瑞强, 侯志霞](#) [人工智能与智能制造](#)[期刊论文]-[航空制造技术](#) 2015(13)
36. [谭宝成, 廉春原, 徐艾, 张海刚](#) [一种基于改进遗传算法的机器人路径规划方法](#)[期刊论文]-[西安工业大学学报](#) 2008(05)
37. [刘梁军](#) [基于免疫算法的机器人路径规划](#)[期刊论文]-[科技广场](#) 2007(05)
38. [辜吟吟](#) [基于蚁群算法的移动机器人路径规划方法的研究](#)[学位论文]硕士 2007
39. [王斌](#) [机器人足球比赛态势分析与性能评测系统研究](#)[学位论文]硕士 2006
40. [吴成东, 张颖, 刘航](#) [粗糙集遗传算法在机器人路径规划中的应用](#)[期刊论文]-[沈阳建筑工程学院学报\(自然科学版\)](#) 2003(04)
41. [余溢, 郭伟](#) [四足机器人在崎岖路面的路径规划研究](#)[期刊论文]-[机械与电子](#) 2013(02)
42. [耿东山](#) [基于蚁群算法的机器人全局路径规划](#)[学位论文]硕士 2010
43. [孟偲, 王田苗](#) [一种移动机器人全局最优路径规划算法](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2008(03)
44. [赵勃](#) [局部未知环境下移动机器人路径规划方法的研究与实现](#)[学位论文]硕士 2006
45. [李群智, 申振荣, 张伍, 贾阳](#) [带机械臂的月面巡视探测器的路径规划方法研究](#)[期刊论文]-[航天器工程](#) 2010(05)
46. [李苑](#) [室外自主移动机器人导航系统研究与设计](#)[学位论文]硕士 2007
47. [胡晓娟](#) [基于ARM的移动机器人运动控制研究](#)[学位论文]硕士 2007
48. [高庆吉, 于咏生, 胡丹丹](#) [基于改进A*算法的可行性路径搜索及优化](#)[期刊论文]-[中国民航学院学报](#) 2005(04)
49. [张建英](#) [月球车路径规划方法的初步研究](#)[学位论文]硕士 2005
50. [马勤勇](#) [两轮差速驱动移动机器人运动模型研究](#)[学位论文]硕士 2013
51. [张莉, 王勇](#) [移动机器人路径跟踪模糊控制系统设计及仿真](#)[期刊论文]-[电子测试](#) 2011(09)
52. [祝法辉](#) [RoboCup中型组足球机器人路径规划及任务分配的研究](#)[学位论文]硕士 2009
53. [刘渭苗](#) [轮式移动机器人神经网络控制](#)[学位论文]硕士 2007
54. [陈曦, 谭冠政, 江斌](#) [基于免疫遗传算法的移动机器人实时最优路径规划](#)[期刊论文]-[中南大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(03)
55. [胡晓明](#) [基于动态环境的机器人路径规划的研究](#)[学位论文]硕士 2008
56. [施斌](#) [虚拟场景下自动路径选择的研究](#)[学位论文]硕士 2008
57. [徐春晖](#) [基于电子海图的AUV全局路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
58. [吴涛](#) [移动机器人避障与路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2004
59. [张广林, 胡小梅, 柴剑飞, 赵磊, 俞涛](#) [路径规划算法及其应用综述](#)[期刊论文]-[现代机械](#) 2011(05)
60. [常严, 朱晓璐, 倪中华](#) [基于光诱导介电泳的微粒子操纵路径规划方法](#)[期刊论文]-[东南大学学报\(英文版\)](#) 2011(04)
61. [唐创奇](#) [焊接机器人系统运动规划方法的研究与软件实现](#)[学位论文]硕士 2008
62. [冉昕](#) [室外自主移动机器人导航系统及其仿真软件的设计与实现](#)[学位论文]硕士 2008
63. [朱金成](#) [自主跟随机器人系统研究与实现](#)[学位论文]硕士 2014
64. [王涛](#) [基于蚁群算法的机器人路径规划及其仿真系统研究](#)[学位论文]硕士 2009
65. [陈建平, 任斌, 张会章](#) [人工智能在智能机器人领域中的研究与应用](#)[期刊论文]-[东莞理工学院学报](#) 2008(03)

66. 欧志平 [基于自适应加权数据融合的移动机器人GPS导航及路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
67. 郑春霞 [FMS中AGV的路径规划与避障](#)[学位论文]硕士 2006
68. 王怡萱 [基于增强学习的多机协同路径规划的研究与应用](#)[学位论文]硕士 2006
69. 胡小明 [基于免疫算法的移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
70. 李强 [家庭移动服务机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2012
71. 王震 [局部未知环境下移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2012
72. 牛风英 [智能轮椅多模态控制系统研究](#)[学位论文]硕士 2009
73. 郑勇 [基于蚁群算法的移动机器人动态路径规划](#)[学位论文]硕士 2008
74. 李华 [变形移动机器人的仿真研究](#)[学位论文]硕士 2007
75. 刘好明 [6R关节型机器人轨迹规划算法研究及仿真](#)[学位论文]硕士 2008
76. 周颖馨 [MENTOR机器人控制系统的研究](#)[学位论文]硕士 2006
77. 谢斌 [移动机器人遍历运动规划与多机器人仿真软件开发](#)[学位论文]硕士 2006
78. 张美玉, 黄翰, 郝志峰, 杨晓伟 [基于蚁群算法的机器人路径规划](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2005(25)
79. 龙海燕 [SHAA移动机器人实时神经网络路径规划算法](#)[学位论文]硕士 2005
80. 段俊花 [足球机器人系统路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
81. 胡文 [基于MAS的多机器人系统及关键技术研究](#)[学位论文]硕士 2010
82. 颜世周 [一种六自由度机器人的开发与轨迹规划算法研究](#)[学位论文]硕士 2009
83. 冯志刚 [机器人足球策略软件开发平台研究](#)[学位论文]硕士 2005
84. 陈前洋 [飞行器并行航迹规划算法研究](#)[学位论文]硕士 2005
85. 王小忠 [机器人运动规划方法的研究及仿真实现](#)[学位论文]硕士 2004
86. 樊瑞元 [基于动态神经网络的移动机器人导航方法的研究与实现](#)[学位论文]硕士 2009
87. [Lambda*路径规划算法](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2014(04)
88. 殷炳叶 [基于MAS的多机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2007
89. 邵丽丽 [海上航线规划的算法研究](#)[学位论文]硕士 2011
90. 郑丽娜 [基于重心的双足步行机器人步态规划及稳定性控制设计与研究](#)[学位论文]硕士 2008
91. 祖丽楠 [多智能体分布式实时仿真实验系统开发与规划算法研究](#)[学位论文]硕士 2004
92. 蒋华龙 [基于单片机的轮式机器人设计](#)[学位论文]硕士 2009
93. 赵世强 [轮式移动机器人运动控制系统研究与设计](#)[学位论文]硕士 2009
94. 米文龙 [多机器人协调避碰与任务协作研究](#)[学位论文]硕士 2008
95. 刘广志 [机器人搬运袋装物料的运动轨迹分析](#)[学位论文]硕士 2007
96. 李存岑 [基于DSP的排牙机器人控制](#)[学位论文]硕士 2006
97. 李天友 [弧焊机器人动态轨迹规划方法的研究与实现](#)[学位论文]硕士 2010
98. 张雷 [机器人路径规划及编队问题的研究与仿真](#)[学位论文]硕士 2007
99. 孙玉敏 [基于传感信息的机器人运动仿真技术研究](#)[学位论文]硕士 2005
100. 曾莉 [基于leader-follower方法和Ad Hoc网络的多人编队](#)[学位论文]硕士 2010
101. 崔靖 [基于环境二次划分的移动机器人路径规划新算法研究](#)[学位论文]硕士 2011
102. 陈振扬 [不规则工件自动抛光技术研究](#)[学位论文]硕士 2009
103. 张胜宾 [基于Pioneer3-AT移动机器人的定位实验研究](#)[学位论文]硕士 2008

104. [李满](#) [基于神经网络的冗余机器手臂障碍物躲避和实时解析](#)[学位论文]硕士 2008
105. [王丽英](#) [城市环境的过程式建模技术研究](#)[学位论文]博士 2009
106. [覃文军](#) [基于LEGO组件的“机器人实验室”系统研究与开发](#)[学位论文]硕士 2006
107. [张婷](#) [基于虚拟场景的路径规划技术研究及应用](#)[学位论文]硕士 2007
108. [丁小辉](#) [复杂环境下移动机器人路径规划新算法的研究](#)[学位论文]硕士 2010
109. [王刚](#) [RPJ-X型喷浆机器人的仿真研究](#)[学位论文]硕士 2009
110. [梅传根](#) [连以粒子群最佳化为基础之机器人足球之研究](#)[学位论文]硕士 2009
111. [李劲](#) [竞选算法及其应用研究](#)[学位论文]硕士 2008
112. [朱明华](#), [王霄](#), [蔡兰](#) [机器人路径规划方法的研究进展与趋势](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2006 (03)
113. [杨利彪](#) [移动机器人的视觉伺服系统研究](#)[学位论文]硕士 2008
114. [郭玉](#) [基于改进蚁群算法的机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
115. [张国骞](#) [基于Zigbee远程湿地监控系统的无人船运动系统设计](#)[学位论文]硕士 2014
116. [朱钦华](#) [移动机器人视觉导航技术研究](#)[学位论文]硕士 2007
117. [邹吉祥](#) [肩离断多自由度机器人型假肢的设计与仿真](#)[学位论文]硕士 2011
118. [赵锦丽](#) [ZMP算法的四足步行机器人的步态规划与平衡控制](#)[学位论文]硕士 2011
119. [贾润亮](#) [多机器人系统路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
120. [张晨旭](#) [多agent机器人系统导航及路径规划的研究](#)[学位论文]硕士 2009
121. [阮见](#) [多功能智能移动机器人控制系统设计与分析](#)[学位论文]硕士 2008
122. [王志江](#) [基于SolidWorks平台的焊接接头特征建模及路径规划](#)[学位论文]硕士 2005
123. [高珊](#) [基于改进的模拟退火算法的自主移动机器人路径规划的研究](#)[学位论文]硕士 2009
124. [刘雪飘](#) [机器人足球比赛中的动态路径规划研究与系统软件设计](#)[学位论文]硕士 2006
125. [卢君宜](#) [基于结构参数误差补偿的农业采摘机械臂轨迹规划](#)[学位论文]硕士 2010
126. [于爽](#) [基于多操作机的排牙机器人的研究](#)[学位论文]硕士 2005
127. [蒋诚](#) [自主移动机器人的总体设计及路径规划的研究](#)[学位论文]硕士 2007
128. [单芳](#) [基于改进蚁群算法的机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2006
129. [张艳](#) [机器人的运动规划研究与基于OpenGL的仿真](#)[学位论文]硕士 2006
130. [屈耀红](#) [小型无人机航迹规划及组合导航关键技术研究](#)[学位论文]博士 2006
131. [贾朝川](#) [多自自由度假肢控制系统的设计与实现](#)[学位论文]硕士 2012
132. [魏兰](#) [移动机器人的可视化编程及仿真系统研究与实现](#)[学位论文]硕士 2007
133. [孙志阳](#) [移动机器人视觉导航算法的研究与设计](#)[学位论文]硕士 2008
134. [孙秀军](#) [基于RBF神经网络的机械手轨迹规划及运动仿真研究](#)[学位论文]硕士 2007
135. [李岩](#) [基于WEB的机器人遥操作及其运动仿真的研究](#)[学位论文]硕士 2007
136. [刘建邦](#) [嵌入式遥操作移动机器人系统设计](#)[学位论文]硕士 2008
137. [郑义](#) [爬管机器人的设计与仿真](#)[学位论文]硕士 2012
138. [马俊伟](#) [包含串并联关节的复杂机器人的运动规划](#)[学位论文]硕士 2008
139. [张翻](#) [全方位移动机器人的运动建模与控制](#)[学位论文]硕士 2005
140. [唐龙伟](#) [真实DEM地图下一种航迹规划算法的研究和应用](#)[学位论文]硕士 2014
141. [宫晨](#) [多传感器智能机器人设计](#)[学位论文]硕士 2008

142. [尹江平](#) [基于双判决法与神经网络的机器人手臂冗余度实时解析](#)[学位论文]硕士 2008
143. [田丰](#) [基于遗传算法的工业机器人最优运动规划研究](#)[学位论文]硕士 2006
144. [臧瑛](#) [三维地形上形体运动路径定义与运动显示方法研究](#)[学位论文]硕士 2007
145. [徐培培](#) [复杂动态环境下移动机器人的全局路径规划算法研究](#)[学位论文]硕士 2009
146. [刘华军](#), [杨静宇](#), [陆建峰](#), [唐振民](#), [赵春霞](#), [成伟明](#) [移动机器人运动规划研究综述](#)[期刊论文]-[中国工程科学](#) 2006(01)
147. [陈曦](#) [基于免疫遗传算法的移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
148. [杨一曼](#) [足球机器人3: 3决策系统的研究](#)[学位论文]硕士 2007
149. [郑丽娜](#) [基于重心的双足步行机器人步态规划及稳定性控制设计与研究](#)[学位论文]硕士 2008
150. [徐春晖](#) [基于电子海图的AUV全局路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
151. [杨萌](#) [考虑环保成本的输电规划研究](#)[学位论文]硕士 2008
152. [曾鹏](#) [基于工业机器人的机翼、垂尾测量点检测与打制系统设计](#)[学位论文]硕士 2008
153. [邱雪娜](#) [移动机器人的遍历路径规划](#)[学位论文]硕士 2004
154. [慕金伯](#) [船舱除锈喷漆机器人的设计研究](#)[学位论文]硕士 2009
155. [沈猛](#) [轮式移动机器人导航控制与路径规划研究](#)[学位论文]博士 2006
156. [张泽明](#) [人工免疫算法及其应用研究](#)[学位论文]博士 2007
157. [米文龙](#) [多机器人协调避碰与任务协作研究](#)[学位论文]硕士 2008
158. [王滨](#) [机器人臂/手抓取及操作规划的研究](#)[学位论文]博士 2007
159. [宫晨](#) [多传感器智能机器人设计](#)[学位论文]硕士 2008
160. [刘罡](#) [多节履带式搜索机器人及其运动策略研究](#)[学位论文]博士 2011
161. [左德参](#) [仿生微型飞行器若干关键问题的研究](#)[学位论文]博士 2007
162. [张培艳](#) [关节型机器人动态操作任务中运动规划的学习控制研究](#)[学位论文]博士 2005
163. [刘作军](#) [基于电路地图的移动机器人路径规划方法研究](#)[学位论文]博士 2005
164. [任春明](#) [移动机器人未知环境下导航方法研究](#)[学位论文]博士 2010

引用本文格式: [张颖](#), [吴成东](#), [原宝龙](#) [机器人路径规划方法综述](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2003(z1)