

移动机器人避障方法综述*

常健^{1,2} 吴成东^{1,3} 李斌¹

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 移动机器人是一种能够在工作环境中自由移动并完成预定任务的智能系统, 移动机器人的避障问题是移动机器人控制领域的研究热点。本文对移动机器人避障方法进行了分类, 包括传统算法和智能算法。概述了常用的传统算法的发展现状, 指出了传统算法的优点与不足并讨论了相应的改进算法。总结了智能算法在移动机器人避障技术的现状, 归纳了目前研究较多的智能算法。最后展望了机器人智能避障的发展趋势。

关键词: 移动机器人; 传统避障; 智能避障

Survey of Obstacle Avoidance of Mobile Robot

Chang Jian^{1,2} Wu Chengdong^{1,3} Li Bin¹

(1. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Information Science & Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Mobile robot is a kind of intelligent system that can move and work autonomously in the environment. The obstacle avoidance problem of mobile robot is one of the focuses in mobile robot control research areas. The classification of obstacle avoidance of mobile robot algorithms is referred in this paper, which are traditional algorithms and intelligent algorithms. The development of traditional algorithms are summarized in this paper. The paper points out the advantages and disadvantages of traditional algorithms. The statuses of intelligent algorithms are summarized in this paper and the intelligent algorithms which are researched now are also summed up in this paper. At last, the article looks forward to the trends of robot obstacle avoidance.

Key words: mobile robot; traditional methods of obstacle avoidance; intelligent methods of obstacle avoidance

1 引言

移动机器人是机器人分支之一, 随着机器人在工业领域的应用越来越广泛, 人们对机器人的智能化程度要求也越来越高, 与传统的机器人手臂不同, 自主移动机器人属于智能型机器人范畴, 是集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多种功能于一体的综合系统。近年来, 移动机器人技术在工业、农业、医学、航空航天等许多领域发挥了重要作用。

其中移动机器人的智能避障更是机器人研究领域的研究热点。移动机器人智能避障是移动机器人能够根据采集的障碍物的状态信息, 按照一定的方法进行有效地避障, 最后达到目标点。本文对移动机器人避障技术进行了分类, 概述了传统避障技术的方法和智能避障方法, 包括基本算法和针对基本算法的不足而进行改进的算法等。最后对移动机器人避障技术的发展现状进行了展望。

2 移动机器人避障技术的分类

目前移动机器人的避障根据环境信息的掌握程度可以分为障碍物信息已知和障碍物信息不完

*基金项目: 国家自然科学基金(60705029)、国家“863”课题(2007AA041502-5)、辽宁省博士启动基金和机器人学国家重点实验室开放课题资助(RLO200801)。

全或者完全未知两种。可视图法、栅格法、自由空间法等算法可以解决障碍物信息已知时的情况。但大多数的情况下, 机器人所处的环境是障碍物信息不完全或者完全未知, 上述方法就有其缺陷, 近年来发展的智能算法在某些方面能够弥补传统方法的不足, 下面按照传统和智能两种方法将机器人避障进行了划分并且分析算法的不足, 指出了各种方法的改进算法。

2.1 传统的避障方法

传统的方法主要集中于完成机器人无碰撞路径规划, 对动态环境中避障设计较少, 其较经典的方法有以下几种:

(1) 可视图法 (VGraph): 由 Nilsson 在 1968 年提出的, 其算法简单且能找到最短路径, 但是由于其缺乏灵活性, 在障碍物较多时, 搜索时间将会很长并且要求障碍物的形状不能接近圆形, 因此现在限制了其实际的应用。进而现在通常采用基于切线图法 (Tangent Graph) 和 Voronoi 法的改进可视图法。

切线图法用障碍物的切线表示弧, 此时移动机器人必须接近障碍物, 在有误差的时候可能与障碍物有接触, 但解决了障碍物不能是圆形的问题。Voronoi 图采用远离障碍物和墙壁的路径表示弧, 采用这种方法在避免机器人误碰到障碍物的同时也增加了从起始点到目标点的路径的长度。

杨淮清等^[1]提出的基于可视图法的移动机器人路径规划算法, 将轮廓复杂的障碍物近似的看成矩形或者是多个矩形的组合体, 以此来建立障碍物边界地图, 实现路径规划。

(2) 栅格法 (Grid): 由 W.E.Howden 在 1968 年提出的, 是目前研究较广泛的路径规划方法。其中栅格的大小影响着环境信息存储量的大小和时间的长短。栅格划分越大, 环境信息的存储量越小, 分辨率越低, 复杂环境下的避障效果越差, 时间越短; 栅格划分越小, 环境信息的存储量越大, 分辨率越高, 复杂环境下的避障效果越好, 时间越常。

王醒策等^[2]提出一种改进的栅格法, 系统根据地图中障碍物的疏密自主决定栅格粒度; 整个算法中只计算最近障碍物对机器人的排斥, 终点对机器人的吸引是由启发函数来完成的, 避免了局部最优的问题。

(3) 自由空间法: 自由空间法采用预先定义的如广义锥型和凸多边形等基本形状构型构造自由

空间, 并将自由空间表示为连通图, 通过搜索连通图来进行路径规划。

蔡自兴^[3]详细给出了自由空间的构造方法, 可以看出自由空间法比较灵活, 起始点和目标点的改变不会造成连通图的重构。缺点是算法的复杂度与障碍物的多少成正比, 且又是无法获取最短路径。自由空间法的分割需构造想象边界, 想象边界本身具有任意性, 于是导致路径的不确定性。

(4) 拓扑法: 主要是将高维几何空间中求解路径的问题转化为低维拓扑空间中判别连通性的问题。优点在于利用拓扑特征大大缩小了搜索空间。算法复杂性仅依赖于障碍物数目, 理论上是完备的。而且拓扑法通常不需要知道机器人的准确位置, 对于未知误差也就有了更好的鲁棒性; 缺点是建立拓扑网络的过程相当复杂, 特别是在增加障碍物时如何有效地修正已经存在的拓扑网是有待解决的问题。

李清泉等^[4]研究了道路网络层次拓扑结构, 提出了其涉及基于道路等级的路网分层抽象、道路数据分区组织、以区域为单元的路网层次拓扑关系模型; 接着提出了一种适用于 LBS(基于位置的服务) 的分层路径规划算法。

(5) 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有“吸引力”, 障碍物对移动机器人有“排斥力”, 最后通过合力来控制移动机器人的运动, 相应的缺点为: 忽略了障碍物的结构外形信息, 模型的建立容易产生误差并且陷入到局部最小值。

樊晓平等^[5]在改进人工势场法中增加一个指数项到引力场函数中, 从而消除了奇异值点, 避免了抖动现象, 然后将一敏感度参数引入斥力场函数, 以便灵活控制运动过程中机器人与障碍物距离的大小, 通过对敏感度的调节, 还可以克服传统势场法中目标点在斥力作用范围内时, 机器人无法到达目标点的缺陷。

在大多数的情况下, 由于机器人行走的环境是未知或者是部分已知的, 因此上述传统的机器人避障的方法在路径搜索效率及路径优化方面还存在不足。除此之外还有, A*图搜索算法, 枚举法, 随机搜索法等。其中 A*图搜索算法易陷入到局部最小值, 图搜索算法、枚举法不能用于高维的优化问题, 随机搜索法计算效率太低。

2.2 智能避障方法

在未知或者是部分未知的环境下通过传感器获取周围环境信息,包括障碍物的尺寸、形状和位置等信息,并使机器人自主获得一条无碰撞最优路径是现在研究移动机器人避障热点之一,其中智能方法的使用能够比较好的使机器人有效地避障,因此下面归纳了目前研究较多的智能路径避障方法:

(1) 基于神经网络算法的机器人避障方法:一个神经网络是一个由简单处理元构成的规模宏大的并行分布式处理器。天然具有存储经验知识和使之可用的特性。Glasius, R.^[6]采用 Hopfield 神经网络通过使用模拟神经元的方法来进行路径规划和避障,方法优点是:即使在障碍物的运动状态和形状变化时也能快速的在任意起点和终点之间提供一条路径使移动机器人通过。Chohra, A.^[7]通过使用神经网络进行避障的同时与混合智能系统(HIS)相连接,可以使移动机器人的认知决策避障的能力和与人相近。

Parhi, D. R.^[8]在得到移动机器人和障碍物之间距离和角度信息的以后,采用4层神经网络设计控制器,在解决移动机器人避障时间和避障效率上有较好的效果。Simon X, Yang 等^[9]采用生物激励神经网络的方法解决非静态环境下动态避障问题。

(2) 基于遗传算法的机器人避障算法:遗传算法由美国 Michigan 大学的 Holland JH 教授于20世纪60年代末创建,来源于进化论和遗传学理论,是模拟生物在自然环境下的遗传算法和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。

Hu, Yanrong^[10]采用特定问题的遗传算法来代替传统的遗传算法,特定算子有基于遗传算法的PK (proposed knowledge) 和 DK (domain knowledge) 组成,一些局部的搜索技巧也包含其中。论文证明了基于遗传算法的知识理解有能力在复杂同时动态的环境中找到一个最优的或者是接近最优的路径,采用遗传算法的路径规划是一种有效简单的算法。

AWADH B^[11]等在构造路径规划的模型时结合了遗传算法的思想。模型首先在路径可行性方法上引用了流程网络,其次用二元矩阵来描述网络的每一层。遗传算法的使用使得规划可以用一系列的二进制字符串来表示,每一个字符串都是由0或者1表示,0代表流程网络的两个节点之间没有连接,1

代表流程网络的两个节点之间有连接。通过计算机的训练,这种模型可以对不同的网络进行评价。

Garg DP 等^[12]通过遗传算法在多机器人布局的最优化轨迹决策方面进行了相关的论述。Srinivasan D^[13]通过遗传算法最大可能性的分析使得模糊设计参数可以达到最优化,使得交通网络的故障性检测准确率达到较高的水平。

(3) 基于模糊逻辑的机器人避障算法:对传感器获取的信息进行分类,分析机器人的行动路径,该方法存在着“对称无法确定”(symmetric indecision)的现象。“对称无法确定”是指当机器人面临的当前环境左右对称时,无法确定其行进方向或在两个障碍物之间震荡的现象,这种现象使得机器人陷入死锁。G. Steven 对此问题的解决方法是:产生一个随机方向,使机器人走出死区,但这样有时会撞上障碍物或震荡。Li Wei 采用了“向右转”的原则。这样虽然解决了死锁问题,但路径规划时不一定是最优的。Oriolo G^[14]等为了提高机器人路径规划的实时性,在机器人导航时采用 A* 算法,而当构建和更新地图时采用模糊逻辑方法,实验结果表明在动态和静态环境中,机器人实时性满足要求。Perez-D'Arpino^[15]等也采用模糊逻辑的思想提高机器人路径规划的实时性,试验结果较好。

(4) 基于混合算法的机器人避障算法:L. H. Tsoukalas 等提出了用于半自主移动机器人路径规划的模糊神经网络方法。所谓的半自主移动机器人就是具有在人类视角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,从而可以在未知环境下规划机器人路径。

钟竞辉^[16]提出基于模糊逻辑和遗传算法相结合的机器人动态路径规划,提出了一种带启发式信息的遗传算法用于机器人全局路径规划,同时采用模糊控制原理,实现对环境信息的部分未知的动态路径规划。

除此之外还有启发式搜索算法、基于滚动窗口的算法、基于行为的路径规划算法、基于再激励学习的路径规划算法等智能算法。

上诉所提到的智能方法在机器人路径规划技术中已收到广泛的重视及研究,在障碍物环境已知或未知情况下,均取得了一定的研究成果。

3 移动机器人避障技术展望

随着计算机技术、传感技术、控制技术的发展和移动机器人的避障及其路径规划技术已经取得了丰硕的研究成果,其应用领域不断地扩大,应用复杂程度也越来越高,因此对其相关技术提出了更高的要求,相应的方法也更加成熟。然而至今没有任何一种方法能够在任意环境使机器人进行有效地避障。因此如何克服相关算法的局限性是以后工作的研究重点。

避障技术的发展包括以下的几个方面:

(1) 通过传统算法能够与智能算法相融合,使得传统算法能够适应于障碍物信息未或者部分未知的情况,如:人工势场法与神经网络的结合,栅格法与遗传算法的结合等。

(2) 当环境中同时存在静态障碍物、动态障碍物等复杂环境时,如何有效地控制移动机器人是一个研究方向。

(3) 基于可重构机器人行为的路径规划方法将机器人运动分为以下有目的的行为:向目标移动行为、避障行为、机器人重构适应环境行为,矫正错误行为等,如何设计各个行为并给出一种明确协调行为的方法是以后发展的方向之一。

(4) 多机器人协调作业的技术正在成为新的研究热点,由于障碍物增加与环境信息的多样性,提高了移动机器人的避障难度,多机器人能否协作避障是以后发展方向之一。

参考文献

[1] 杨淮清,肖兴贵,姚栋.一种基于可视图法的机器人全局路径规划[J].沈阳工业大学学报,2009,31(2):225-230.

[2] 王醒策,张汝波,顾国昌.基于势场栅格法的机器人全局路径规划[J].哈尔滨工程大学学报,2003,24(2):170-174.

[3] 蔡自兴,周翔,李枚毅,雷鸣.基于功能行为集成的自主移动机器人进化控制体系结构[J].机器人,2000,22(3).

[4] 李清泉,郑年波,徐敬海等.一种基于道路网络层次拓扑结构的分层路径规划算法[J].中国图像图形学报,2007,12(7):1280-1285.

[5] 樊晓平,李双艳,陈特放.基于新人工势场函数的机器人动态避障规划[J].控制理论与应用,2005,22(5):703-707.

[6] Glasius, R., Komoda, A., Gielen, S.C.A.M. Neural

network dynamics for patch planning and obstacle avoidance[J], Neural Networks, 1995, 8(1), 125-133.

- [7] Chohra, A., Farah, A., Belloucif, M.. Neuro-fuzzy expert system E_S_CO_V for the obstacle avoidance behavior of intelligent autonomous vehicles [J], Advanced Robotics, 1999, 12(6): 629-649.
- [8] Parhi, D.R., Singh, M.K.. Real-time navigational control of mobile robots using an artificial neural network [J], Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2009, 223(7):1713-1725.
- [9] Simon X. Yang, Max Meng. Neural Network Approaches to Dynamic Collision-Free Trajectory Generation [C], IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part B: Cybernetics, 2001, 31(3), 302-318.
- [10] Hu, Yanrong, Yang, Simon X.. A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot [C], Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, 2004(5): 4350-4355.
- [11] Awadh B, Sepehri N, HAWALESHKA O. A Computer-aided process planning-model based on genetic algorithms [J], COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH, 1995, 22(8): 841-856.
- [12] Garg DP, Kumar M, Optimization techniques applied to multiple manipulators for path planning and torque minimization [J], ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2002, 15(3-4): 241-252.
- [13] Srinivasan D, Cheu RL, Poh YP, Ng AKC. Development of an intelligent technique for traffic network incident detection [J], ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2000,13(3):311-322.
- [14] Oriolo G, Ulivi G, Vendittelli M. Real-time map building and navigation for autonomous robots in unknown environments [J], IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part B: B- Cybernetics, 1998, 28(3): 316-333.
- [15] Perez-D'Arpino C, Medina-Melendez W, Guzman J, Fermin L, Fernandez-Lopez G. Fuzzy Logic Based Speed Planning for Autonomous Navigation under Velocity Field Control [C], 2009 IEEE International Conference on Mechatronic, 2009, 1(2): 225-230.
- [16] 钟竞辉. 基于模糊逻辑-遗传算法的机器人动态路径规划, 中山大学硕士学位论文, 2007.