

增强 D* Lite 在自主移动机器人安全路径规划中应用

张浩, 孙新柱

(安徽工程大学 安徽省电气传动与控制重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 为了提高未知环境中自主机器人行走的安全性和路径规划最优性, 提出了增强 D* Lite 算法, 该算法以栅格法环境建模为基础, 引入障碍物尖角和结合点检测, 并针对复杂障碍物的可优化路径给出路径优化方法。仿真实验结果表明, 该方法可以实现移动机器人安全路径的规划和优化。

关键词: 自主移动机器人; 栅格建模; 安全路径; 路径优化

中图分类号: T249

文献标识码: A

Enhanced D* Lite for safe path planning of autonomous mobile robot

ZHANG Hao, SUN Xin-zhu

(Anhui Key Laboratory of Electric Drive and Control, Anhui Polytechnic University, Anhui Wuhu 241000, China)

Abstract: An enhanced D* Lite algorithm for safe path planning of autonomous mobile robot is proposed. Based on the grid modeling method, this algorithm use the detection of obstacles' sharp corners and connections to plan paths satisfied the robot's safe requirements and presents a method to optimize the complex obstacle's unnecessary paths. The simulation results show the method can achieve safe paths planning and path optimization.

Key words: autonomous mobile robot; grid modeling; safe path; path optimization

随着科学技术的发展, 移动机器人在工业生产中得到了广泛应用, 而且机器人能在危险环境中工作, 如处理核废料、探索外星球和考察深海资源等。路径规划可以使移动机器人在未知环境中通过传感器采集环境信息, 在有障碍物情况下向目标自主运动。在未知复杂环境中机器人行走的安全性和规划路径的最优性是目前移动机器人研究的重点方向^[1]。机器人路径规划主要包括环境建模和最优路径搜索。环境建模主要有栅格法、几何特征法和拓扑法等^[2]。几何特征法和拓扑法对传感器系统要求高, 应用范围受到一定限制。栅格法建模复杂度低, 但栅格地图存在对大环境区域建模时数据量大问题, 需要对大量栅格更新计算进行优化^[3]。常用路径规划算法如 A*, 采用启发式搜索, 应用于全局环境已知的路径规划问题。为解决未知环境下动态路径规划问题, 卡梅隆 (Carnegie Mellon) 大学提出的 D* 算法成功应用于美国国防部先进研究项目局地面无人车辆项

目, 是美国火星探测器核心路径规划算法。随后 Sven Koenig 在 A* 基础上提出 LPA*^[4] 算法, LPA* 在 A* 中加入增量式搜索, 通过对路径规划数据的复用提高路径规划效率^[5]。为降低路径规划算法复杂度 Sven Koenig 模拟 D* 算法思想提出 D* Lite^[6] 算法, 它的规划效果和 D* 相当, 复杂度低和具有不低于 D* 算法的搜索效率。随后提出的动态路径规划算法如 Focused D*, GAA*^[7], Anytime D*^[8], Field D*^[9] 均扩展于 A*、D* 和 LPA* 算法。由于 D* Lite 算法稳定性高, 实时性强和扩展能力强, 被越来越多的学者研究。本文结合栅格法建模简单和易于更新计算优点, 采用 D* Lite 算法完成路径规划。同时, 为了提高自主机器人的行走安全性和路径规划最优性, 给出增强 D* Lite 算法, 并通过仿真验证了该算法的有效性。

1 D* Lite 算法

栅格法建模将机器人环境分解成具有信息的网格单元, 若某一栅格内不存在障碍物称为自由

栅格,反之称为障碍栅格。栅格法将移动机器人抽象为位于栅格中心的一点,将障碍物扩展得到障碍边界栅格^[10]。

D* Lite 算法从目标栅格向出发栅格搜索,算法定义两个重要参数: $g(i,j)$ 值和 $rhs(i,j)$ 值。 $g(i,j)$ 是栅格 (i,j) 到目标栅格最小路径代价值。 $rhs(i,j)$ 是 Right Hand Side 值,由所有后向栅格值计算得来,具有前瞻性。 $g(i,j)$ 和 $rhs(i,j)$ 计算公式如下:

$$rhs(i,j) = \min[succ(g(i,j))] + 1 \quad (1)$$

$$g(i,j) = rhs(i,j) \quad (2)$$

$k1$ 和 $k2$ 是优先队列排序参数,机器人分析栅格时计算栅格 $k1$ 和 $k2$,具有最小 $k1$ 值栅格选中为下一栅格。计算公式如下:

$$k1(i,j) = \min(g(i,j), rhs(i,j) + h(i,j)) \quad (3)$$

$$k2(i,j) = \min(g(i,j), rhs(i,j)) \quad (4)$$

机器人周围栅格集合 $S = [a, b, c, d, e, f, g, h]$,根据公式(1)(2)计算集合 S 的8个栅格 g 值和 rhs 值,根据公式(3)(4)计算 $k1$ 和 $k2$ 。 $k1$ 等于 $k2$ 时机器人到达出发点,停止搜索。

D* Lite 规划的路径存在机器人穿过障碍物尖角和结合点的安全问题以及在复杂障碍环境中D* Lite 算法目标栅格向出发栅格搜索时存在可优化的不必要路径。针对现有D* Lite 规划的路径存在机器人行走安全和可优化的不必要路径,本文在D* Lite 算法基础上提出增强D* Lite 算法。

2 增强 D* Lite 算法

增强D* Lite 算法和D* Lite 算法基本原理相同,本文对D* Lite 做四种扩展:(1)检测穿过障碍物尖角;(2)检测穿过障碍物结合点;(3)必要时标记虚拟障碍栅格;(4)检测和优化不必要路径。

复杂障碍如图1所示,搜索阶段机器人从目标栅格向出发栅格搜索最短路径。环境未知情况下机器人认为全部栅格为自由栅格,目标栅格向上移动是前往出发栅格最短路径,最终机器人检测到障碍物如图1(a)所示。机器人搜索周围可通行栅格,可通行栅格为机器人右侧栅格如图1(b)。随后可通行栅格为机器人下部栅格如图1(c)所示,最终如图1(f)所示为从障碍中走出的路线。

通过检查周围栅格是否包含机器人已行走的栅格完成路径优化,结果如图1(e)所示虚线路径替换为实线路径,同时将对应栅格标记为虚拟障

碍栅格,优化后路线如图1(f)所示。前往下一栅格为斜角栅格且两边之一存在障碍栅格时,安全行走路径如图2所示。搜索过程中检测到障碍栅格结合点时,路径改为如图3所示。

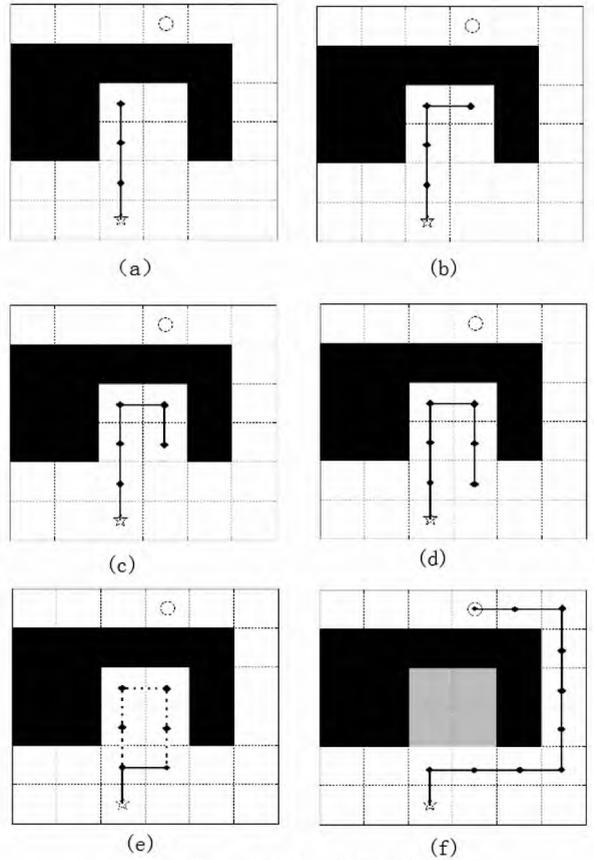


图1 复杂障碍物导航路线

Fig.1 The navigation paths of complex obstacles

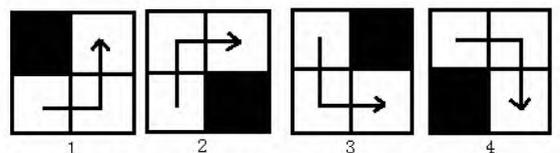


图2 穿过障碍物尖角时更改为安全移动路径
Fig.2 Safe path for robot to move across obstacle's sharp corners

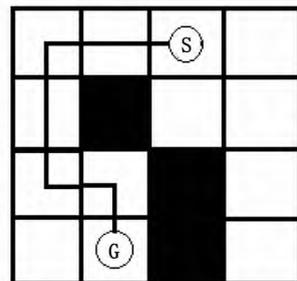


图3 存在障碍物结合点的安全移动路径
Fig.3 Safe path for robot to move across obstacles' connections

增强D* Lite 算法判断周围栅格是否已标记

为虚拟障碍栅格和前往斜角栅格是否需要穿过障碍结合点,任一条件为是则判断下一节点。如果条件均否,更新栅格 rhs 、 $k1$ 和 $k2$ 。8 个栅格更新后选择最小 $k1$ 栅格为下一栅格。前往下一栅格前检查是否包含可优化的不必要路径。以上是本文增强 D* Lite 路径规划策略。增强 D* Lite 算法目标栅格到出发栅格反向搜索完整流程如图 4 所示。

3 仿真实验结果

对提出的增强 D* Lite 算法在 Matlab2013 中

进行仿真,仿真界面如图 5 所示。一个方格单元表示一个栅格,出发栅格五角星表示,目标栅格位于图上方用空心圆表示。出发栅格、目标栅格和障碍物栅格输入坐标确定。

图 6 是机器人采用 D* Lite 算法和增强 D* Lite 算法从目标栅格向出发栅格的搜索路径。比较可知增强 D* Lite 算法改进了可能造成机器人损坏的路径。最优路径搜索时机器人优化了图 6 (b)所示虚线部分路径,比较图 6(b)中黑色实线和对应的虚线路径可知,优化后的路径距离更短同时减少自主移动机器人的转向次数。

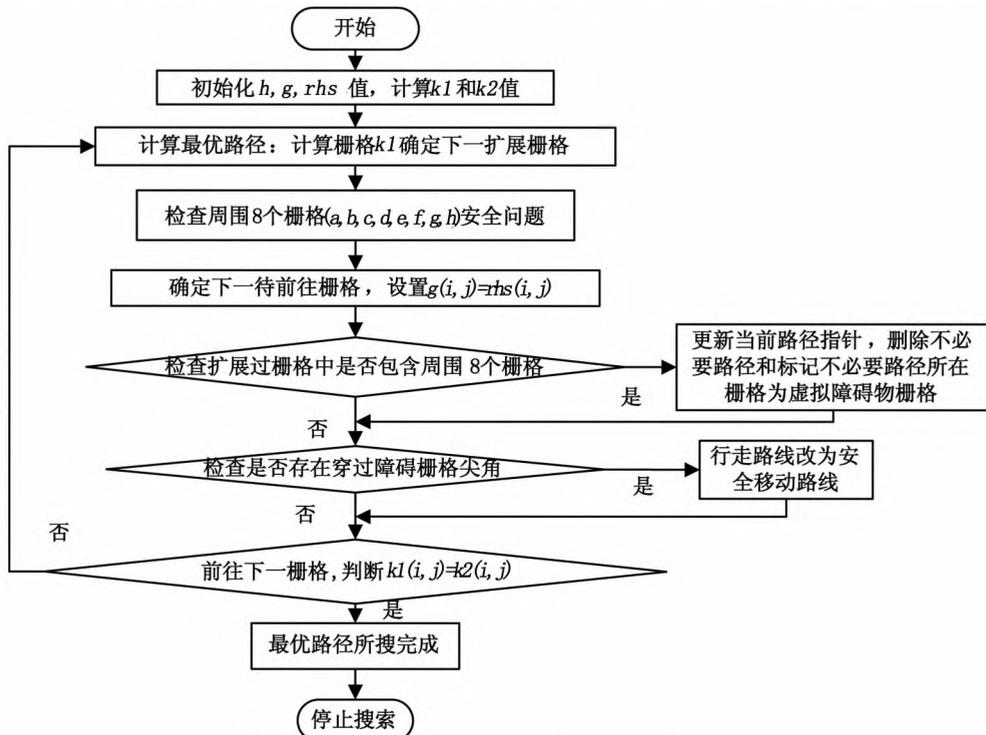


图4 目标栅格到出发栅格反向搜索完整流程图

Fig.4 The whole flow chart of reverse searching from goal grid to start grid

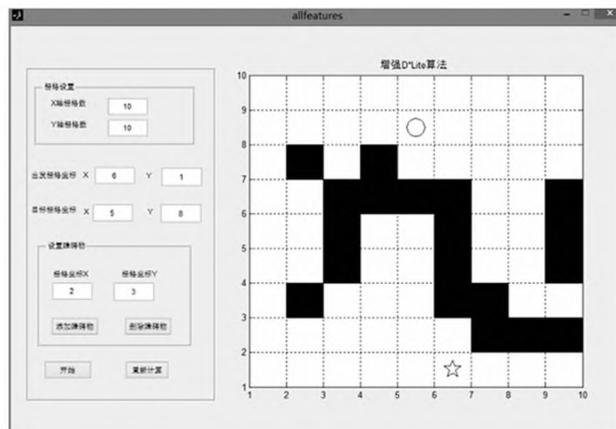


图5 路径规划仿真界面

Fig.5 Path planning simulation interface

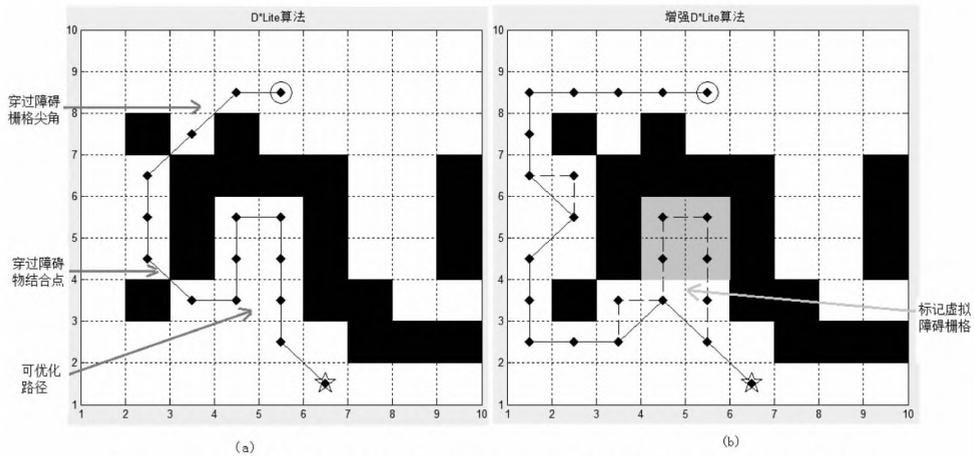


图6 D* Lite(a)和增强D* Lite(b)目标栅格到出发栅格搜索路径比较

Fig.6 Path planning results' comparison of D* Lite and enhanced D* Lite

4 结语

增强 D* Lite 算法增加对机器人行走路径存在的穿过障碍尖角和结合点安全问题的检测并进行路径安全改善,标记虚拟障碍提高动态路径规划效率和对不必要路线进行检测和优化,缩短机器人行走路线,增强机器人在未知环境中的安全行走能力。

参考文献:

- [1] 朱大奇, 颜明重. 移动机器人路径规划技术综述[J]. 控制与决策, 2010, 7(25): 911 - 917.
- [2] 席裕庚, 张纯刚. 一类动态不确定环境下机器人的滚动路径规划[J]. 自动化学报, 2002, 2(28): 111 - 175.
- [3] DELLING D, SANDERS P, SCHULTES D, et al. Engineering route planning algorithms [M]. Berlin Heidelberg Germany: Springer, 2009.
- [4] KOENIG S, LIKHACHEV M, FURCY D. Lifelong planning A* [J]. Artificial Intelligence, 2004, 155(1 - 2): 93 - 141.
- [5] KOENIG S, LIKHACHEV M, LIU Y, et al. Incremental heuristic search in AI [J]. AI Magazine, 2004, 25(2): 99 - 112.
- [6] KOENIG S, LIKHACHEV M. Fast Replanning for Navigation in unknown terrain [J]. Transactions on Robotics, 2005, 21(3): 313 - 354.
- [7] SUN X, KOENIG S, YEOH W. Generalized Adaptive A* [C]// In Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Estoril Portugal: AAAI, 2008: 419 - 471.
- [8] LIKHACHEV M, FERGUSON D. Anytime dynamic A* : An anytime, replanning algorithm [C]// Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling, Monterey, California, USA: AAAI, 2005: 262 - 271.
- [9] DAVE F, STENTZ A. Field D* : An interpolation - based path planner and replanner [M]. Berlin Heidelberg Germany: Springer, 2007.
- [10] 王殿君. 基于改进 A* 算法的室内移动机器人路径规划[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2012, 8(52): 1085 - 1089.

(责任编辑 王利君)

增强D*Lite在自主移动机器人安全路径规划中应用

作者: [张浩](#), [孙新柱](#), [ZHANG Hao](#), [SUN Xin-zhu](#)
作者单位: [安徽工程大学安徽省电气传动与控制重点实验室, 安徽芜湖, 241000](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) [ISTIC](#)
英文刊名: [Journal of Hebei University of Engineering\(Natural Science Edition\)](#)
年, 卷(期): 2014, 31(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201402023.aspx