

采用分区场能切换法的路径规划

黄德颖¹, 郭戈^{*2}, 王丽媛¹, 李志慧¹

(1. 大连理工大学 控制科学与工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 为解决改进人工势场法应用中出现的路径规划失败问题,提出了分区场能切换法,其包括地图标定和算法设计.先对地图中的障碍物按不同的形状进行分类标定,然后设定最小单元,设立绝对防御区和缓冲区.在不同的区域基于改进人工势场法重新设计算法,使机器人在绝对防御区只受斥力,在缓冲区受到斥力和引力,在缓冲区外只受引力,从而保证机器人往目标运动的过程中能快速靠近并成功避开障碍物.通过 Matlab 仿真实验,在标定好的地图中分别采用改进人工势场法和分区场能切换法,证明了所提方法的可靠性.

关键词: 路径规划;改进人工势场法;地图标定;绝对防御区;分区场能切换法

中图分类号: TP242

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201601006

0 引言

在移动机器人研究领域,路径规划是一个重要的分支^[1].其要求机器人在障碍物复杂环境中,根据预先设定的指令从起点到目标运动,并通过一定的算法在运动过程中以最优或者次优的路径避开所有障碍物^[2-3].常用的算法有模拟退火算法、模糊逻辑算法、禁忌搜索算法和人工势场法^[4].人工势场法是一种虚拟力法,它假设物体之间存在引力和斥力,机器人和目标之间有引力相互吸引,机器人和障碍物之间有斥力相互排斥,通过建立引力场斥力场函数进行路径寻优.如果各项参数选择恰当,规划的路径就具有平滑、安全和简洁的优点^[5].传统人工势场法未能解决目标不可达的问题,改进人工势场法在斥力函数上添加调节因子,但依然存在局部极小值或路径穿越障碍物等路径规划失败的问题,恰当地选择算法参数是算法能否成功应用的关键^[6].

针对改进人工势场法路径规划失败问题,一部分研究者将改进人工势场法结合遗传算法^[6-8]、

模糊算法^[9]、稀疏搜索算法^[10]等规划出正确的路径,但此类算法由于计算量大且复杂耗时,作为后续的路径优化尚可.另一部分研究者通过调整算法策略,即在不改变参数的前提下,基于人工势场法采用相对简单的策略来解决^[11-14]:文献[11]基于人工势场法提出了 BPF 算法策略对静态和动态的障碍物进行躲避从而规划路径;文献[12]基于人工势场法建立了势场密度,提出名为 quasi-geodesic method 的路径规划策略实现避障,此策略适用于二维和三维的静态或动态环境;文献[13]将速度变量引入到场能函数中,通过填平势场解决了机器人局部极小值的问题;文献[14]在人工势场法的基础上引入入侵杂草算法,在全局内有指导性地产生最优子目的地,引导机器人摆脱“陷阱”.上述方法虽然方便可行,但均未考虑地图中障碍物的描述,将障碍物简单视为一个圆或质点显然不合理.

本文针对改进人工势场法应用中存在的路径规划失败问题,提出分区场能切换法.先对地图中

收稿日期: 2015-06-26; 修回日期: 2015-09-13.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61273107);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132013334);辽宁省大连市领军人才培养资助项目(61174060).

作者简介: 黄德颖(1991-),女,硕士生,E-mail:hdying@mail.dlut.edu.cn;郭戈*(1972-),男,博士,教授,E-mail:gegou@yeah.net.

障碍物进行恰当的描述和标定,然后基于人工势场法在不同的标定区域采用不同的引力斥力组合控制策略,简单快速地规划出正确的路径。

1 改进人工势场法介绍和问题描述

人工势场法是由 Khatib 于 1986 年提出的一种虚拟力法,在机器人活动的空间人为地定义一个抽象势场.机器人的运动过程视为一种在虚拟人工受力场的运动,它将目标、障碍物、机器人分别简化为质点,如图 1 所示.机器人在复杂环境中的任意位置,目标与机器人之间存在引力 F_a ;当障碍物与机器人相距一定距离时,障碍物与机器人存在斥力 F_r .机器人当前的运动方向由引力和斥力的合力 F 的方向决定。

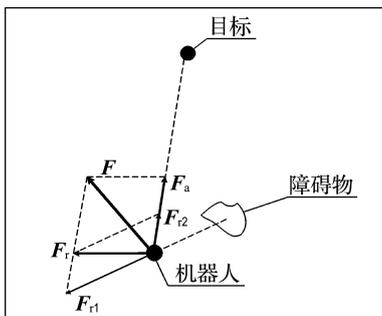


图 1 机器人的受力分析示意图

Fig. 1 The force analysis diagram of robot

改进人工势场法针对传统人工势场法的路径规划目标不可达问题对算法进行了改进.如图 1 所示,引力 F_a 的方向由机器人指向目标,该力随机器人趋近目标而逐渐趋近 0,大小如下:

$$\|F_a\| = k \|L_r - L_g\| \quad (1)$$

式中: k 为引力位置增益系数, L_r 和 L_g 分别为机器人和目标的坐标, $\|L_r - L_g\|$ 为机器人到目标的距离。

改进后的斥力为

$$F_r = \begin{cases} F_{r1} + F_{r2}; & \|L_r - L_o\| \leq l \\ 0; & \|L_r - L_o\| > l \end{cases} \quad (2)$$

式中: L_o 为障碍物的坐标, $\|L_r - L_o\|$ 为机器人到障碍物的距离, l 为斥力作用区域参数.当机器人和障碍物的距离大于斥力作用区域参数时,即

$\|L_r - L_o\| > l$, 斥力为 0 ; 当 $\|L_r - L_o\| \leq l$, 如图 1 所示,斥力 F_r 由斥力分量 F_{r1} 和引力分量 F_{r2} 组成,斥力分量的方向由障碍物指向机器人,引力分量的方向由机器人指向目标. F_{r1} 和 F_{r2} 分别为

$$F_{r1} = m \left(\frac{1}{\|L_r - L_o\|} - \frac{1}{l} \right) \cdot \frac{\|L_r - L_o\|^n}{\|L_r - L_o\|^2} \cdot \frac{\partial(L_r - L_o)}{\partial L_r} \quad (3)$$

$$F_{r2} = \frac{n}{2} m \left(\frac{1}{\|L_r - L_o\|} - \frac{1}{l} \right)^2 \cdot \frac{\partial(L_r - L_o)^n}{\partial L_r} \quad (4)$$

其中 m 为斥力位置增益系数, n 为正常数。

改进人工势场法中引入的调节因子 $\|L_r - L_g\|^n$, 使当机器人在靠近目标时,引力分量、斥力分量也随之减小,从而斥力减小.直到机器人到达目标,引力减为 0,斥力也为 0,从而解决了传统人工势场法在障碍物和目标过于接近时,斥力增大引力减小而出现目标不可达的问题^[15]。

改进人工势场法虽然解决了目标不可达问题,但在应用过程中依然会出现路径规划失败.通过结合智能算法寻找最佳参数来解决,算法较复杂,计算量大;通过调整算法控制策略而非改变参数则方便可行,但通常采用的以一个圆来代替障碍物(即将障碍物压缩为一个质点,再将其包裹在一个圆内,圆的大小能包围整个障碍物并且根据机器人的尺寸留出一定的空间,该圆的半径等于斥力的作用范围)的描述方法对于类似菱形、正方形或三角形的障碍物尚可,但对于长条形障碍物,仅用一个圆进行描述显然不合理.因此在路径规划前应对地图上的障碍物进行恰当的描述和标定。

2 分区场能切换法

2.1 地图标定

复杂环境中,障碍物的形状往往是不规则的,因此不同的障碍物应采取不同的方式进行标定。

对普通障碍物的标定如图 2 所示.将普通障碍物记为 $O_{ij}(x_j, y_j, \tau_j, \gamma_j, l_j)$. 其中 x_j 和 y_j 为障碍物 i 的中心坐标,记为 $L_o(x_j, y_j)$; τ_j 为障碍物 i 的标定界半径,表明障碍物的大小; γ_j 为绝对防御区半径; l_j 为障碍物的缓冲区半径.这些区域的

半径应满足 $1.5\tau_j < \gamma_j - \tau_j < 2\tau_j, 2\tau_j < l_j - \gamma_j < 3\tau_j$.

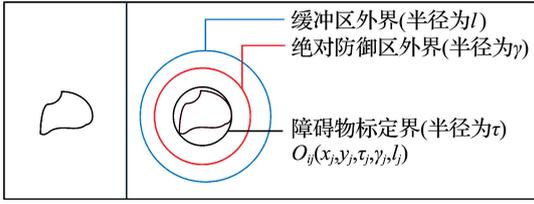


图 2 普通障碍物的标定

Fig. 2 The definition of normal obstacle

传统人工势场法和改进人工势场法,从算法来看只采用标定界和缓冲区外界对障碍物进行描述,如图 3 所示,缓冲区外界半径即为障碍物斥力有效范围.

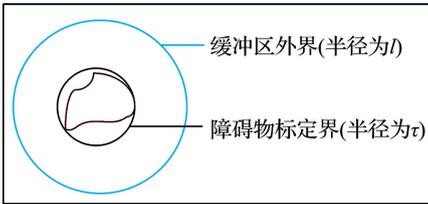


图 3 采用传统和改进人工势场法的标定

Fig. 3 The definition based on the traditional and improved APF methods

对于不规则的障碍物,通过多个最小标定单元组合并以最大的近似度来进行标定.例如,长条形障碍物可视为多个普通障碍物(最小标定单元)的线性密集排列,依据障碍物的大小来设定这组障碍物的缓冲区和绝对防御区半径.如图 4 所示,放置多个普通障碍物之间的距离应保证其绝对防御区外界相交.

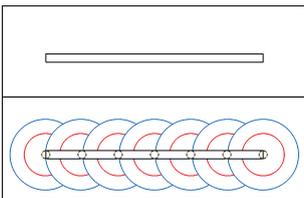


图 4 长条形障碍物的标定

Fig. 4 The definition of strip shape obstacle

物外部时,将 U 形障碍物用圆进行标定,如图 5 所示.当目标在 U 形障碍物内部时,可将 U 形障碍物用 3 个长条形障碍物进行标定.

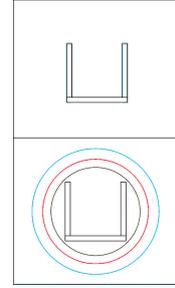


图 5 U 形障碍物的标定

Fig. 5 The definition of U shape obstacle

2.2 算法设计

分区场能切换法,结合地图标定,基于改进人工势场法在不同的区域调整算法控制策略,具体如下:

引力为

$$\|F_a\| = \begin{cases} 0; & \|L_r - L_o\| \leq \gamma \\ k \|L_r - L_g\|; & \|L_r - L_o\| > \gamma \end{cases} \quad (5)$$

斥力为

$$F_r = \begin{cases} F'_{r1}; & \|L_r - L_o\| \leq \gamma \\ F_{r1} + F_{r2}; & \gamma < \|L_r - L_o\| \leq l \\ 0; & \|L_r - L_o\| > l \end{cases} \quad (6)$$

其中 F'_{r1} 大小等于斥力分量 F_{r1} 的大小,方向和斥力分量垂直,即 $\|F'_{r1}\| = \|F_{r1}\|, F'_{r1} \cdot F_{r1} = 0, F_{r1}$ 和 F_{r2} 的大小如式(3)、(4)所示.

分区场能切换法设立了 3 个区域:

(1)在绝对防御区内,即 $\|L_r - L_o\| \leq \gamma$,引力大小为 0,仅受斥力 F'_{r1} 作用.

(2)在绝对防御区与缓冲区之间的区域,即 $\gamma < \|L_r - L_o\| \leq l$,引力大小为 $k \|L_r - L_g\|$,斥力等于斥力分量和引力分量之和,即 $F_r = F_{r1} + F_{r2}$.

(3)在缓冲区外,即 $\|L_r - L_o\| > l$,斥力为 0,仅受引力 F_a 作用.

分区场能切换法是基于改进人工势场法在不同区域对引力和斥力做出的合理控制和调整,算法中使用的参数 k, m, n, l 与改进人工势场法参数含义相同.

同样,对于 U 形障碍物,当目标在 U 形障碍

3 仿真和结果分析

为了验证算法的可靠性,在相同的地图中,分别采用改进人工势场法和分区场能切换法进行路径规划.

如图6所示,有4个障碍物:一个U形障碍物,一个长条形障碍物,两个长宽比较接近的普通障碍物.

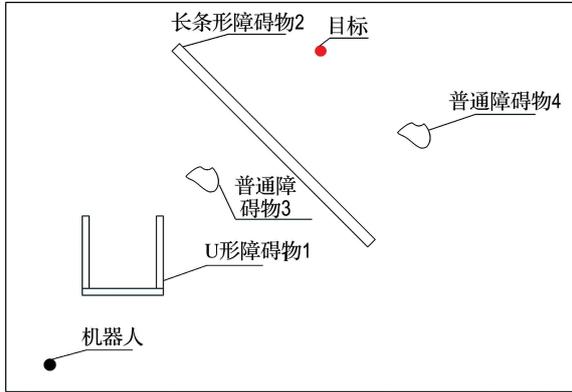


图6 复杂环境下的地图

Fig. 6 The map in the complicated environment

采用改进人工势场法的参数为 $k=0.50, m=1.75, n=0.50$,障碍物斥力有效范围分别为 $l_1=2.50, l_{2j}=0.65 (j=1, 2, \dots, 7), l_3=0.65, l_4=0.70$,相应的地图标定如图7所示.

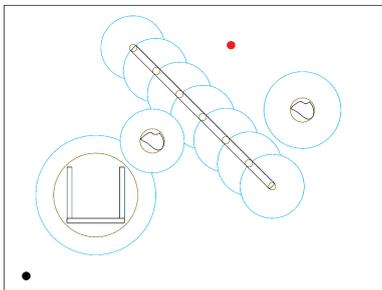


图7 采用改进人工势场法对复杂环境进行的地图标定

Fig. 7 The map definition in the complicated environment based on the improved APF method

仅用质点和圆标定(只有缓冲区)的改进人工势场法路径规划仿真结果如图8所示.

从图8中可以看出,在该参数下路径规划失

败,规划出的路径并没有绕过长条形的障碍物,而是从中穿越到达了目标.在相同的参数下,采用分区场能切换法的地图标定如图9所示.障碍物的缓冲区和绝对防御区的半径分别为 $l_1=2.50, \gamma_1=1.0; l_{2j}=0.65, \gamma_{2j}=0.4 (j=1, 2, \dots, 7); l_3=0.65, \gamma_3=0.4; l_4=0.70, \gamma_4=0.4$.

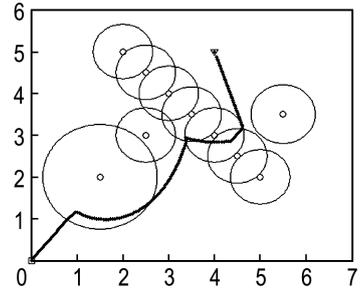


图8 改进人工势场法下的路径规划

Fig. 8 The path planning using the improved APF method

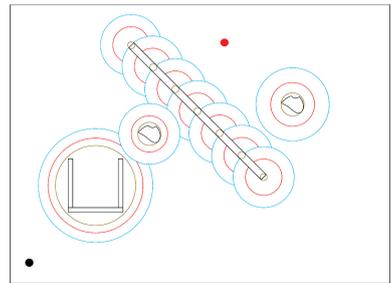


图9 采用分区场能切换法对复杂环境进行的地图标定

Fig. 9 The map definition in the complicated environment based on the RPFMSM

具有障碍物缓冲区和绝对防御区的分区场能切换法路径规划的结果如图10所示.

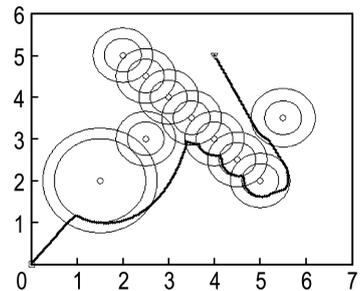


图10 分区场能切换法下的路径规划

Fig. 10 The path planning using the RPFMSM

从仿真结果可以看出,采用分区场能切换法

成功地躲避了障碍物,实现了正确的路径规划.在改进人工势场法下,目标对机器人的引力在机器人到达目标前一直存在,这样便导致了在参数设定好后,在某些障碍物和复杂环境中,当机器人和障碍物的距离比较小时会出现斥力和引力的合力最终指向障碍物的情况,当机器人继续向障碍物靠近,最后无法绕过并穿越障碍物时,造成路径规划失败,如图8所示.分区场能切换法在绝对防御区只受斥力,因此可以保证机器人一旦进入该范围内,受到的合力方向始终为障碍物指向机器人,使机器人往远离障碍物的方向运动,从而规划出一条正确的路径.

4 结 语

改进人工势场法虽然能有效解决传统人工势场法目标不可达的问题,但在复杂环境中躲避某些形状的障碍物时,即使根据算法对地图中障碍物进行了恰当的标定和描述,依然会出现路径规划失败.本文基于改进人工势场法提出了分区场能切换法,在绝对防御区内机器人只受斥力,使机器人与障碍物在相距较近时能顺利绕过障碍物,快速且合理地实现了路径规划.仿真实验证明了算法的可靠性.分区场能切换法是基于改进人工势场法的,因此依然受算法参数影响,后续将结合参数最优问题进行研究.

参 考 文 献:

- [1] 欧青力,何克忠. 室外智能移动机器人的发展及其关键技术研究[J]. 机器人, 2000, **22**(6):519-526.
OU Qing-li, HE Ke-zhong. Research on key techniques and development of outdoor intelligent autonomous mobile robot [J]. **Robot**, 2000, **22**(6): 519-526. (in Chinese)
- [2] 张建英,赵志萍,刘 瞰. 基于人工势场法的机器人路径规划[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, **38**(8): 1306-1309.
ZHANG Jian-ying, ZHAO Zhi-ping, LIU Dun. A path planning method for mobile robot based on artificial potential field [J]. **Journal of Harbin Institute of Technology**, 2006, **38**(8): 1306-1309. (in Chinese)
- [3] 欧阳鑫玉,杨曙光. 基于势场栅格法的移动机器人避障路径规划[J]. 控制工程, 2014, **21**(1):134-137.
OUYANG Xin-yu, YANG Shu-guang. Obstacle avoidance path planning of mobile robots based on potential grid method [J]. **Control Engineering of China**, 2014, **21**(1):134-137. (in Chinese)
- [4] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots [J]. **International Journal of Robotics Research**, 1986, **5**(1):90-98.
- [5] Deligiannis N, Louvros S. Hybrid TOA-AOA location positioning techniques in GSM networks [J]. **Wireless Personal Communications**, 2010, **54**(2):321-348.
- [6] Sciavicco L, Siciliano B. A solution algorithm to the inverse kinematic problem for redundant manipulators [J]. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, 1988, **4**(4):403-410.
- [7] 张波涛,刘士荣. 基于 Q-GA 的人工势场的移动机器人路径规划[J]. 控制工程, 2008, **15**(4):451-455.
ZHANG Bo-tao, LIU Shi-rong. Artificial potential field with Q-GA base route plan of mobile robot [J]. **Control Engineering of China**, 2008, **15**(4): 451-455. (in Chinese)
- [8] Gerke M. Genetic path planning for mobile robots [C] // **Proceedings of the American Control Conference**. Piscataway:IEEE, 1999:2424-2429.
- [9] 朱 毅,张 涛,宋靖雁. 非完整移动机器人的人工势场法路径规划[J]. 控制理论与应用, 2010, **27**(2):152-158.
ZHU Yi, ZHANG Tao, SONG Jing-yan. Path planning for nonholonomic mobile robots using artificial potential field method [J]. **Control Theory & Applications**, 2010, **27**(2): 152-158. (in Chinese)
- [10] 姚 远,周兴社,张凯龙,等. 基于稀疏 A* 搜索和改进人工势场的无人机动态航迹规划[J]. 控制理论与应用, 2010, **27**(7):953-959.
YAO Yuan, ZHOU Xing-she, ZHANG Kai-long, et al. Dynamic trajectory planning for unmanned aerial vehicle based on sparse A* search and

- improved artificial potential field [J]. **Control Theory & Applications**, 2010, **27**(7):953-959. (in Chinese)
- [11] Montiel O, Orozco-Rosas U, Sepúlveda R. Path planning for mobile robots using bacterial potential field for avoiding static and dynamic obstacles [J]. **Expert Systems with Applications**, 2015, **42**(12): 5177-5191.
- [12] Agirrebeitia J, Avilés R, De Bustos I F, *et al.* A new APF strategy for path planning in environments with obstacles [J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2005, **40**(6):645-658.
- [13] 于振中, 闫继宏, 赵杰, 等. 改进人工势场法的移动机器人路径规划[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, **43**(1):50-55.
YU Zhen-zhong, YAN Ji-hong, ZHAO Jie, *et al.* Mobile robot path planning based on improved artificial potential field method [J]. **Journal of Harbin Institute of Technology**, 2011, **43**(1):50-55. (in Chinese)
- [14] 李海峰, 马斌, 陈浩男, 等. 基于人工势场法与入侵杂草法路径规划研究[J]. 控制工程, 2015, **22**(1):38-44.
LI Hai-feng, MA Bin, CHEN Hao-nan, *et al.* Path planning research based on artificial potential field method with invasive weed method [J]. **Control Engineering of China**, 2015, **22**(1): 38-44. (in Chinese)
- [15] Ge S S, Cui Y J. New potential functions for mobile robot path planning [J]. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 2000, **16**(5):615-620.

Path planning by using region potential field switch method

HUANG De-ying¹, GUO Ge^{*2}, WANG Li-yuan¹, LI Zhi-hui¹

(1. School of Control Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Information Science and Technology College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To solve the path planning failure of improved artificial potential field (APF) method in application, a region potential field switch method (RPFMS) is proposed. It includes the map definition and algorithm design. Firstly, the different shape obstacles on the map are defined by classifications, then the smallest cell which includes the absolute defence zone and buffer zone is set. Based on the improved APF method the algorithm is redesigned at different zones. The redesigned algorithm makes the robots only receiving repulsion in the absolute defence zone, both repulsion and attraction in the buffer zone and only attraction outside the buffer zone. Thus, it can make the robot arrive at the aim very fast and avoid obstacles successfully. The reliability of the proposed method is testified by the Matlab simulation experiments using respectively the improved APF method and the RPFMS in the defined map.

Key words: path planning; improved artificial potential field (APF) method; map definition; absolute defence zone; region potential field switch method (RPFMS)