

基于随机运动障碍避碰规则的机器人路径规划

鄢文浩, 贺赛先, 沈婷婷
(武汉大学电子信息学院, 武汉 430079)

摘要: 针对存在随机运动障碍的复杂动态环境,提出了一种改进的机器人路径规划新方法。对于随机运动障碍,综合考虑机器人与障碍物的相对位置及相对速度,设计一种新的动态障碍避碰规则,使机器人安全地避开障碍,并避免大量迂回路径;对于匀变速运动目标,采用改进的人工势场法,引入相对速度及加速度因素,使机器人能追上目标并保持同步运动。基于 Matlab 的仿真实验验证了所提方法的有效性。

关键词: 移动机器人; 路径规划; 动态避障; 随机运动障碍

中图分类号: TP242.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)05-0073-04

Path Planning of Robots Based on Rules for Avoiding Random Moving Obstacle

YAN Wen-hao, HE Sai-xian, SHEN Ting-ting
(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: An improved method for path planning of robots is proposed for use in complex and dynamic environment with randomly moving obstacles. In order to avoid obstacle safely without too much circuits, a new rule is used for avoiding randomly moving obstacles with consideration of the relative position and velocity between the robot and obstacles. To the object moving with uniformly variable speed, an improved artificial potential method is adopted with consideration of the relative velocity and acceleration, which can help the robot to keep pace with the object. The simulation results based on Matlab platform show the effectiveness of the algorithm.

Key words: mobile robot; path planning; dynamic obstacle avoidance; random moving obstacle

0 引言

近些年来,动态环境下的移动机器人路径规划成为了新的研究热点,国内外许多学者研发出大量的成果。文献[1-2]利用改进的势场函数实现了较好的动态路径规划;文献[3]引入相对速度、相对加速度到势场函数中;文献[4]在引入相对速度、相对加速度的同时,融合避碰预测、减速避障的策略,提高了机器人避开动态障碍的能力;文献[5]将势场法和蒙特卡罗定位法结合起来,使机器人能有效地避开动态障碍,到达目标点;文献[6]采用模糊控制算法;文献[7]结合蚁群算法和模糊控制能在动态环境下规划出全局较优

路径;文献[8]为机器人建立导航行为函数,很好地实现了避障和目标追踪过程;文献[9-11]对动态环境下的机器人路径规划也做出了一定的成果。这些方法都能较好地避开匀变速运动的障碍,但对于非匀变速运动障碍,却无法得到令人满意的效果。

针对这个问题,文献[12]提出了一种避障规则,能显著提高机器人避开随机障碍的能力,但规划出的路径依然存在迂回,并且与障碍物有碰撞的危险,不具有足够的通用性。因此,本文结合上述方法,设计了一种十分合理的动态障碍物避碰规则,来解决动态环境下随机运动障碍避碰问题。

1 改进后的引力势场

针对动态目标的追踪,目前已有许多学者提出了有效的解决方法,并取得了较好的效果。由于本文重点在于随机运动障碍物避碰,因而此处不做过多分析,采用文献[3]提出的改进引力势场函数来实现动态目标的追

收稿日期:2016-05-27

修回日期:2017-02-13

基金项目:国家“九七三”计划资助项目(2012CB725301);测绘地理信息公益性行业科研专项基金(201412015)

作者简介:鄢文浩(1992-),男,湖北天门人,硕士生,研究方向为图像处理与机器视觉。

踪。将速度、加速度信息引入传统引力势场函数,即

$$U_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) = \xi_q \|\mathbf{q} - \mathbf{q}_g\|^2 + \xi_v \|\mathbf{v} - \mathbf{v}_g\|^2 + \xi_a \|\mathbf{a} - \mathbf{a}_g\|^2 \quad (1)$$

式中: ξ_q, ξ_v 和 ξ_a 为常量系数; $\|\mathbf{q} - \mathbf{q}_g\|$, $\|\mathbf{v} - \mathbf{v}_g\|$ 和 $\|\mathbf{a} - \mathbf{a}_g\|$ 分别为目标关于机器人的相对位移、相对速度和相对加速度大小。由引力场函数可以推出目标对机器人的吸引力为

$$\mathbf{F}_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) = -\nabla U_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) = -\nabla_{\mathbf{q}} U_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) - \nabla_{\mathbf{v}} U_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) - \nabla_{\mathbf{a}} U_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) \quad (2)$$

代入各分量可得

$$\mathbf{F}_{\text{att}}(\mathbf{q}, \mathbf{v}, \mathbf{a}) = 2\xi_q \|\mathbf{q} - \mathbf{q}_g\| \mathbf{e}_{\text{org}} + 2\xi_v \|\mathbf{v} - \mathbf{v}_g\| \mathbf{e}_{\text{vrg}} + 2\xi_a \|\mathbf{a} - \mathbf{a}_g\| \mathbf{e}_{\text{arg}} \quad (3)$$

式中: \mathbf{e}_{org} 为由机器人指向目标位置的单位向量; \mathbf{e}_{vrg} 与 \mathbf{e}_{arg} 均为单位向量,分别表示目标点与机器人的相对速度和相对加速度方向。利用式(3)即可实现运动目标的有效追踪。

2 随机运动障碍避障规则

2.1 运动障碍物定义及假设

动态障碍主要包括匀速直线运动障碍、匀变速运动障碍等。在这些场景下,障碍物的运动轨迹为如直线、二次函数等初等函数,因此,机器人可以通过传感器采集多个时间段内障碍物的运动参数,拟合出障碍物的运动轨迹,即速度、加速度等信息,用于后续避障算法。但在某些场景中,障碍物的运动轨迹可能为高等函数,甚至更加复杂的曲线、折线运动。此时,机器人依然可以采集多个运动周期内障碍物的运动参数,但受限于机器人自身的计算能力,以及对障碍物没有先验知识,无法准确拟合障碍物的轨迹信息。此时,机器人无法得到障碍物的加速度信息以及预测其下一运动周期的速度,只能通过上一运动周期的位移大小及方向来进行避障。

本文讨论的随机运动障碍即满足上述的特点,机器人无法准确算出障碍物的加速度信息,无法准确预知障碍物下一段的速度信息。因此,对于机器人而言,障碍物下一运动周期内的位移大小及方向不可预知,其运动可以视为随机的方向和大小。为了方便描述,对机器人及障碍物作如下定义与假设。

定义1 将每一个运动周期内机器人和障碍物的位移都视为一步 λ , λ 为矢量,有大小和方向。 λ 为单位运动周期内的位移,可以视为机器人或障碍物在当前运动周期内的速度。

定义2 动态障碍物影响范围为 D_i , 机器人与障碍物距离小于 D_i 时,进入避障模式;机器人与障碍物的安全距离为 D_s , 当机器人与障碍物距离小于 D_s 时,表明机器人有碰撞危险,应尽快逃离障碍物, $D_i > D_s$ 。

假设1 假设环境中存在能避开随机运动障碍的安全路径,动态障碍物随机运动的最大步幅为 λ_0 , 机器人运动的最大步幅为 λ_R , 且满足 $\lambda_0 < \lambda_R$ 。

假设2 假设环境中只存在规则的凸多边形障碍物。

2.2 随机运动障碍物避障规则

在机器人运动过程中,如果机器人探测到动态障碍物,且与动态障碍物上最近点的距离小于安全距离 D_s , 则机器人接下来便在随机障碍避障规则下进行避障。图1所示为机器人探测到动态障碍物进入安全距离 D_s 范围时的避障原理。

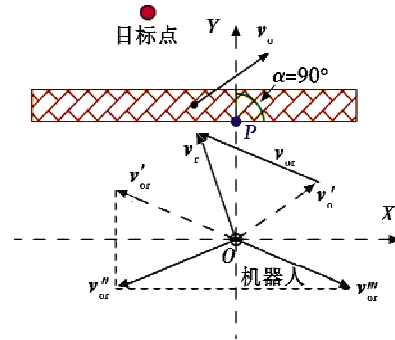


图1 随机障碍避障原理图

Fig.1 Schematic diagram of random obstacle avoidance

图1中,当前机器人中心运动到点O位置。在传感器探测范围内,检测到障碍物边缘离机器人最近的点为P,此时 $\|OP\| < D_s$ 。机器人需要运用避障规则规划路径。以点O为原点,OP线段所在直线定义为Y轴, \vec{OP} 向量所在方向为正方向;过点O作Y轴垂线,定义为X轴, \vec{OP} 向量顺时针旋转90°所在方向定义为X轴正方向。如图1中所示,在上一个运动周期内,障碍物的速度为 v_o , 机器人运动速度为 v_r 。 v'_o 与 v_o 为相等向量,由图可知, v''_o 为机器人相对于障碍物的速度。 v''_o 与 v''_r 为相等向量, v''_o 与 v''_r 关于X轴对称, v''_o 与 v''_r 关于Y轴对称。

此时,需要根据当前机器人与障碍物的运动速度来确定下一运动周期机器人的运动方向。将 v''_o 向量,即机器人相对于障碍物的速度作为主要参考。如图1所示,当 v''_o 向量处于X轴上方时,当前周期内机器人有向障碍物靠近的趋势;为了使机器人在下一运动周期不与障碍物发生碰撞,需要在下一运动周期使机器人向远离障碍物的方向运动;反之,当 v''_o 向量处于X轴下方时,机器人有远离障碍物的趋势。为了避免机器人持续向远离障碍物的方向运动而产生大量无效路径,需要在下一周期使机器人向靠近障碍物的方向运动。

假设机器人下一步运动方向为 v_n , 图1中可以看出 v''_o 与 v''_r 关于X轴对称,根据上述判断,下一运动周期,机器人运动方向可以取 $v_n = v''_o$ 。此时,机器人既可

以在下一运动周期成功避开障碍物,又不会产生大量折返路径。

此外,为了避免出现类似人工势场法的左右徘徊现象,下一步运动方向还需要参考当前运动周期内机器人的运动方向。如图1所示, v_{or}'' 与 v_{or}''' 关于 Y 轴对称,最终的下一步运动方向会在这两个方向中产生。

假设 v_r 与 v_{or}'' 之间的夹角为 θ_i , v_r 与 v_{or}''' 之间的夹角为 θ_j ,则下一步运动方向遵循

$$v_n = \begin{cases} v_{or}'' & \theta_i < \theta_j \\ v_{or}''' & \theta_i > \theta_j \end{cases} \quad (4)$$

图1中,机器人下一步的运动方向为 v_{or}'' 方向。

3 算法步骤

在复杂动态环境下,机器人应用本文方法进行路径规划的具体步骤如下所述。

Step 1 若探测范围内,机器人与动态目标之间不存在障碍,或者动态障碍物与机器人的距离大于 D_i ,则机器人沿着直线向目标点运动,直到下列情况发生:1)若机器人到达目标点,则停止运动;2)若探测范围内,机器人与目标点之间出现动态障碍物,且机器人与动态障碍物的距离小于 D_i ,则转向 Step 2。

Step 2 机器人根据当前动态目标点位置,以及动态障碍物位置,设置一个局部目标点,其位置处于机器人与动态目标点的连线上,且与动态障碍物保持合适的安全距离。此时机器人不追踪动态目标,转而进入动态障碍物避碰模式,转向 Step 3。

Step 3 机器人运用动态障碍物避碰规则进行避障,直到机器人安全到达局部目标点,转入 Step 1。

4 仿真实验及结果分析

为了验证本文路径规划方法的效果,在 Matlab 环境下进行以下仿真实验。其中,机器人简化为圆形,目标简化为点,障碍物为凸多边形。障碍物与机器人的最小安全距离为 0.4 m,障碍物影响范围为 3 m,机器人决策周期为 $T=0.3$ s。

4.1 无障碍物环境下的目标追踪

首先随机给定动态目标的参数,其初始位置坐标为 $q_g = (1 \text{ m}, 6 \text{ m})^T$,初始速度为 $v_g = (0.04 \text{ m/s}, -0.02 \text{ m/s})^T$,初始加速度为 $a_g = (0.002 \text{ m/s}^2, 0 \text{ m/s}^2)^T$;其次给定机器人的运动参数,初始位置为 $q_r = (-3 \text{ m}, 5.6 \text{ m})^T$,初始速度为 $v_r = (0 \text{ m/s}, 0 \text{ m/s})^T$,初始加速度为 $a_r = (0 \text{ m/s}^2, 0 \text{ m/s}^2)^T$ 。

经过测试调整最终得到一组合适的参数为 $\xi_q = 1.5, \xi_v = 0.5, \xi_a = 0.8$ 。同时,在相同的测试条件下,用传统的人工势场法规划机器人的路径,如图2所示。

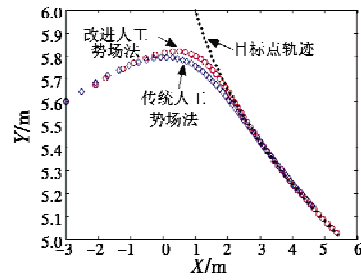


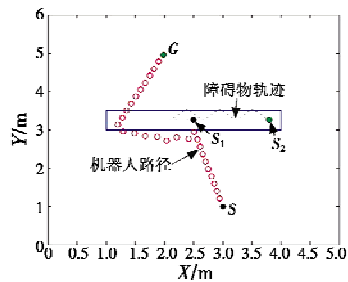
图2 $\xi_q = 1.5, \xi_v = 0.5, \xi_a = 0.8$ 时跟踪结果

Fig.2 Tracking results when $\xi_q = 1.5, \xi_v = 0.5$ and $\xi_a = 0.8$

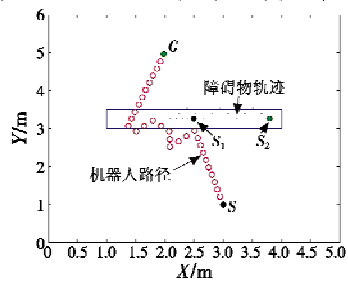
由图2可以看出,改进后的人工势场法很快进入到与目标点相同的轨迹,并最终达到同步运动,而此时传统的势场法还无法与目标点同步运动。

4.2 动态障碍物避碰实验

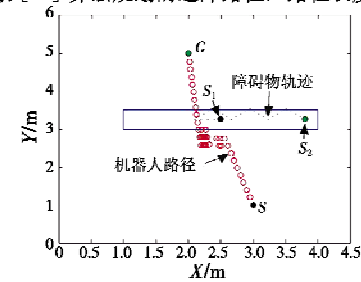
给定目标点坐标为 $G = (2 \text{ m}, 5 \text{ m})$,机器人起点为 $S = (3 \text{ m}, 1 \text{ m})$ 。动态障碍物步幅为 $\lambda_o = 0.1 \text{ m}$,机器人步幅为 $\lambda_r = 0.2 \text{ m}$ 。障碍物沿指定轨迹从起点 S_1 运动到终点 S_2 。为验证本文方法的有效性及其优越性,将本文方法与文献[12]及传统的人工势场法在同等条件下进行测试,如图3所示。



a 本文方法规划的避障路径,路径长度为 5.6 m



b 文献[12]算法规划的避障路径,路径长度为 6.0 m



c 人工势场法规划的避障路径,路径长度为 7.6 m

图3 不同算法避障路径规划结果

Fig.3 Obstacle avoidance path planning results of different algorithms

由图3可以看出,本文方法规划出的避障路径长度为5.6 m,另外两种算法的路径长度分别为6.0 m和7.6 m,明显长于本文方法。此外,本文方法规划出的路径相对其他算法更加平滑,整体更加远离障碍物,因而更加安全。

4.3 复杂动态环境下的路径规划

在同时有运动目标和随机动态障碍的复杂环境下测试本文方法。目标点初始位置为 $q_g = (1 \text{ m}, 7 \text{ m})^T$,速度为 $v_g = (0.04 \text{ m/s}, -0.02 \text{ m/s})^T$,加速度 $a_g = (0.002 \text{ m/s}^2, 0 \text{ m/s}^2)^T$ 。机器人初始位置为 $q_r = (3 \text{ m}, 1 \text{ m})^T$ 。给定每个运动周期为0.3 s,取前15 s的运动数据。如图4、图5所示,机器人与目标点同时开始运动,机器人初始位置已经进入障碍物影响范围。根据给定的规则选择一个临时目标点 g ,机器人进入动态障碍物避碰模式。当机器人到达临时目标点后,再继续按算法追踪目标点。

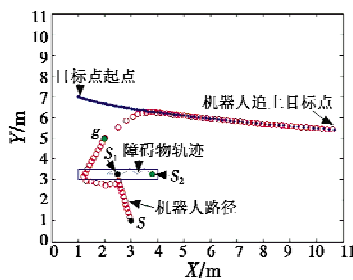


图4 本文方法规划的机器人路径

Fig. 4 Robot path of our algorithm

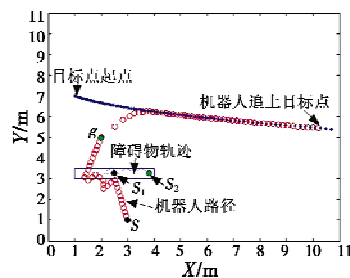


图5 文献[12]算法规划的机器人路径

Fig. 5 Robot path of the algorithm in reference [12]

从以上对比结果可以看出,本文方法规划出的路径更优,并且能在时限内追上目标点,而在相同的时间内,其他方法由于避障路径较长,无法追上目标点。

5 结束语

本文提出了一种针对随机运动障碍的路径规划方法来解决机器人在复杂动态环境下的路径规划问题,该方法通过设计一种随机障碍避碰规则解决了机器人面对随机运动障碍时的安全性以及来回震荡的问题,在保证机器人安全的情况下避免了大量迂回路径,使机器人更快到达目标点,同时,引入改进的人工势场

法,使机器人能有效追踪目标。最后,通过详细的仿真实验,验证了本文方法的有效性,进一步要考虑障碍物非凸的情况进行研究。

参考文献

- [1] GE S S, CUI Y J. Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method [J]. *Autonomous Robots*, 2002, 13 (3) :207-222.
- [2] VAMSIKRISHNA G, MANFRED H. A temporal potential function approach for path planning in dynamic environments [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, San Antonio, 2009:3605-3611.
- [3] 殷路,尹怡欣. 基于动态人工势场法的路径规划仿真研究[J]. *系统仿真学报*, 2009, 21 (11) :3325-3328, 3341.
- [4] 徐腾飞,罗琦,王海. 基于向量场的移动机器人动态路径规划[J]. *计算机科学*, 2015, 42 (5) :237-244.
- [5] BODHALE D, AFRULPURKAR N, THANH N T. Path planning for a mobile robot in a dynamic environment [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics Bangkok*, 2008:2115-2120.
- [6] 李擎,张超,韩彩卫,等. 动态环境下基于模糊逻辑算法的移动机器人路径规划[J]. *中南大学学报:自然科学版*, 2013, 44 (s2) :104-108.
- [7] CAI W B, ZHU Q B, HU J. Path planning based on biphasic ant colony algorithm and fuzzy control in dynamic environment [C]//*The Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 2010:333-336.
- [8] 王泽兵,杨卫,秦丽,等. 动态环境下移动机器人导航行为函数建模[J]. *中北大学学报:自然科学版*, 2014, 35 (5) :547-552.
- [9] KO N Y, LEE B H. Avoidability measure in moving obstacle avoidance problem and its use for robot motion planning [C]//*Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems' 96, IROS 96*, IEEE, 1996:1296-1303.
- [10] CONN R A, KAM M. Robot motion planning on N-dimensional star worlds among moving obstacles [J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1998, 14 (2) :320-325.
- [11] 江万里,熊蓉,褚健. 复杂动态环境下基于侧滑力的局部路径规划[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2007, 41 (10) :1609-1614.
- [12] 徐望宝,张进,陈雪波. 复杂动态环境下基于改进的CautiousBug算法的机器人路径规划[J]. *信息与控制*, 2014, 43 (4) :398-404.