

# 基于人工势场法的机器人路径规划

张建英, 赵志萍, 刘瞰

(哈尔滨工业大学 航天学院 哈尔滨 150001 E-mail: zhangjianying79@163.com)

**摘 要:** 人工势场法是机器人路径规划算法中一种简单有效的方法. 对改进势场函数的规划方法进行分析发现: 该方法并不能很好解决局部极小问题, 提出了添加附加控制力的方法, 即当机器人所受的斥力与吸引力在一条直线上时, 对机器人施加一个依赖于障碍物的控制力, 使机器人尽快跳出局部极小点. 仿真结果说明此方法是有效的.

**关键词:** 路径规划; 人工势场; 改进势场函数; 附加控制力

**中图分类号:** TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0367-6234(2006)08-1306-04

## A path planning method for mobile robot based on artificial potential field

ZHANG Jian-ying ZHAO Zhi-ping LIU Dun

(School of Astronautics Harbin Institute of Technology Harbin 150001 China E-mail: zhangjianying@163.com)

**Abstract** The artificial potential field method is a simple and efficient method used in robot path programming. The improved potential field function method couldn't solve the local minimum problem. An adding extra control force method is proposed. In this method when repulsive force and attractive force on are the same straight line extra control force depending on obstacle is applied on mobile robot which can make it out of local minimum. The simulation result proves the efficient of this method.

**Key words** path planning artificial potential field improved potential field adding extra control force

路径规划是移动机器人领域的一个重要组成部分. 它的任务是在具有障碍物的环境中, 按照一定的评价标准, 寻找一条从起始状态 (包括位置及姿态) 到达目标状态 (包括位置及姿态) 的无碰路径. 目前常用到的路径规划方法主要有: 人工势场法、栅格法、神经网络等, 其中人工势场法以其数学计算上的简单明了被广泛应用. 势场法的基本思想是在移动机器人的工作环境中构造这样一个人工势场, 势场中包括斥力极和吸引极, 不希望机器人进入的区域和障碍物定义为斥力极, 目标及建议机器人进入的区域定义为引力极, 使得在该势场中的移动机器人受到其目标位姿引力场和障碍物周围斥力场的共同作用, 朝目标前进. 由于机器人是受引力和斥力的合力的作用, 合力为零时, 机器人将停止前进, 即陷入局部极小点, 机

器人不能到达目标位置. 文献 [1] 用改进势场函数的方法成功解决了目标不可达问题, 并使目标点成为整个势场的全局最小点, 消除了路径上的局部极小点. 但是, 作者在仿真过程中发现在某些情况此方法并不有效, 本文在此基础上提出了用附加控制力的方法, 使机器人快速跳出局部极小点, 到达目标位置.

### 1 基于改进势场函数的人工势场法

假设有如下环境: 移动机器人在一个平面上运动, 这个平面上分布有障碍物, 这些障碍物按形状可分为形状规则和形状不规则的. 形状规则的障碍物可以用隐函数  $f(X^*) = 0$  ( $X^*$  是障碍物边界上的点) 描述障碍物的边界, 势力场的影响范围局限于  $f(X^*) = 0$  和  $f(X_0) = a$  两边界之间 (其中  $X_0$  是障碍物附近的一点,  $f(X_0) = a$  是将  $f(X^*) = 0$  向外扩展一段距离  $\rho_0$  后得到的边界方程,  $\rho_0$  是一个常数, 代表障碍物的影响距离,  $a$  为

收稿日期: 2004-09-07.

作者简介: 张建英 (1979-), 女, 硕士研究生;

刘瞰 (1932-), 男, 教授, 博士生导师.

正实数); 对于形状不规则的障碍物, 总可以把它划分成几个相连的凸多边形, 如果用  $\rho$  表示移动机器人到障碍物的距离, 则势力场的影响范围在距障碍物的某一距离  $\rho_0$  之内. 王会丽, 傅卫平等在文献<sup>[1]</sup> 中这样定义势场函数:

设机器人在工作空间中的位置为  $X = [x \ y]^T$ , 引力势函数定义为

$U_{xd}(X) = 0.5k_p(X - X_d)^2$ .  
式中:  $U_{xd}(X)$  为机器人相对于目标的引力场,  $X_d$

$$U_o(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{f(X)} - \frac{1}{f(X_0)} \right)^2 (X - X_d)^n, & X \text{ 在 } f(X^*) = 0 \text{ 和 } f(X_0) = a \text{ 两区域之间;} \\ 0 & \text{其他.} \end{cases}$$

其中: 定义  $(X - X_d)^n = |(x - x_d)^n| + |(y - y_d)^n|$ , 此式表示机器人与目标之间的相对距离,  $\eta$  为位置增益系数, 障碍物的影响范围在  $f(X^*) = 0$  和  $f(X_0) = a$  两边界之间,  $n$  是一个大于零的任意

$$F_o(X) = -\text{grad}[U_o(X)] = \begin{cases} F_{o1} + F_{o2}, & X \text{ 在 } f(X^*) = 0 \text{ 和 } f(X_0) = a \text{ 两区域之间;} \\ 0 & \text{其他.} \end{cases}$$

$F_{o1}$  和  $F_{o2}$  可分别表示为

$$F_{o1} = \eta \left( \frac{1}{f(X)} - \frac{1}{f(X_0)} \right) \frac{1}{f^2(X)} \frac{\partial f}{\partial X} (X - X_d)^n,$$
$$F_{o2} = -\frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{f(X)} - \frac{1}{f(X_0)} \right)^2 \frac{\partial}{\partial X} (X - X_d)^n.$$

其中:  $\frac{\partial f}{\partial X} = \left[ \frac{\partial f}{\partial x} \ \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T$ ,  $\frac{\partial}{\partial X} (X - X_d)^n = [n|(x - x_d)^{n-1}| \ n|(y - y_d)^{n-1}|]^T$ .

同样当障碍物形状不规则时, 斥力场函数可表示为

$$U_o(X) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 (X - X_d)^n, & \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \rho > \rho_0 \end{cases}$$

式中:  $\rho$  为机器人与障碍物边缘之间的最短距离.

$$F_{o1} = \eta \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \rho}{\partial X} (X - X_d)^n,$$
$$F_{o2} = -\frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \frac{\partial \rho}{\partial X} (X - X_d)^n.$$

其中:  $\frac{\partial \rho}{\partial X} = \left[ \frac{\partial \rho}{\partial x} \ \frac{\partial \rho}{\partial y} \right]^T$ ,  $\frac{\partial}{\partial X} (X - X_d)^n$  的定义同前.

基于改进势场函数的路径规划方法就是要先求出机器人所在的位置到障碍物边缘的最短距离  $\rho$ . 如果  $\rho \leq \rho_0$  则机器人受引力和斥力的共同作用, 否则将只受引力而不受斥力. 应用以上改进的势场函数对该方法进行仿真, 假定移动机器人是以不变的速度运动的, 合力只决定机器人的运动

为机器人在势场中的稳定位置, 即目标位置,  $k_p$  为位置增益.

在此, 定义  $(X - X_d)^2 = (x - x_d)^2 + (y - y_d)^2$ .

相应的引力为

$$F_{xd} = -\text{grad}(U_{xd}(X)) = -k_p(X - X_d).$$

改进的斥力场函数分两种情况讨论:

当障碍物形状规则时, 障碍物的表面由隐函数  $f(X^*) = 0$  描述, 则相应的人工斥力场定义为

实数. 斥力场函数中引入了机器人与目标之间的相对距离, 保证了整个势场仅在目标点  $X_d$  全局最小.

此时斥力为该势函数的负梯度

方向, 让机器人在这个方向上按一定的步长运动. 仿真环境如图 1 所示的  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$  的区域, 其中分布着 5 个不规则的多边形障碍物, 区域的原点在左下角. 此例是规划的一条从  $(0\ 0)$  到  $(25\ 25)$  的无碰路径, 仿真结果如图 1 所示.

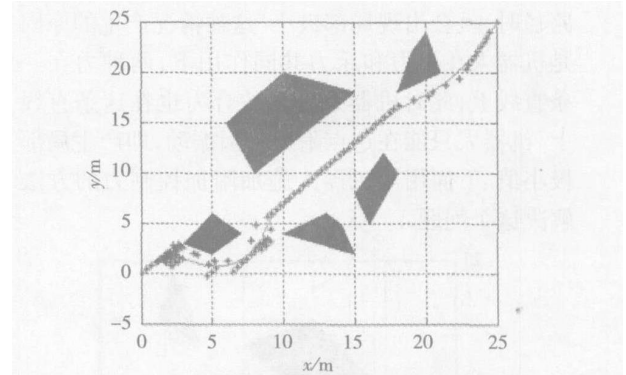
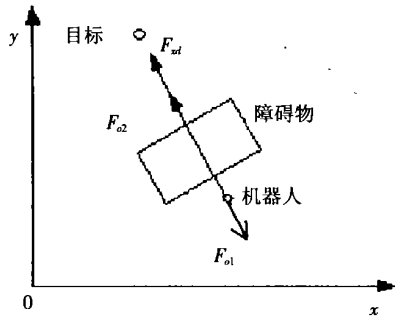


图 1 基于人工势场法的仿真结果

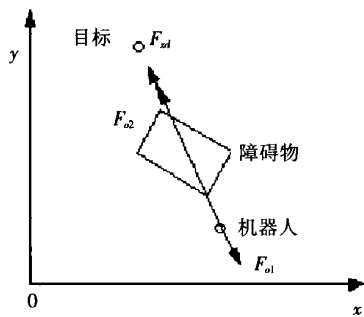
## 2 利用附加控制率跳出局部极小点

如图 2 所示, 在仿真过程中遇到这样的问题: 机器人所受的斥力和引力在一条直线上, 此时如果机器人只单纯依靠自身所受的势场力是无法离开障碍物的. 分两种情况讨论: 1) 当机器人运动到某一障碍物的影响范围内, 如果机器人与目标点的连线垂直于障碍物的一条边, 此时机器人所受斥力和引力在一条直线上, 机器人所受的合力使机器人在这条直线上运动, 这样机器人将不能

绕过障碍物到达目标点,如图 2(a);2)若机器人距障碍物距离最近处为障碍物的某一顶点,而机器人当前位置、障碍物顶点和目标点在一条直线上,也会出现上述情况,如图 2(b).



(a) 机器人与目标的连线垂直于障碍物的情况



(b) 机器人距障碍物的最近处为障碍物某一顶点的情况

图 2 机器人所受斥力和引力在同一方向的情况

如图 3 所示,规划一条从 (0 5)到 (15 15)的路径时,就会出现局部极小.这种情况产生的原因是机器人在引力和斥力共同作用下,两种力在一条直线上,此时机器人所受的合力也在这条直线上,机器人只能在这点附近来回振动,即产生局部极小值.下面用对机器人施加附加控制力的方法解决这个问题.

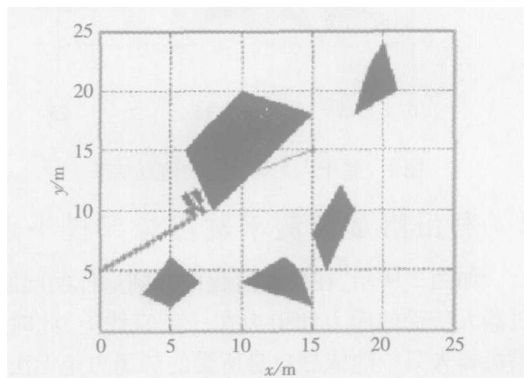


图 3 出现局部极小的情况

设某一时刻表示障碍物的凸多边形顶点和移动机器人的位置坐标可由视觉系统经变换得到,如图 4 所示,设障碍物的顶点  $A$ 、 $B$ 、 $C$  按逆时针方向排列,其坐标为  $(x_0, y_0)$ 、 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ ,

垂足为  $V$ ,坐标为  $(x_v, y_v)$ . 设机器人距某一障碍物某一边的距离  $\rho$  为机器人距所有障碍物的最短距离,此时  $\rho < \rho_0$ , 需要施加某种控制规则. 引入变量  $\lambda = (x_v - x_0) / (x_1 - x_0)$ .

1) 当  $0 < \lambda < 0.5$  时,说明机器人距  $A$  点近,让此机器人以当前点为起点,平行于障碍物的边向  $A$  的方向运动,移动的步长与  $A$  点到垂足的距离成比例,使机器人绕过障碍物,即

$$x_{i+1} = x_i + a(x_0 - x_v),$$

$$y_{i+1} = y_i + a(y_0 - y_v).$$

式中:  $a$  为大于零的实数.

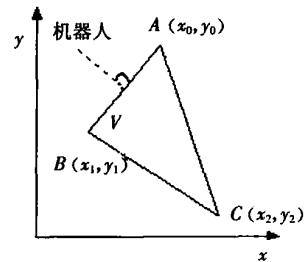


图 4 机器人与障碍物的关系

2) 当  $0.5 < \lambda < 1$  时,说明机器人距  $B$  点近,令机器人以当前点为起点,平行于障碍物的边向  $B$  的方向运动,移动的步长与  $B$  点到垂足的距离成比例,使机器人绕过障碍物,即

$$x_{i+1} = x_i + a(x_1 - x_v),$$

$$y_{i+1} = y_i + a(y_1 - y_v).$$

3) 当  $\lambda \leq 0$  时,说明机器人在  $A$  点外,令机器人以当前位置为起点,平行于障碍物的边向远离障碍物的方向运动,移动的步长与垂足到  $A$  点的距离成比例,使机器人绕过障碍物,即

$$x_{i+1} = x_i + a(x_v - x_0),$$

$$y_{i+1} = y_i + a(y_v - y_0).$$

4) 当  $\lambda \geq 1$  时,说明机器人在  $B$  点外,令机器人以当前位置为起点,平行于障碍物的边向远离障碍物的方向运动,移动的步长与垂足到  $B$  点的距离成比例,使机器人绕过障碍物,即

$$x_{i+1} = x_i + a(x_v - x_1),$$

$$y_{i+1} = y_i + a(y_v - y_1).$$

应用以上附加控制率对前文所述的环境进行路径规划仿真,能够成功地解决局部极小点的问题.如图 5 所示,机器人也可以绕过障碍物,成功到达目标.

### 3 结 论

1) 针对移动机器人路径规划中的局部极小问题,提出了对机器人施加附加控制力的方法,使机器人平行于障碍物的边向离它最近的顶点运

动. 仿真结果证明了此方法的有效性.

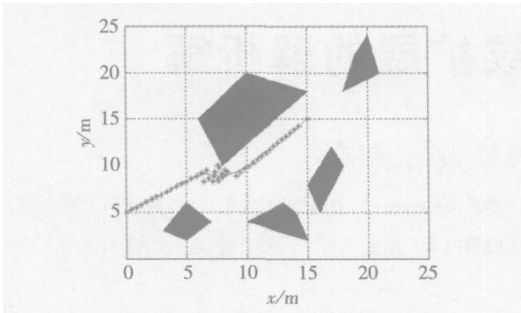


图 5 跳出局部极小点的情况

2)规划出的路径在障碍物边缘还有抖动现象, 将有待在以后做进一步改进.

参考文献:

[ 1 ] 王会丽, 傅卫平, 方宗德. 基于改进的势场函数的移动机器人路径规划[ J ]. 机床与液压, 2002( 6): 67 - 71  
[ 2 ] 张汝波, 张国印, 顾国昌. 基于势场法的水下机器人局部路径规划研究[ J ]. 应用科技, 1994( 4): 28 - 34

[ 3 ] KITAMURA Y, TANAKA T, KISHINO F, *et al*. 3 - D path planning in a dynamic environment using an octree and an artificial potential field[ J ]. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1995, 2: 474 - 481.  
[ 4 ] KHABITO O. Real - time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots[ J ]. The International Journal of Robotics research, 1985, 5( 2): 500 - 505  
[ 5 ] JANABI - SHARIFIE V, KENNEDY D. Integration of the artificial potential field approach with simulated annealing for robot path planning[ J ]. IEEE International Symposium on Intelligent Control, 1993, 8: 536 - 541  
[ 6 ] PARK M G, JEON J H, LEE M C. Obstacle avoidance for mobile robots using artificial potential field approach with simulated annealing[ J ]. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2001, 3( 6): 1530 - 1535.

(编辑 杨 波)

(上接第 1305 页)

致 谢

试验中清华大学邱法维副教授、黄勇老师给予了悉心指导和大力协助, 张丽荣、谢晓东、陈丽静硕士参与了具体试验工作和结果整理, 在此表示诚挚的感谢!

参考文献:

[ 1 ] FEMA - 350. Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment - Frame Buildings[ S ]. FEMA, 2000.  
[ 2 ] FEMA - 355D. Post - Northridge Welded Flange Connections[ S ]. FEMA, 2000.  
[ 3 ] 杨庆山. 梁腹板开圆孔的钢框架抗震节点[ J ]. 中国安全科学学报, 2005, 15( 2): 45 - 50  
[ 4 ] RU J B, LI B. Connection of steel moment - resisting frames with opening on beam web[ A ]. The Eighth International Symposium on Structural Engineering for Young

Exports[ C ]. Beijing: Science Press, 2004.  
[ 5 ] LI B, YANG Q S. Numerical and experimental research on MRFs' connection with opening on beam web[ A ]. Fourth International Conference on Advances in Steel Structures[ C ]. London: Elsevier, 2005.  
[ 6 ] 石永久, 李兆凡, 陈宏, 等. 高层钢框架新型梁柱节点抗震性能试验研究[ J ]. 建筑结构学报, 2002, 23( 3): 2 - 7.  
[ 7 ] KIM K D. Monotonic and cyclic loading model for panel zones in steel moment frames[ J ]. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58( 5 - 8): 605 - 635.  
[ 8 ] SHEN J. Seismic performance of steel moment frames with reduced beam sections[ J ]. Engineering Structures, 2000, 22( 8): 968 - 983.

(编辑 姚向红)