

文章编号:1000-6893(2007)增-S183-06

基于人工势场法的移动机器人最优路径规划

张建英, 刘 瞰

(哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

Optimized Path Planning of Mobile Robot Based on Artificial Potential Field

ZHANG Jian-ying, LIU Tun

(School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

摘 要: 提出一种解决人工势场法目标不可达问题的方法。分析了传统人工势场法中的固有缺陷:目标不可达;在障碍物附近或通过狭小通道时的抖动问题。通过选取适当的增益系数解决了目标不可达问题,使机器人快速到达目标点。用拉紧法去除路径的冗余节点并用极坐标下对称多项式优化出圆滑的最优路径。仿真结果证实了所提方法的正确性和有效性。

关键词: 路径规划; 目标不可达问题; 对称多项式

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Abstract: A method to solve the problem of goal nonreachable with obstacle nearby (GNRON) is proposed. The limitations of classical artificial potential field are GNRON and the chattering phenomenon when mobile robot moves near the obstacle or pass through the narrow space. The proper gain factor is selected to solve GNRON problem so as to make the robot reach the goal rapidly. The redundant points are eliminated using the tensing method and the smooth optimized path is gained using the symmetric polynomials in polar coordinates. The correctness and effectiveness are verified by the simulation.

Key words: path planning; GNRON; symmetric polynomials

人工势场法是路径规划传统算法中较成熟且高效的规划方法,它将环境信息转化为引力场和斥力场模型,通过此模型来规划一条从出发点到目标点的可行路径。

人工势场法的一个缺陷就是当目标在障碍物的影响范围内时,整个势场中除目标点外还可能存在其他的局部极小点,机器人运动过程中将陷入这个局部极点而不能到达目标点,这就是目标不可达问题。目前已有多种跳出局部极小的方法,如随机游走法^[1]、启发式搜索、沿墙走^[2]和 Tangent bug^[3]法等,这些方法都需要对机器人施加附加控制力,本文通过调整势场函数的参数解决这一问题。此外,路径经过障碍物附近时由于合力方向变化会产生抖动现象,目前对于抖动问题没有深入探讨。本文应用拉紧算法去除冗余的路径点,并应用极坐标下的对称多项式曲线进行路径的圆滑处理。用 MATLAB 仿真,得到了圆滑的最优路径。

1 人工势场算法简介

假设障碍物已按机器人的尺寸进行扩展,而机器人可简化为点状机器人并且工作空间为二维欧式空间。机器人在工作空间中的位置为 $\mathbf{X} = [x \ y]^T$ 。

\mathbf{X} 处的引力场函数 $U_{att}(\mathbf{X})$ 一般定义为与目标位置 $\mathbf{X}_g = [x_g \ y_g]^T$ 有关,文献[4]中这样定义:

$$U_{att}(\mathbf{X}) = \frac{1}{2} k_p (\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^2 \quad (1)$$

式中: k_p 为增益,是正数。相应的引力 $\mathbf{F}_{att}(\mathbf{X})$ 为引力场的负梯度:

$$\mathbf{F}_{att}(\mathbf{X}) = -\nabla U_{att}(\mathbf{X}) = -k_p (\mathbf{X} - \mathbf{X}_g) = k_p \rho_1 \mathbf{a}_{RG} \quad (2)$$

式中: \mathbf{a}_{RG} 为从机器人指向目标的单位向量; $\rho_1 = \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_g\|$ 为机器人和目标之间的距离,机器人在这样的引力作用下可以线性收敛到目标点。

定义斥力场函数^[4] $U_{rep}(\mathbf{X})$ 为

$$U_{rep}(\mathbf{X}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 (\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^n & \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \rho > \rho_0 \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期:2006-10-25; 修订日期:2006-12-19
通讯作者:张建英 E-mail:zhangjianying79@163.com

式中: ρ 为机器人与障碍物边缘之间的最短距离; η 为正增益。式(3)表示在距障碍物边缘 ρ_0 的范围内机器人受到障碍物的斥力, 而在此范围外机器人则不受斥力; n 为大于零的任意实数; $(\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^n = |(x - x_g)^n| + |(y - y_g)^n|$ 为机器人与目标之间的相对距离。此时的斥力为斥力场函数的负梯度

$$\mathbf{F}_{\text{rep}}(\mathbf{X}) = -\nabla U_{\text{rep}}(\mathbf{X}) \quad (4)$$

机器人所受的合力可以分解为两个分力之合, 即

$$\mathbf{F}_{\text{rep}} = \begin{cases} \mathbf{F}_{\text{rep1}} + \mathbf{F}_{\text{rep2}} & \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \rho > \rho_0 \end{cases} = \begin{cases} \|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\| \mathbf{a}_{\text{OR}} + \|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\| \mathbf{a}_{\text{RG}} & \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \rho > \rho_0 \end{cases} \quad (5)$$

式中

$$\mathbf{F}_{\text{rep1}} = \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} (\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^n \quad (6)$$

$$\|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\| = \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} \rho_1^n \quad (7)$$

$$\mathbf{F}_{\text{rep2}} = -\frac{n}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 (\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^{n-1} \quad (8)$$

$$\|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\| = \frac{n}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \rho_1^{n-1} \quad (9)$$

式(5)中: \mathbf{F}_{rep1} 和 \mathbf{F}_{rep2} 为 \mathbf{F}_{rep} 的两个分力, 二者的方向由 \mathbf{a}_{OR} 和 \mathbf{a}_{RG} 表示; \mathbf{a}_{OR} 为从障碍物距机器人最近的点指向机器人的单位向量; \mathbf{a}_{RG} 为从机器人指向目标点的单位向量; $\|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\|$ 和 $\|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\|$ 分别为各自矢量的模。机器人所受势场力的关系如图1所示。

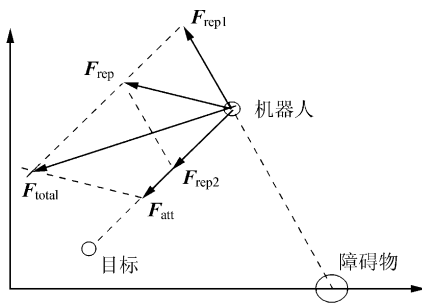


图1 机器人受力图

Fig.1 Force diagram of mobile robot

此时, 总的势场 $U_{\text{sum}}(\mathbf{X})$ 可表示为引力场和斥力场之和

$$U_{\text{sum}}(\mathbf{X}) = U_{\text{att}}(\mathbf{X}) + U_{\text{rep}}(\mathbf{X}) \quad (10)$$

假设机器人在如图2所示的一维环境中运动。机器人和障碍物分布在目标点的两侧, 设机器人所处位置为 $x=0$, 目标点为 $x_g=0.5$ m, 障碍物为 $x_{\text{obs}}=1.0$ m, 机器人从左侧逼近目标, $k_p = \eta = 1$, 机器人所受总势场随 n 的变化规律如

图3所示。从图3可以看出, 尽管总势场在目标点为全局最小值, 但是在某些情况下会出现局部极小值, 如 $n=0.5$ 时的 $x=0.136$ m 点, 当机器人从左侧向目标靠近时, 会陷入这个局部极小点而无法达到目标。

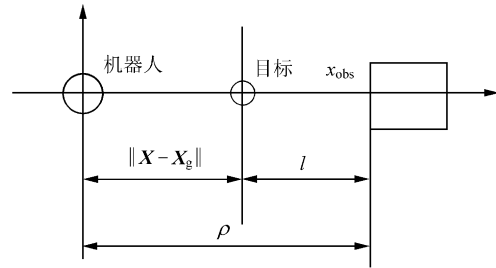


图2 一维环境模型

Fig.2 One dimension environment model

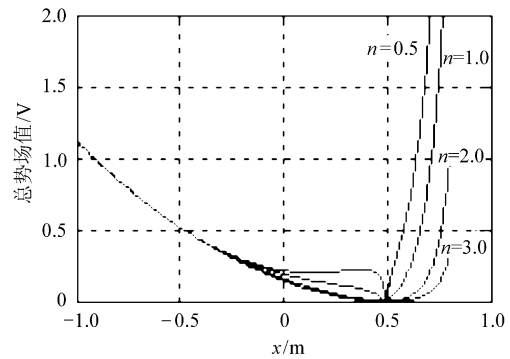


图3 势场函数与 n 的关系

Fig.3 Relation between potential function and n

2 局部极小点的消除

通过对势场函数的参数 k_p, η 的分析来避免目标不可达问题。

由图1可知, 只有当引力和斥力分布在一条直线上, 并且方向相反时才可能出现局部极小点: 机器人、目标和障碍物上距机器人最近的点在同一直线上, 并且机器人和障碍物分布在目标点的两侧。此时机器人所受的引力和斥力之和为

$$\mathbf{F}_{\text{total}}(\mathbf{X}) = \mathbf{F}_{\text{att}}(\mathbf{X}) + \mathbf{F}_{\text{rep}}(\mathbf{X}) = \|\mathbf{F}_{\text{att}}\| \mathbf{a}_{\text{RG}} + \|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\| \mathbf{a}_{\text{OR}} + \|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\| \mathbf{a}_{\text{RG}} \quad (11)$$

因为 $\mathbf{a}_{\text{RG}} = -\mathbf{a}_{\text{OR}}$, 所以式(11)可写为

$$\|\mathbf{F}_{\text{total}}(\mathbf{X})\| \mathbf{a}_{\text{RG}} =$$

$$(\|\mathbf{F}_{\text{att}}\| - \|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\| + \|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\|) \mathbf{a}_{\text{RG}}$$

为了避免局部极小点, 必须使总的势场力 $\mathbf{F}_{\text{total}}(\mathbf{X})$ 指向目标, 所以有

$$\|\mathbf{F}_{\text{att}}\| - \|\mathbf{F}_{\text{rep1}}\| + \|\mathbf{F}_{\text{rep2}}\| > 0 \quad (12)$$

将式(2)、式(7)和式(9)代入式(12), 得

$$k_p \rho_1 - \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2} \rho_1^n + \frac{n}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 \rho_1^{n-1} > 0$$

因为 $k_p, \eta > 0$, 可以改写为

$$\begin{aligned} \frac{k_p}{\eta} &> \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \frac{\rho_0^{n-1}}{\rho^2} - \frac{n}{2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 \rho^{n-2} = \\ &\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \frac{(\rho-l)^{n-1}}{\rho^2} - \frac{n}{2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 (\rho-l)^{n-2} = \\ &\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho-l)^{n-2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{l}{\rho^2} - \frac{n}{2\rho} + \frac{n}{2\rho_0}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

式中: $l = \rho - \rho_1$, 为障碍物和目标之间的距离, 且有 $l < \rho < \rho_0$, $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} > 0$, $(\rho-l)^{n-2} > 0$. 令

$$\alpha(\rho) = \frac{1}{\rho} - \frac{l}{\rho^2} - \frac{n}{2\rho} + \frac{n}{2\rho_0} \quad (14)$$

令 $m = \frac{1}{\rho}$, 所以 $\alpha = -lm^2 + \left(1 - \frac{n}{2}\right)m + \frac{n}{2\rho_0}$ 为一元二次多项式, 易得

$$\left. \begin{aligned} \alpha &\leq 0 && \text{如果 } l < \rho \leq \rho_m \\ \alpha &> 0 && \text{如果 } \rho_m < \rho < \rho_0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

式中

$$\rho_m = \frac{2l}{1 - \frac{n}{2} + \sqrt{\left(1 - \frac{n}{2}\right)^2 + \frac{2nl}{\rho_0}}}$$

所以式(13)可改写为

$$\frac{k_p}{\eta} > \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho-l)^{n-2} \alpha(\rho) \quad (16)$$

并令 k_{sup} 表示式(16)右侧的上确界, 即

$$k_{sup} = \sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \left\{ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho-l)^{n-2} \alpha(\rho) \right\} \quad (17)$$

应用时只需使 $\frac{k_p}{\eta} > k_{sup}$ 即可。下面分析当 n 取不同的值时式(17)的形式。

① 当 $n=2$ 时

$$k_{sup2} = \sup_{r < \rho < \rho_0} \left\{ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{l}{\rho^2}\right) \right\} \quad (18)$$

令 $m = \frac{1}{\rho}$, $\frac{1}{\rho_0} < m < \frac{1}{\rho_m}$, 则式(18)为

$$k_{sup2} = \sup_{\frac{1}{\rho_0} < m < \frac{1}{\rho_m}} \left(-lm^3 + \frac{l}{\rho_0} m^2 + \frac{1}{\rho_0} m - \frac{1}{\rho_0^2} \right)$$

令 $\beta = -lm^3 + \frac{l}{\rho_0} m^2 + \frac{1}{\rho_0} m - \frac{1}{\rho_0^2}$, 使 $\beta' = -3lm^2 +$

$\frac{2l}{\rho_0} m + \frac{1}{\rho_0} = 0$, 求得两个解 $m_1 = \frac{1}{3\rho_0}$.

$\left(1 - \sqrt{1 + \frac{3\rho_0}{l}}\right)$ (超出 m 的范围, 舍去), $m_2 = \frac{1}{3\rho_0}$.

$\left(1 + \sqrt{1 + \frac{3\rho_0}{l}}\right)$, 即当 $m = m_2$ 时, β 取得极大值, 即

$$k_{sup2} = \left(\frac{2}{9\rho_0^2} + \frac{2l}{27\rho_0^3}\right) \sqrt{1 + \frac{3\rho_0}{l}} - \frac{2}{3\rho_0^2} + \frac{2l}{27\rho_0^3} \quad (19)$$

在应用中, 取 $\frac{k_p}{\eta} > k_{sup2}$ 则不会出现局部极小点。

② 当 $n < 2$ 时, 式(17)可改写为

$$\begin{aligned} k_{sup} &= \sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \left\{ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho-l)^{n-2} \alpha(\rho) \right\} \leq \\ &\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \left\{ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \right\} \sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ (\rho-l)^{n-2} \} \sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ \alpha(\rho) \} \end{aligned} \quad (20)$$

式中:

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \left\{ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \right\} = \frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_0} \quad (21)$$

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ (\rho-l)^{n-2} \} = (\rho_m - l)^{n-2} \quad (22)$$

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ \alpha(\rho) \} = \sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \left\{ \frac{1}{\rho} - \frac{l}{\rho^2} - \frac{n}{2\rho} + \frac{n}{2\rho_0} \right\} \quad (23)$$

令 $\gamma = -lm^2 + \left(1 - \frac{n}{2}\right)m + \frac{n}{2\rho_0}$, $m = \frac{1}{\rho}$, 易得当

$m = \frac{1 - \frac{n}{2}}{2l}$ 时, γ 取得极值。所以式(23)可改写为

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ \alpha(\rho) \} = \begin{cases} \frac{\left(1 - \frac{n}{2}\right)^2}{4l} + \frac{n}{2\rho_0} \\ \text{如果 } \frac{l}{\rho_0} \leq \left(\frac{1}{2} - \frac{n}{4}\right) \\ \frac{1}{\rho_0} - \frac{l}{\rho_0^2} \\ \text{如果 } \frac{l}{\rho_0} > \left(\frac{1}{2} - \frac{n}{4}\right) \end{cases} \quad (24)$$

将式(21)、式(22)和式(24)代入式(20), 有

$$\frac{k_p}{\eta} > \begin{cases} \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho_m - l)^{n-2} \left[\frac{\left(1 - \frac{n}{2}\right)^2}{4l} + \frac{n}{2\rho_0} \right] \\ \text{如果 } \frac{l}{\rho_0} \leq \left(\frac{1}{2} - \frac{n}{4}\right) \\ \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_0}\right) (\rho_m - l)^{n-2} \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{l}{\rho_0^2}\right) \\ \text{如果 } \frac{l}{\rho_0} > \left(\frac{1}{2} - \frac{n}{4}\right) \end{cases} \quad (25)$$

③ 当 $n > 2$ 时

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ (\rho-l)^{n-2} \} = (\rho_0 - l)^{n-2} \quad (26)$$

$$\sup_{\rho_m < \rho < \rho_0} \{ \alpha(\rho) \} = \alpha(\rho_0) = \frac{\rho_0 - l}{\rho_0^2} \quad (27)$$

将式(21)、式(26)和式(27)代入式(20), 有

$$\frac{k_p}{\eta} > \left(\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_0}\right) \frac{(\rho_0 - l)^{n-1}}{\rho_0^2} \quad (28)$$

在图2所示模型中,当 $n=0.5$ 时在 $x=0.136$ m点出现局部极小,应用本文算法取 $\frac{k_p}{\eta} > 15$ 后,势场函数如图4所示。显然,该势场只在目标点 $x_g = 0.500$ m处取极小值,消除了局部极点 $x=0.136$ m。

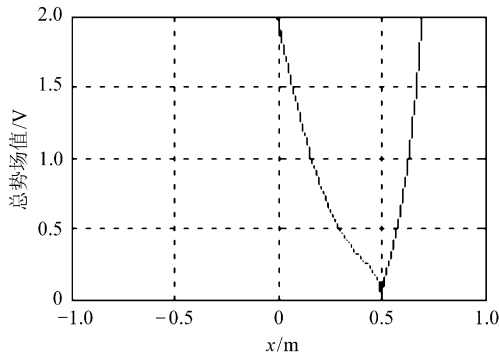
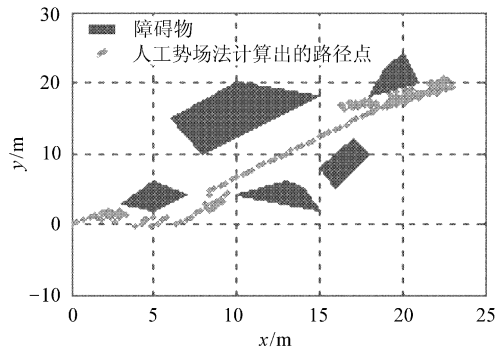
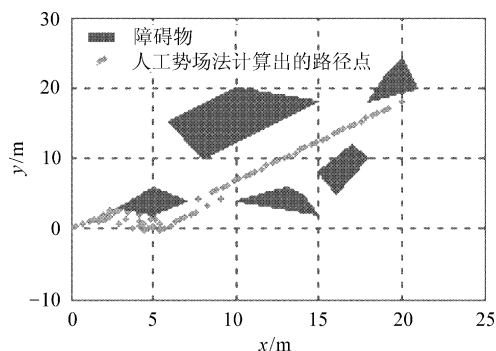


图4 选取合适参数后的势场值
Fig. 4 Value of potential function with proper parameters

在实际应用中,应首先选定参数 n ,然后依据式(19)、式(25)、式(28)选取合适的 k_p 和 η 。在如图5所示的二维环境中,取 $n=2.0, \rho_0=1.5, l=0.2$,由式(17)可得 $\frac{k_p}{\eta} > 0.2$ 。设起点选为 $(0,0)$,终点选为 $(20,18)$,当取 $k_p=1, \eta=20$ 时,机器人在目标点附近摆动,不能到达目标点,即目标不可达;而取 $k_p=1, \eta=2$ 时,则能很好地到达目标点。



(a) $k_p=1, \eta=20$



(b) $k_p=1, \eta=2$

图5 二维环境模型仿真结果

Fig. 5 Results of two dimensions environment model

3 路径优化

3.1 抖动点的优化

图5中,由于机器人在障碍物附近所受合力方向的突变,其运动方向发生大角度变化,使机器人在障碍物附近产生徘徊抖动的现象,甚至出现反复的“之”字形路径。虽然机器人最终能绕过障碍物,但是严重影响了避碰效果和趋向目标的效率,这种现象应用势场算法本身很难改善,本文应用以下方法进行处理。

显然,两点之间直线的距离最短,本算法模拟橡皮条的拉紧方法。设路径点序列为 $P_i(x_i, y_i)$ ($i=1, \dots, T; T$ 为路径点总数),路径的起始点为特征点 $k=1$,从特征点的下两点 $i=k+2$ 开始扫描,判断线段 $P_k P_i$ 是否与障碍物相交,如果不相交, $i=i+1$;否则, $k=i-1$ 。直到扫描完所有路径点为止。这种方法优化出了折线型的最短路径。仿真结果如图6所示。

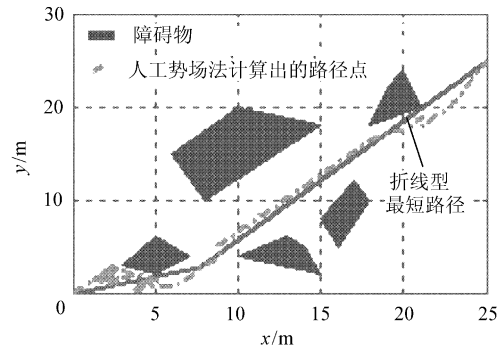


图6 抖动点的优化

Fig. 6 Optimization of chattering points

3.2 路径平滑处理

在结构化环境中,要求移动机器人具有较高路径跟踪精度及相应的平滑路径生成能力,因为平滑路径更易于机器人的控制。平滑路径的任务就是寻求一种连接移动机器人任意两个姿态的曲线,该曲线对于时间和长度都是最优的。本文引用文献[5-6]中的极坐标下的对称多项式曲线进行路径平滑处理。

极坐标下对称多项式曲线方程为

$$r(\varphi) = R \left[1 + \frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi^3}{\Phi} + \frac{\varphi^4}{2\Phi^2} \right] \quad (29)$$

式中: (r, φ) 为曲线上各点的极坐标; R, Φ 为方程

系数, R 为半径, Φ 为曲线的中心角。如图 7 所示, 直线 $MN: \varphi = \frac{\Phi}{2}$ 为对称轴, 即 $r(\varphi) = r(\Phi - \varphi)$ 。曲线的曲率为

$$k = \frac{r^2 + 2r'^2 - rr''}{(r^2 + r'^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (30)$$

式中: k 为曲线斜率; $r' = \frac{dr}{d\varphi}$; $r'' = \frac{d^2r}{d\varphi^2}$ 。

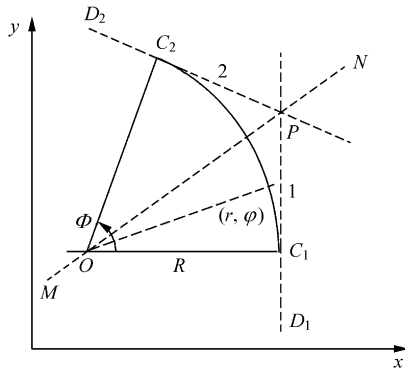


图 7 对称多项式曲线

Fig. 7 Symmetric polynomial curve

下面以转角 $\Phi = \frac{\pi}{3}$ 为例说明对称多项式曲线及曲率的性质, 如图 8 所示。从图 8(b) 可以看出, 圆弧连接的曲率从零突变到 $\frac{1}{R}$ (R 为圆弧半径), 此时机器人的角速度和向心加速度也会发生突变, 机器人的跟踪精度必然受到影响, 而对称多项式曲线的曲率是从零连续变化的, 跟踪精度一定高于圆弧连接。

对 3.1 节所得出的折线型路径进行圆滑处理。图 7 中, 设 D_1-P-D_2 为一折线路径, 路径转折点 P 处的坐标为 $P(x_p, y_p)$, θ_1, θ_2 分别为直线 1, 2 与 x 轴正向的夹角, 此时 $\Phi = \theta_2 - \theta_1$, 在直线 1 上选择合适的 C_1 点, 令 $d = |C_1P|$, 有

$$R = \frac{d}{\tan\left(\frac{\Phi}{2}\right)} \quad (31)$$

由图 8(b) 可知, 对称多项式曲线在对称轴处曲率最大, 即

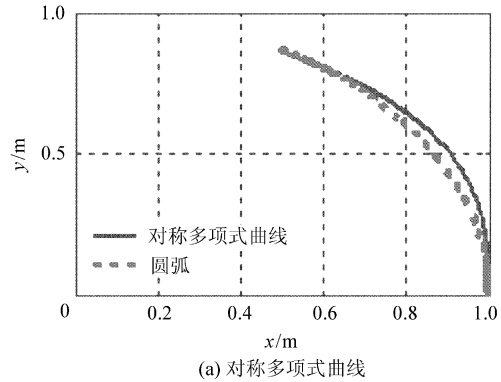
$$k_{\max} = \frac{1}{R} \frac{\frac{\Phi^2}{32} + \frac{3}{2}}{\left(1 + \frac{\Phi^2}{32}\right)^2} \quad (32)$$

式中: k_{\max} 为对称多项式曲线的最大曲率。由于机器人有其动力学特性, 转弯时的转弯半径必须

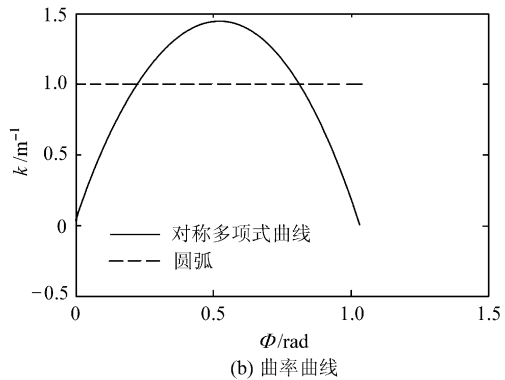
大于其最小的转弯半径 R_{\min} , 即

$$k_{\max} < \frac{1}{R_{\min}} \quad (33)$$

即选取合适的 d 值, 使 k_{\max} 满足式 (33)。同样对称选取 C_2 点, 然后以 C_1, C_2 为两 endpoints, R 为半径, 由式 (22) 得对称多项式曲线 $\widehat{C_1C_2}$, 优化后的光滑路径为 $D_1-\widehat{C_1C_2}-D_2$ 。



(a) 对称多项式曲线

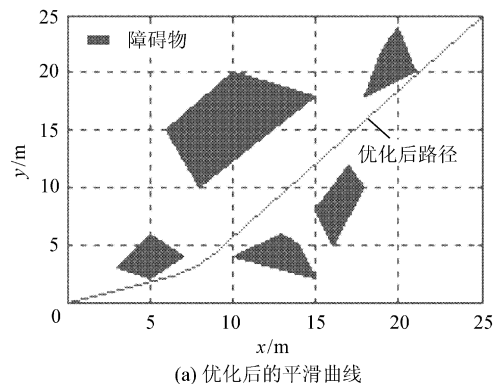


(b) 曲率曲线

图 8 $\Phi = \frac{\pi}{3}$ 时的对称多项式曲线和曲率曲线

Fig. 8 Curves of symmetric polynomials and curvature on $\Phi = \frac{\pi}{3}$

图 6 的优化结果如图 9(a) 所示, 优化后路径的曲率曲线如图 9(b), 横坐标表示图 9(a) 中路径起点的横轴坐标。图 10 表示起点为 (0, 0), 终点为 (25, 15) 的优化结果和路径曲率。



(a) 优化后的平滑曲线

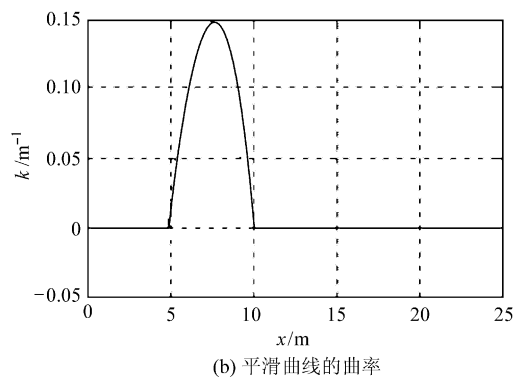


图9 起点为(0,0),终点为(25,25)的优化结果
Fig. 9 Optimized result from (0,0) to (25,25)

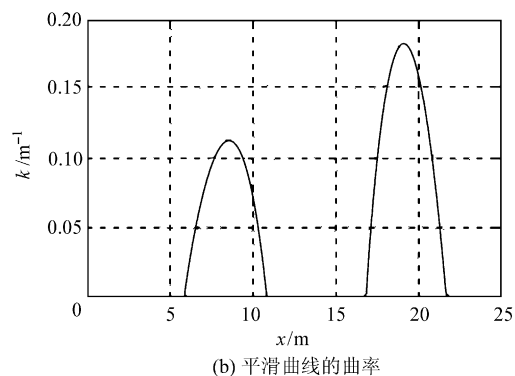
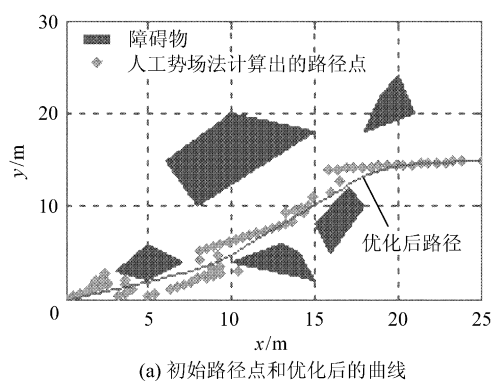


图10 起点为(0,0),终点为(25,15)的优化结果
Fig. 10 Optimized result from (0,0) to (25,15)

4 结 论

通过对势场函数中参数的分析消除局部极小点,解决了目标不可达问题。模仿橡皮条的拉紧去除抖动点和冗余点,并用极坐标下的对称多项式平滑路径。MATLAB的仿真结果表明应用本文算法得到了圆滑的最优路径,证实算法的可行性和有效性。

参 考 文 献

- [1] Barraquand J, Latombe J C. A Monte-Carlo algorithm for path planning with many degrees of freedom [C]//Proceedings of the 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Cincinnati, OH, USA; IEEE, 1990: 1712-1717.
- [2] Yun X P, Tan K C. A wall-following method for escaping local minima in potential field based motion planning [C]//Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Robotics. Monterey, CA; IEEE, 1997: 421-426.
- [3] Kamon I, Rivin E, Rimon E. A new range-sensor based globally convergent navigation algorithm for mobile robots [C]//Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Minneapolis, MN, USA; IEEE, 1996: 429-435.
- [4] 王会丽,傅卫平,方宗德,等. 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):67-68.
Wang H L, Fu W P, Fang Z D, et al. A path plan method for mobile robot based on improved potential field function. Machine Tool and Hydraulics, 2002(6): 67-68. (in Chinese)
- [5] Nelson W. Continuous-curvature paths for autonomous vehicles [C]//Proceedings of the 1989 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Scottsdale, AZ, USA; IEEE, 1989: 1260-1264.
- [6] Ahmad A M. Solving the narrow corridor problem in potential field-guided autonomous robots [C]//Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Sarcelona, Spain; IEEE, 2005: 2909-2914.

作者简介:



张建英(1979—)女,博士研究生。主要研究方向:月球车路径规划及航天器动力学与控制。
Tel:0451-86417803
E-mail:zhangjianying79@163.com

(责任编辑:蔡 斐)